

النمذجة والتصميم والتشغيل الأمثل لمحطات معالجة مياه الصرف الصحي التي تعمل بطريقة التهوية المطولة - نظام الكاروسيل



2017

كيميائي / إبراهيم سعدالله الشامي

الجزء الأول



حركية الكائنات الحية ومبادئ التصميم

- الجزء الأول حركية الكائنات الحية ومبادئ التصميم-----2
- مقدمة ----- 8
- 1-1 التعداد (الإحصاء) السكاني المتوقع ----- 12
- 2-1 متوسط تدفق مياه الصرف ----- 16
- 1-2-1 إختلافات التدفق - أعلى و أقل تدفق ----- 17
- 2-2-1 تدفق الترسيب ----- 19
- 3-1 المعايير الرئيسية التي تحدد جودة مياه الصرف ----- 20
- 1-3-1 المواد الصلبة ----- 20
- 1-1-3-1 المواد الصلبة طبقا للحجم ----- 20
- 2-1-3-1 التصنيف طبقا للخواص الكيميائية ----- 21
- 3-1-3-1 التصنيف طبقا لقابلية الترسيب ----- 21
- 4-1 المواد العضوية الكربونية ----- 21
- 1-4-1 الأكسجين الحيوي الممتص (المطلوب) ----- 22
- 2-4-1 الاكسجين الكيميائي المستهلك (المطلوب) ----- 25
- 3-4-1 العلاقة بين الحمل والتركيز ----- 31
- 5-1 خواص مياه الصرف الصحي ----- 34

36	6-1 المكافئ التعدادي
38	7-1 تقدير معدل التدفق
39	1-7-1 تدفق التسريب
39	2-7-1 تدفق مياه الصرف الصناعي
40	3-7-1 التدفق الكلي
41	8-1 حمل الأوكسجين الحيوي المطلوب
42	9-1 حركية التفاعل
43	2-9-1 تفاعلات الرتبة صفر
44	3-9-1 تفاعل الرتبة الاولى
45	4-9-1 تفاعل التشبع
47	5-9-1 تأثير درجة الحرارة
48	10-1 اوزان الكتلة
48	1-10-1 المعادلات التمثيلية
50	2-10-1 حالة الاستقرار والحالة الحركية (الديناميكية)
51	11-1 بيولوجيا مياه الصرف الصحي
70	12-1 حركية النمو البكتيري

73-----1-12-1 النمو البكتيري الإجمالي النوعي

74-----1-12-1 الإنحلال البكتيري

76-----2-12-1 إنتاجية المواد الصلبة البيولوجية

78-----3-12-1 إنتاجية المواد الصلبة الصافي

79-----13-1 اتران الكتلة في حوض التهوية

81-----1-13-1 زمن الاحتجاز الهيدروليكي وزمن مكث المواد الصلبة

83-----2-13-1 زمن فيضان الخلية

85-----3-13-1 تركيز المواد الصلبة في أحواض التهوية

89-----4-13-1 حمل الحمأة (نسبة الغذاء الى الكائنات الحية)

91-----5-13-1 العلاقة بين معدل استغلال المادة وعمر الحمأة

93-----6-13-1 الحمل العضوي الحجمي

102-----7-13-1 الحمل الهيدروليكي الحجمي

102-----8-13-1 الحمل العضوي السطحي

106-----14-1 توزيع المواد الصلبة البيولوجية في المعالجة

112-----15-1 التهوية

115-----1-15-1 تركيزات تشبع الغاز

116-----2-15-1 حركية التهوية

121-----3-15-1 كفاءة الاكسيجين

124-----4-15-1 اختبارات التهوية

128-----16-1 عملية الحمأة النشطة والمتغيرات الرئيسية

133-----1-16-1 تركيز المواد الصلبة العالقة في حوض التهوية

139-----2-16-1 إزالة مادة التفاعل أو الكربون العضوي

139-----3-16-1 هضم الحمأة في حوض التهوية

139-----17-1 إعادة تدوير الحمأة النشطة

140-----18-1 انتاجية الحمأة وإزالة الحمأة الزائدة

141-----1-18-1 انتاجية الحمأة

144-----1-1-18-1 انتاجية المواد الصلبة البيولوجية

145-----2-1-18-1 إنتاجية الحمأة الزائدة

149-----3-1-18-1 إزالة الحمأة الزائدة

153-----19-1 الاكسيجين المطلوب

155-----1-19-1 الاكسيجين المطلوب للمواد الكربونية

157-----2-19-1 الاكسيجين المطلوب للنترة

157-----1-20 إزالة البيولوجية للمغذيات

159-----1-21 حركية النترة أو النتجة

160-----1-21-1 عمر الحمأة اللازم للنترة

160-----1-21-2 معدل النترة

161-----1-21-3 الاكسيجين اللازم للنترة

161-----1-21-4 القلوية اللازمة للنترة

164-----1-21-5 مبادئ نزع النترة البيولوجية

164-----1-22 حركية نزع النترة

166-----1-22-1 العوامل البيئية التي تؤثر على نزع النترة

167-----1-23 ميكانيكية إزالة الفوسفور

173-----1-23-1 تقدير جزء الفوسفور في المواد الصلبة العالقة

176-----1-24 تصميم أحواض الترسيب لعملية الحمأة النشطة

مقدمة

يبني تصميم محطات معالجة مياه الصرف الصحي طبقا لقاعدة بيانات أساسية تشمل التعداد السكاني الذي سوف تخدمه محطة المعالجة والذي من خلاله سوف يتم تقدير متوسط معدل التدفق للمياه الخام الذي سوف تقوم المحطة بمعالجته وأيضا أقصى معدل تدفق متوقع وطبيعة وخصائص المياه الخام التي سوف يتم معالجتها من خلال التحاليل التي تحدد هذه الخصائص وحركية الكائنات الحية المستخدمة في المعالجة ؛ ومن هنا وحيث أن تصميم المحطة يتم وفق متوسط معدل تدفق وأعلى معدل تدفق متوقع وطبقا لنتائج تحاليل لعينات من المياه الخام للتجمع السكاني المستهدف وتشمل تركيز المواد العضوية الذائبة والتي يتم تقديرها بقياس تركيز الاكسجين الحيوي الممتص BOD وأيضا بتركيز الاكسجين الكيميائي المستهلك COD وتركيز النيتروجين بقياس تركيزات الامونيا والنيتروجين العضوي (نيتروجين كداهل الكلي الذي يتم قياسه أيضا) والنترات والنيتريت والنيتروجين الكلي (ويشمل صور النيتروجين السابقة كلها) وتركيز الفوسفور الكلي والخصائص الفيزيائية مثل درجة الحموضة ودرجة الحرارة والعمارة وتركيز المواد الصلبة العالقة الكلية والزيوت والشحوم ... الخ فإن سعة أحواض المعالجة وزمن المكث المثالي وتركيز المزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة MLSS بها المحتوية على الكائنات الحية التي سوف تقوم بعملية المعالجة وعمر الحمأة وتركيز الحمأة النشطة الراجعة ومعدل تدفقها ومعدل تدفق الحمأة الزائدة .. الخ سوف يبني على هذه القاعدة من البيانات وسوف يكون بالتالي للمحطة مواصفات تصميمية طبقا لذلك تحدد وتركيز المزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة MLSS وعمر الحمأة وتركيز الحمأة النشطة الراجعة ومعدل تدفقها ومعدل تدفق الحمأة الزائدة في الحدود الذي تجعل العملية البيولوجية تتم بأعلى كفاءة .

لكن في نفس الوقت يجب الأخذ بالاعتبار أنه سوف يوجد ظروف لا تتوافق مع المعايير التصميمية للمحطة ومن ثم يجب وضع خطة وإجراء الحسابات اللازمة لتعديل أسلوب التشغيل بما يتوافق وهذه المعطيات الجديدة ؛ ومن ثم وضع خطة لتشغيل المحطة تناسب هذه المعطيات ويحقق إتمام عملية المعالجة بكفاءة ؛ ولتوضيح هذه النقطة نقول : في بداية تشغيل المحطة قد لا تستقبل كمية المياه التي تم تصميم المحطة لمعالجتها فقد تكون كمية المياه صغيرة كما قد تكون معايير وخصائص المياه الواردة إليها مختلفة قليلا أو كثيرا عن المعايير التي تم التصميم وفقا لها وبالتالي لا بد من تغيير معايير التشغيل وفقا لذلك ؛ حتى وان كان معدل التدفق للمحطة سيكون هو نفس المعدل التصميمي قد تكون خصائص المياه مختلفة قليلا أو كثير عن المعايير التي تم تصميم الأحواض عليها وهذا أيضا يستوجب بالتالي تغيير المعايير التشغيلية بما يتناسب مع معايير المياه الخام الواردة للمحطة .

والحقيقة الثابتة فإن معايير المياه الخام كما التدفق الوارد يكون كل يوم مختلف عن الآخر ومن ثم سيكون هناك مدى لكل معيار يتم التشغيل وفقا له فمثلا لو أن التركيز التصميمي المزيغ المتخمر للمواد الصلبة العالقة MLSS هو 3500 ملجم/ل فإنه بسبب تغير خصائص المياه ومعدل التدفق سيكون مدى التركيز هو المدى التي تعمل عند المحطة وفقا لنظام المعالجة المتبع وهو هنا في محطة معالجة ينبع طريقة التهوية المطولة وتحديدًا نظام الكاروسيل الذي يعمل في مدى تركيز 3000 ملجم/ل - 6000 ملجم/ل وهذا يستلزم ضبط باقي المعايير التشغيلية في المحطة مثل تركيز الحمأة الراجعة ومعدل تدفقها ومعدل تدفق الحمأة الزائدة وعمر الحمأة وغيرها من معايير التشغيل وسيتم شرح ذلك كله بالتفصيل لاحقا .

إذا لا بد من وجود خطة تشغيل تشرح كيف يتم التعامل مع هذه المتغيرات التي سوف تكون موجودة لا محالة ونحن في هذا الكتاب سوف نشرح خطة تشغيل كاملة توضح كل مراحل

تشغيل محطة مدعومة بالشرح والتفسير العلمي للعملية البيولوجية والمعادلات الحسابية التي توضح كيفية التعامل مع هذه المتغيرات بشكل عملي وعلمي دقيق في كل مراحل المعالجة لمياه الصرف وعمليات معالجة الحمأة التي تنتج منها ونظام إزالة الروائح المنبعثة منها أيضا ؛ وسوف نأخذ محطة بعينها قيد التشغيل كنموذج نشرح من خلالها أسس التصميم والتشغيل الأمثل وهي محطة معالجة مياه الصرف الصحي ؛ بمحاظفة ينبع كما تتضمن الخطة مشاكل التشغيل المختلفة سواء مشاكل تتعلق بالعملية البيولوجية وكفاءتها مثل نمو وتزايد البكتيريا الخيطية والاسباب التي أدت الى وجودها أو مشاكل فيزيائية ناتجة من التقصير في أعمال الصيانة أو مشاكل بسبب الأعطال الطارئة وكيفية حل هذه المشاكل وكيفية تجنبها وحل المشكلة إن حدثت .

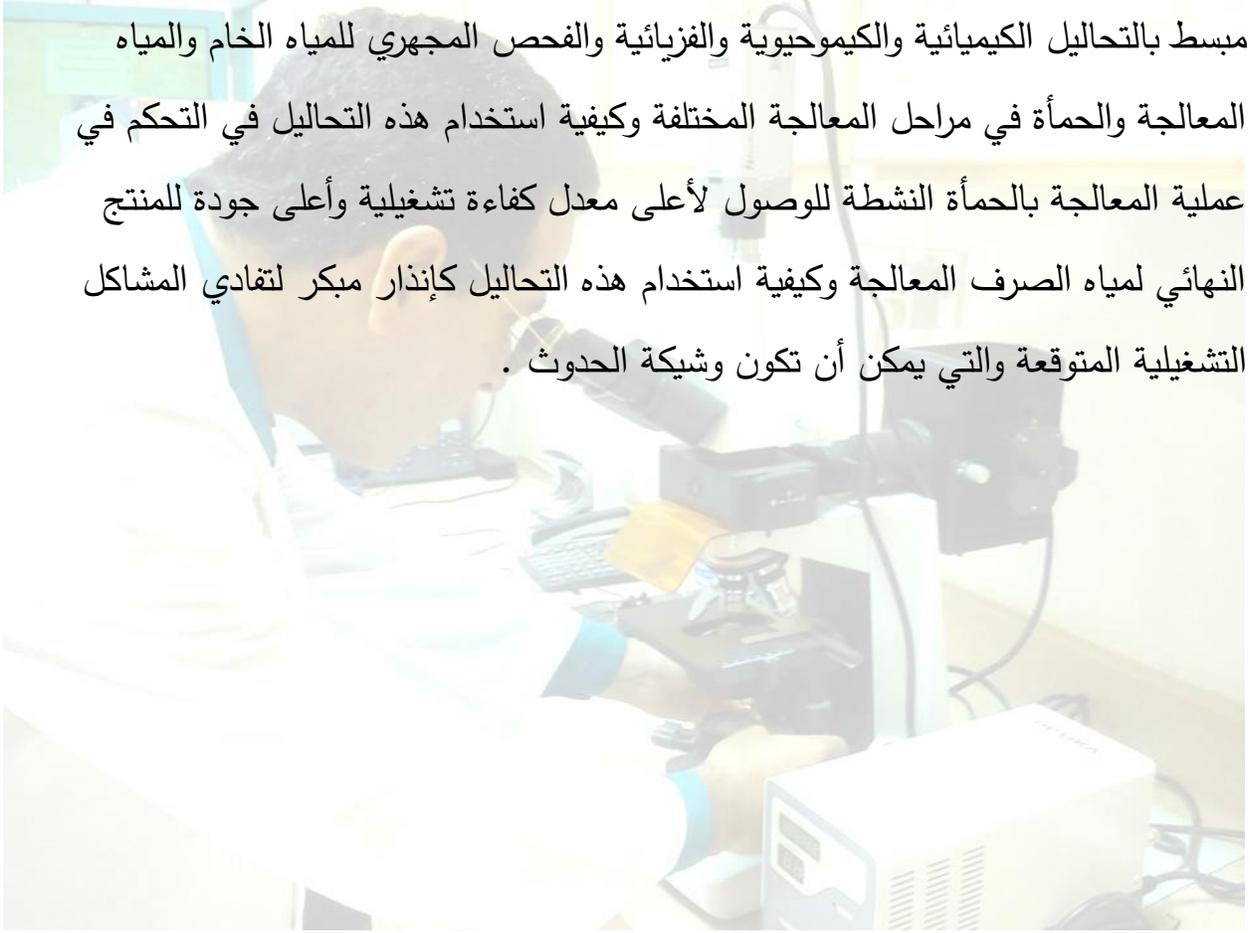
كما تضمنت الخطة كيفية استخدام نظام الإشراف التحكمي عن بعد وتحصيل البيانات والمراقبة المعروف إختصارا SCADA .

سوف سوف نقسم الكتاب إلى جزئين ؛ الجزء الأول سيتناول مبادئ وأسس التصميم بصفة عامة لمحطات المعالجة التي تعمل بالحمأة النشطة خصوصا طريقة المعالجة بالحمأة التقليدية والخط الكامل طريقة التهوية المطولة وسوف نتناول أحد أهم أنظمة التهوية المطولة وهو الكاروسيل بالتفصيل من خلال النموذج الذي سوف نقدمه وهو محطة ينبع في الجزء الثاني كما يتناول حركية الكائنات الحية التي يبني عليها تصميم المحطات وخصائص مياه الصرف الصحي المنزلي وحسابات التصميم لكل مرحلة من مراحل المعالجة ؛ والجزء الثاني من الكتاب وينقسم الى خمسة فصول ؛ الفصل الأول يتناول مراحل معالجة مياه الصرف والجزء الثاني يتناول مراحل معالجة الحمأة الناتجة من مياه الصرف والفصل الثالث

إجراءات بدء التشغيل في الظروف الإستثنائية والظروف الطبيعية طبقا للمعايير التصميمية والفصل الرابع إختبارات مراقبة الجودة والتشغيل والفصل الخامس يتناول التحكم في الروائح الناتجة من مراحل مياه الصرف والحماة .

سيتناول هذا الجزء أيضا العمليات الحسابية المختلفة للتصميم و المعالجة بشقيها وعملية التحكم في الروائح من خلال تطبيق ذلك على المحطة التي تم اتخاذها كنموذج كما سيتناول تعريف

مبسط بالتحاليل الكيميائية والكيموحيوية والفيزيائية والفحص المجهرى للمياه الخام والمياه المعالجة والحماة في مراحل المعالجة المختلفة وكيفية استخدام هذه التحاليل في التحكم في عملية المعالجة بالحماة النشطة للوصول لأعلى معدل كفاءة تشغيلية وأعلى جودة للمنتج النهائي لمياه الصرف المعالجة وكيفية استخدام هذه التحاليل كإنذار مبكر لتفادي المشاكل التشغيلية المتوقعة والتي يمكن أن تكون وشيكة الحدوث .



1-1 التعداد (الإحصاء) السكاني المتوقع

Population forecast

يكون التعداد السكاني المستهدف من الخدمة جزء من التعداد السكاني الكلي في المنطقة التي يتم انشاء محطات المعالجة من اجلها وتكون النسبة بين التعداد المستفيد من الخدمة /التعداد الكلي هو مؤشر التغطية وهذا المؤشر يمكن تعيينه (ويسمى المؤشر الحالي) أو تقديره أو توقعه (ويسمى المؤشر المستقبلي) والهدف م ذلك هو امكانية حساب تصميم معدل التدفق ؛ هذا المؤشر أيضا يتأثر بالوضع الجغرافي والطبوغرافي للمنطقة المستهدفة من الخدمة فمن المحتمل الا نستطيع خدمة كل أجزاء المنطقة المستهدفة نظرا لطبيعتها الجغرافية أو خصائصها الطبوغرافية ؛ كما تتأثر بما يعرف بمؤشر الالتصاق $adhesion\ index$ وهو النسبة بين التعداد السكاني المربوط بالشبكة فعليا وبين التعداد المحتمل ربطه على الشبكة ؛ وايضا بمراحل تنفيذ شبكة ونظام المجاري حيث من الممكن في السنوات الاولى لا يكون تم تنفيذ كل المراحل الخاصة بالتجميع في الشبكات ومحطات الرفع ومحطات المعالجة ..الخ لكي يتم تصميم أعمال معالجة الصرف يجب معرفة التعداد السكاني النهائي وايضا الابتدائي والذي يتطور ويتغير مع مرور الوقت حتى يمكن تحديد مراحل التنفيذ .

توجد عدة طرق ونماذج تستخدم في تقييم التعداد السكاني المتوقع $population\ forecasts$ وهي

* النمو الخطي والحسابي $linear\ or\ arithmetic\ growth$

*النمو الهندسي $geometric\ growth$

*الانحدار المضاعف $multiplicative\ regression$

*معدل النمو المتناقص decreasing growth rate

*النمو اللوجستي logistic growth

*المقارنة البيانية للتجمعات المتشابهة

*طريقة النسبة والترابط

*التوقعات المبنية على وسائل تقييم التعداد السكاني

هذا مع الأخذ في الاعتبار ان الدراسات السكانية في غاية التعقيد كما يجب دراسة كل التغيرات التي تتداخل مع الظروف المحلية للموقع

تم حساب التعداد السكاني لمدينة ينبع طبقا للاحصاء السكاني للاعوام السابقة لبدء تنفيذ مشروع محطة المعالجة واستخدام البيانات المتاحة في توقع عدد السكان التي سوف تخدمه المحطة في العام 2020 من خلال عدد السكان في الثلاث عقود السابقة لهذا التاريخ وكان المتوقع وصول عدد السكان الى 300000 نسمة في العام 2020

توجد عدة طرق حسابية لحساب النمو السكاني المتوقع ولكننا سوف نعتمد طريقة واحدة فقط هي طريقة النمو الحسابي لبساطتها وسنعرض المعادلات للطرق الاخرى فقط

التعداد السكاني	العام
150000	1990
200000	2000
250000	2010

باستخدام طريقة النمو الحسابي ومعادلتها هي :

$$K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0} = \frac{250000 - 150000}{2010 - 1990} = 5000$$

$$P_t = P_0 + K_a (t - t_0) = 150000 + 5000(t - 1990)$$

ولكي يتم حساب التعداد السكاني في عام 2020 يتم التعويض عن قيمة t بالعام 2020

$$P_t = P_0 + K_a (t - t_0) = 150000 + 5000(t - 1990)$$

$$P_t = P_0 + K_a (t - t_0) = 150000 + 5000(2020 - 1990) = 300000$$

ولحساب التعداد السكاني بطريقة النمو الهندسي

$$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_0}$$

$$P_t = P_0 e^{K_g (t - t_0)}$$

ولحسابها بطريقة معدل النمو المتناقص

$$P_s = \frac{2P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_{12} (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_{12}}$$

ثم نحسب التشبع التعدادي هو

$$K_d = \frac{-\ln\{(P_s - P_2)/(P_s - P_0)\}}{t_2 - t_0}$$

$$P_t = P_0 + (P_s - P_0) \{1 - e^{-0.0371(t - 1990)}\}$$

ولكي يتم حساب التعداد السكاني في عام 2020 يتم التعويض عن قيمة t بالعام

يمكن حسابها أيضا بطريقة النمو اللوجستي

$$P_s = \frac{2P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_{12} (P_0 = P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_{12}}$$

ثم نحسب التشبع التعدادي يتم حسابه

$$C = \frac{(P_s - P_0)}{P_0}$$

$$K_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \times \ln \left\{ \frac{P_0(P_s - P_1)}{P_1(P_s - P_0)} \right\}$$

$$P_t = \frac{P_s}{1 + C \cdot e^{K_1(t-t_0)}}$$

العام المطلوب عنده تحديد التعداد السكاني أو زمن الإنعطاف هو

$$\text{Inflection time} = t_0 - \frac{(\ln C)}{K_1}$$

تم اعتماد متوسط عدد سكان للمدينة 300000 نسمة حتى عام 2020 وبناء عليه تم تصميم المحطة لكي تستوعب كمية المياه الخام التي سوف تأتي من الشبكة والحمل العضوي لهذا التدفق وتم حساب متوسط معدل التدفق وأعلى معدل تدفق كما سنوضح لاحقا بالتفصيل

2-1 متوسط تدفق مياه الصرف

Average sewage flow

لكي يتم تصميم محطة معالجة لمياه الصرف الصحي يجب معرفة كمية التدفق المفترض أن يصل من الشبكة وغيرها من الوسائل المستخدمة لنقل مياه الصرف الصحي الى المحطة ؛ يتم تقدير متوسط معدل التدفق وأعلى معدل تدفق وأقل معدل تدفق يومي طبقا لعدد السكان التي سوف تقوم المحطة بخدمته أو بمعنى آخر عن طريق كمية مياه الشرب التي يتم ضخها لهذا العدد من السكان ومن ثم تقدير كمية مياه الصرف التي سوف تنتج من الاستخدام المنزلي والحمل العضوي الناتج من هذا العدد أيضا .

عادة كمية المياه المستهلكة تساوي كمية مياه الصرف لكن بسبب استهلاك بعض المياه في ري الحدائق العامة والطرق وبسبب عملية التسرب فإن كمية المياه التي تدخل شبكة الصرف الصحي تسمى معامل الرجوع *return confident* وهو يساوي نسبة تدفق مياه الصرف الى نسبة تدفق المياه

$$R = \text{sewage flow} / \text{water flow}$$

وتتراوح قيمتها من 60% - 100% ويتم اعتماد نسبة 80% عادة كمتوسط

$$R = \text{sewage flow} / \text{water flow} = 0.8$$

يمكن حساب معدل تدفق مياه الصرف المنزلي من العلاقات التالية

$$Q_{w.\text{average}} = \frac{POP \cdot L_{pcd} \cdot R}{1000} = m^3/d$$

$$Q_{w.\text{average}} = \frac{POP \cdot L_{pcd} \cdot R}{86400} = L/s$$

حيث $Q_{w.average}$ = معدل تدفق مياه الصرف الصحي المنزلي م³ / يوم أو لتر / ثانية

و L_{pcd} = الماء المستهلك للفرد في اليوم لتر / مواطن

و R هو نسبة تدفق الصرف / الى معامل رجوع تدفق المياه ؛ معالأخذ في الاعتبار ان

المقصود بتدفق المياه هو المياه المستهلكة فعليا وليس التدفق المنتجة من شبكة أعمال

المعالجة لأن المياه الناتجة عادة أعلى من المياه المستهلكة نتيجة الفقد من الشبكات والتي

تتراوح بين 20% - 50% بمتوسط 30% لكل 100 متر مكعب من المياه المنتجة أي أن

المستهلك 70 متر مكعب من كل 100 متر مكعب وهذه الكمية (70 متر مكعب) 80%

منها يعود في صورة مياه صرف أي حوالي 56 متر مكعب في اليوم في شبكة تصريف مياه

الصرف .

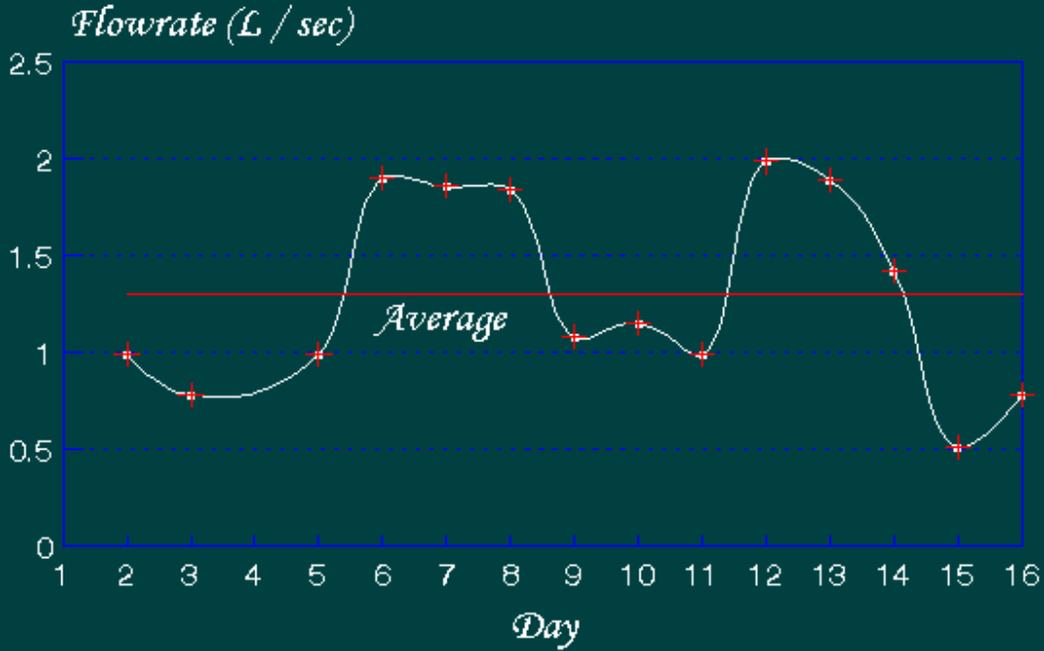
1-2-1 إختلافات التدفق - أعلى و أقل تدفق flow variation – maximum and minimum

استهلاك المياه وتحويلها الى مياه صرف صحي يختلف على مدار اليوم وعلى مدار الاسبوع وعلى مدار العام .

توجد أوقات يبلغ فيها التدفق ذروته أحدهما في الصباح والاخرى عند آخر النهار مع المساء

كما هو موضح من الشكل التالي

Variation of the Wastewater Flowrates



شكل يوضح التباين النهاري في تدفق مياه الصرف

ويكون معدل متوسط التدفق اليومي هو الخط الذي يفصل مساحة متساوية أعلى الخط وأسفله ؛

والمعاملات التالية تسمح لنا بتقدير معدلات التدفق القصوى والدنيا

يستخدم $K1 = 1.2$ أعلى معامل يومي لأعلى استهلاك مياه

يستخدم $K1 = 1.5$ أعلى معامل في الساعة لأعلى استهلاك مياه

يستخدم $K1 = 0.5$ أقل معامل للساعة لأقل استهلاك مياه ويمكن حساب معدلات أعلى وأقل

تدفق من العلاقات التالية :

$$Q_{\max} = Q_{\text{ave.}} \times K1 \quad K2 = 1.8 Q_{\text{ave.}}$$

$$Q_{\min} = Q_{\text{ave.}} \times K3 = 0.5 Q_{\text{ave.}}$$

1-3 المعايير الرئيسية التي تحدد جودة مياه الصرف

Main parameters defining the quality of wastewater

أهم هذه المعايير المواد الصلبة دلائل المواد العضوية والنيتروجين والفسفور ودلائل التلوث الغائطي

1-3-1 المواد الصلبة solids

كل الملوثات الموجودة في المياه باستثناء الغازات هي مواد صلبة ؛ يمكن تصنيف المواد الصلبة طبقاً للحجم أو طبقاً للخواص الكيميائية أو طبقاً لقابليتها للترسيب

1-3-1-1 المواد الصلبة طبقاً للحجم classification by size

وهو أهم التقسيمات وتنقسم إلى مواد صلبة ذائبة وهي التي تمر عبر ورقة ترشيح ذات مسام قطرها 47 ميكرومتر وهي ذات حجم متناهي في الصغر أما التي لا تمر عبر ورقة الترشيح تسمى المواد الصلبة العالقة وهي ذات حجم كبير ؛ تسمى المواد الصلبة الذائبة أيضاً المواد المفلترة filterable solids بينما المواد الصلبة العالقة تسمى المواد الغير قابلة للترشيح nonfilterable solids ؛ وبين هذين النوعين توجد المواد الصلبة الغروية ويتم فصل معظمها مع المواد الصلبة الذائبة .

أحيانا يتم تسمية المواد الصلبة العالقة بالحبوبات *particulate* للتعبير عن تركيز الأكسجين الحيوي الممتص *BOD* للتمييز بين تركيزه في المياه وتركيزه في المواد الصلبة العالقة وكذلك الأكسجين الكيميائي المستهلك *COD* والفسفور بينما يسمى أيا من هذه بالذائب مثلاً الأكسجين الحيوي الممتص الذائب للتعبير عن تركيزه في الرشيق أو المياه الخالية من المواد الصلبة العالقة أو في الجزء الذائب من المواد الصلبة .

وبصفة عامة قطر المواد الصلبة الذائبة أقل من 10^{-3} بينما الغروية بين 10^0 - 10^{-3} ميكرومتر وتكون المواد الصلبة العالقة أكبر من 10^0 ميكرومتر .

2-1-3-1 التصنيف طبقا للخواص الكيميائية Classification by chemical characteristics

إذا أخضعت المواد الصلبة لدرجة حرارة عالية تصل الى 550 درجة مئوية تتأكسد جزء منها أو يتطاير وهو الجزء العضوي وهو غير ثابت أو طيار ويبقى جزء ثابت أو غير متطاير ؛ الجزء المتطاير هو الجزء العضوي في المواد الصلبة ويمكن تقدير نسبته وايضا الجزء الثابت أو الغير عضوي .

3-1-3-1 التصنيف طبقا لقابلية الترسيب classification by stability

المواد الصلبة التي تترسب خلال ساعة تسمى المواد الصلبة القابلة للترسيب ويمكن استخدام قمع امهوف في ذلك لتقدير حجم المواد الصلبة المترسبة وتقاس بوحدة ملل/ل أما الجزء الغير قابل للترسيب لا يتم أخذه في الاعتبار لعدم الحاجة له في التحليل .

1-4 المواد العضوية الكربونية

Carbonaceous organic matter

المواد العضوية الكربونية هي أحد أهم المركبات الخاصة بالتلوث والموجودة في مياه الصرف حيث تقوم الكائنات الحية الدقيقة باستهلاك الأوكسيجين في عملية التمثيل الغذائي لهذه المركبات ؛ تتكون المواد العضوية الموجودة في مياه الصرف الصحي من 40% بروتين و 25-50% كربوهيدرات و 10% زيوت وشحوم وتحتوي على كميات صغيرة من اليوريا والمنظفات والمبيدات الحشرية والفينولات وغيرها .

تقسم المواد العضوية في مياه الصرف طبقا للحجم إلى مواد عالقة أو حبيبات و مواد ذائبة ؛
وتقسم طبقا لقابليتها للتكسير أو الهضم الى مواد قابلة للتكسير حيويًا biodegradable ومواد
خاملة inert ؛ وبمصطلح الحبيبات ليس من الضروري تصنيفها الى بروتينات ودهون و... الخ
وذلك لصعوبة تصنيفها بهذه الطريقة مخبريا حيث تحتاج لوقت طويل وتكاليف عالية وبدلا من
ذلك يتم تقدير تركيز هذه المواد بطريقة مباشرة أو بطريقة غير مباشرة .

الطرق الغير مباشرة لتقدير تركيز المواد العضوية الكربونية تتم من خلال تقدير تركيز
الأكسجين المستهلك من خلال تعيين كل من الكسجين الحيوي الممتص BOD والأكسجين
الكيميائي المستهلك COD والأكسجين الحيوي الممتص النهائي ultimate BODu بينما يتم
تقديره بطريقة مباشرة بقياس الكربون العضوي الكلي TOC .

1-4-1 الأكسجين الحيوي الممتص (المطلوب) biochemical oxygen demand

التأثير البيئي الرئيسي للأكسجين الحيوي الممتص هو نقص الأكسجين الذائب في
المسطحات المائية المستقبلية لمياه الصرف ؛ ومن الطبيعي في عمليات المعالجة الهوائية يجب
ضخ الأكسجين لضمان حدوث المعالجة حيث يتم تثبيت المواد العضوية عن طريق عمليات
التمثيل الغذائي للبكتريا وبالتالي يمكن تقدير خطورة ودرجة التلوث عن طريق قياس كمية
الأكسجين المستهلك في عملية تثبيت المواد العضوية الكربونية وهي طريقة غير مباشرة لتقدير
التلوث المحتمل ودرجة تأثيره بدلا من قياس التأثير نفسه .

يتم تحديد كمية المواد العضوية عن طريق القياس المتكافئ من المعادلات الكيميائية للتفاعلات
الحيوية لعملية التمثيل الغذائي للمواد العضوية فمثلا اذا كان الجزئ العضوي هو الجلوكوز
 $C_6H_{12}O_6$ فإن كمية الأكسجين المستهلكة لأكسدته يتم حسابها من المعادلة الرئيسية لعملية
التنفس ويسمى الأكسجين النظر المطلوب theoretical oxygen demand TOD ؛ عمليا

توجد عقبات كثيرة حيث ان مياه الصرف غير متجانسة في تركيب المواد العضوية بها ومن الصعب معرفة كل المركبات الموجودة بها وكمية الأكسجين المستهلكة لكل مركب على حدة وكان الحل هو تقدير كمية الأكسجين المستهلك لحجم عياري من مياه الصرف الصحي في زمن محدد ومن هنا جاء مفهوم الكسجين الحيوي الممتص (أو المطلوب) BOD وهو يعبر عن كمية الأكسجين اللازم لتثبيت المواد العضوية من خلال التفاعلات الكيموحيوية التي تقوم بها البكتريا أثناء عملية التمثيل الغذائي وهو مؤشر غير مباشر لتركيز المواد العضوية القابلة للتكسير أو الهضم الحيوي .

تحتاج عملية تثبيت المواد العضوية في مياه الصرف الصحي المنزلي الى 20 يوم أو أكثر للتثبيت التام ويكون الأكسجين الحيوي المطلوب في هذه الحاجة هو الأكسجين الحيوي النهائي BOD_u ؛ الا انه نظرا للحاجة لمقارنة النتائج واستخدام قيم تركيز الأكسجين الحيوي في ضبط تشغيل محطات المعالجة يجب أن تكون الفترة الزمنية قصيرة فتم اختيار خمسة أيام لإجراء الإختبار و تتم نسميته BOD_5 وربط نتائج التجارب مع نتائج الأكسجين الحيوي النهائي BOD_u ويتم الأختبار عند 20 درجة مئوية للتأكد من عدم اختلاف النشاط البكتيري عند درجات الحرارة المختلفة وبالتالي يعبر عن الأكسجين الحيوي العياري بالصيغة BOD_5^{20} بالنسبة لمياه الصرف التي تحتوي على تركيز عالي من المواد العضوية من المحتمل استهلاك الأكسجين الموجود بقاءرة الأختبار قبل الأيام الخمسة وبالتالي ستكون نتائج الأختبار غير صحيحة ويجب تخفيف العينة كما يفضل تلقيح العينة باستخدام بكتريا نشطة للتسريع من استهلاك المواد العضوية وايضا استخدام مثبطات النتجة التي تمنع استهلاك الاكسجين في عملية النتجة وبالتالي تعيين الاكسجين اللازم لأكسدة الكربون العضوي فقط ؛ القيمة المثالية لتركيز المواد العضوية الكربونية في مياه الصرف الصحي المنزلي هي 300 ملج/ل وهي عادة القيمة المستخدمة في تصميم محطات معالجة مياه الصرف الصحي .

ترجع أهمية الاختبار الى انه يعطي مؤشر على كمية أو نسبة المواد العضوية القابلة للتكسير الحيوي وعلى معدل تكسير مياه الصرف الصحي ومؤشر على معدل استهلاك الاكسيجين بالنسبة للزمن وتقدير تقريبي لكمية الاكسيجين اللازم في عملية تثبيت المواد العضوية في مياه الصرف ؛ يجب الخذ بالاعتبار النقاط التالية:

*يكون تركيز الاكسيجن الحيوي المعين منخفض في حالة عدم تكيف البكتريا المسئولة عن

تثبيت المواد العضوية مع مياه الصرف

*العناصر الثقيلة سامة للبكتريا وبالتالي سوف تؤثر على نشاطها زمن ثم على عملية المعالجة وستعطي نتائج غير صحيحة وغير واقعية

*يجب استخدام مثبطات النتجة لتقدير تركيز المواد العضوية الكربونية بطريقة صحيحة

*تختلف نسبة BOD_u/BOD_5 باختلاف نوعية مياه الصرف

*يتم استخدام نتائج التجربة للتعرف على التاريخ التشغيلي للمحطة وايضا في عملية تصميم

المحطات

*يستخدم نتائج التجربة للتقيد بقوانين ومعايير صرف المياه المعالجة

الأكسيجين الحيوي النهائي المطلوب ultimate biochemical oxygen demand BOD_u

في نهاية الأيام الخمسة لاختبار BOD_5 لا تكون عملية تثبيت المواد العضوية قد اكتملت

تماما وتحتاج المزيد من الوقت قد تحتاج أيام أو اسابيع اضافية وعندما يقل استهلاك

الاكسيجين الى درجة متناهية في الصغر يكون قد تم تثبيت كل المواد العضوية ويكون

الاكسيجن المستهلك هو الاكسيجين الحيوي النهائي ؛ ترجع أهمية الاكسيجين الحيوي النهائية

الى استخدامه في تصميم محطات المعالجة من خلال تقدير نسبته الى تركيز الاكسيجين الحيوي الممتص BOD_5 والجدول التالي يوضح النسب المختلفة طبقا لتركيز المواد العضوية في مياه الصرف الصحي

النسبة BOD_u / BOD_5	المصدر
1.1 – 1.5	مياه صرف عالية التركيز
1.2 – 1.6	مياه صرف منخفضة التركيز
1.2 – 1.6	منتج ابتدائي
1.5 – 3	منتج ثانوي

تم اعتماد متوسط للنسبة 1.46 وبالتالي اذا كان $BOD_5 = 300 \text{ mg/l}$ فإن الاكسيجين الحيوي النهائي $BOD_u = 300 \times 1.46 = 438 \text{ mg/l}$ أي أن الاكسيجين الحيوي المطلوب في خمس ايام يساوي ويكون معبرا بالتالي عن تكسير 68.5% من المواد العضوية القابلة للتكسير خلال الايام الخمسة

1-4-2 الاكسيجين الكيميائي المستهلك (المطلوب) chemical oxygen demand COD

يستخدم الاختبار في تعيين الاكسيجين الكيميائي المستهلك في عملية الاكسدة الكيميائية للمركبات العضوية وبالتالي في تقدير كمية المواد العضوية وترجع اهمية الاختبار انه لا يستهلك زمن طويل وبالتالي يمكن اجراء الاختبار يوميا لمتابعة تشغيل المحطة وعمليات التحكم في عملية الحمأة النشطة والعمليات الحسابية المختلفة المتعلقة بها كما يعطي علاقة تكافؤية للاكسيجن المستهلك في عملية الاكسدة كما يعطي مؤشر لكمية الاكسيجين المطلوب لعملية

تثبيت المركبات العضوية قد تكون اكثر قليلا عن الحقيقية ولا يتأثر بعملية النترجة وبالتالي يعطي قيمة حقيقية لكمية المركبات العضوية الكربونية ؛ الا ان الاختبار ايضا يقوم بتكسير المواد الغير عضوية في مياه الصرف وبالتالي يعطي قيمة أعلى للاكسجين البيولوجي الذي سوف يتم استهلاكه بواسطة البكتريا في عملية تثبيت المركبات العضوية ولا يعطي الاختبار مؤشر عن معدل استهلاك المواد العضوية مع الزمن مثل الاكسجين الحيوي المطلوب كما ان بعض المواد الغير عضوية المختزلة تتأكسد وتؤثر في نتائج القيمة النهائية لكمية الاكسجين المستهلك في تثبيت المواد العضوية .

لمياه الصرف الصحي المنزلي وطبقا للدراسات والنتائج التي أجريت سواء في الدول المتقدمة والنامية وجد ان نسبة الأوكسجين الكيميائي المستهلك الى الاكسجين الحيوي الممتص تتراوح بين $2.4 - 1.7 = \text{COD/BOD5}$ وتم اعتماد متوسط للنسبة هو 2.1 لمياه الصرف الصحي المنزلي .

لوحظ انه من الدراسات على مياه الصرف الصناعي ان النسبة مختلفة كالتالي :

*النسبة المنخفضة تتراوح $3 - 2.5 = \text{COD/BOD5}$ وفيها تكون كمية المواد العضوية القابلة للتكسير البيولوجي عالية وستكون عملية المعالجة جيدة

*النسبة المتوسطة $4 - 2.5 = \text{COD/BOD5}$ وفيها تكون نسبة المواد الصلبة الخاملة ليست عالية ويجب تعديل عملية المعالجة البيولوجية

*النسبة العالية $4 - 3.5 = \text{COD/BOD5}$ ويكون نسبة المواد الغيرعضوية الخاملة عالية ويجب استخدام عملية معالجة فيزيائية - كيميائية .

تختلف نسبة COD/BOD5 عبر مراحل المعالجة البيولوجية المختلفة بسبب تناقص تركيز المواد العضوية وزيادة المواد الغير عضوية أو الخاملة في المقابل وبالتالي فإن نسبة COD/BOD5 للمنتج النهائي سنجدها دائما أكثر من (3).

الكربون العضوي الكلي TOC total organic carbon

في هذه الطريقة يتم تقدير كمية المواد العضوية مباشرة عن طريق قياس ثاني أكسيد الكربون الناتج من أكسدة المركبات العضوية وبالتالي يجب ازالة صور الكربون الغير عضوي أولا مثل الكربونات وثاني اكسيد الكربون قبل بدء الاختبار

*العلاقة بين المعايير التمثيلية للاكسجين المستهلك

النسبة بين COD/BOD5 و BODu/BOD5 هي كالتالي

*النسبة لا يمكن أن تكون أقل من (1) صحيح

*النسبة تزداد من المياه الغيرمعالجة الى المياه المعالجة

*كلما كانت كفاءة المعالجة عالية كلما كانت النسبة عالية أيضا

*النيتروجين Nitrogen

يوجد النيتروجين في عدة صور في البيئة المائية مثل النترات ويكون خماسي التكافؤ +5 والنيتريت ويكون ثلاثي التكافؤ +3 والامونيوم -3 والنيتروجين تكافؤ صفر وصور عضوية مختلفة من الأحماض الأمينية وغيرها

ترجع أهمية إزالة النيتروجين أثناء عملية المعالجة للأسباب التالية :

*النيتروجين مغذي هام للطحالب وبالتالي يساعد على نموها مسببا ظاهرة eutrophication في المياه المستقبلية للمياه المعالجة مثل البحيرات والخزانات حيث تتكاثر الطحالب بشكل كبير

*استهلاك الاكسيجين بسبب أكسدة الأمونيا الى نيتريت ثم نترات

*الامونيا سامة للكائنات البحرية خصوصا الاسماك

*النترات تسبب متلازمة الطفل الازرق للمواليد حديثي الولادة حيث تحل محل الاكسيجين في هيموجلوبين الدم وقد تؤدي الى الوفاة

أما بالنسبة لدور النيتروجين في معالجة مياه الصرف الصحي

*النيتروجين مغذي ضروري لبكتريا التي تقوم بعملية المعالجة

*في عملية النترجة يتم استهلاك الاكسيجين والقلوية بينما تحرر كمية من الاكسيجين في عملية تحويل النترات الى غاز النيتروجين _ (نزع النترية) اذا تمت تحت السيطرة أو قد تؤدي عدم ثبات الحمأة اذا خرجت عن السيطرة .

تحديد الصور السائدة من النيتروجين في المياه يحدد مرحلة التلوث الحاصلة من مياه الصرف فإذا كان النيتروجين في صورة أمونيا أو نيتروجين عضوي معنى هذا أن التلوث حديث ويحتمل بسبب مياه صرف خام أما اذا كان في صورة نترات معناه أن التلوث قديم (يكون تركيز

النيتريت منخفض جدا) ويكون التلوث متوسط اذا كان امونيا ونيتريت (تركيز منخفض)

ونترات ونيتروجين عضوي ؛ اذا وجد نترات فقط معناه تلوث من مكان بعيد من عملية معالجة تضمنت نترجة ؛ واذا كان امونيا فقط يكون ناتج من مياه معالجة بدون نترجة ؛ اما اذا كانت

كل صور النيتروجين ذات تركيز منخفض معناه تلوث من مياه معالجة تتضمن نترجة/نزع

نترجة .

تتحول المركبات العضوية النيتروجينية مثل الاحماض الامينية الى يوريا ثم الى أمونيا ؛ كل من الامونيا والنيتروجين العضوي معا يسمى نيتروجين كداهل الكلي total nitrogen Kjeldahl TNK وهو يمثل صورة النيتروجين السائدة في مياه الصرف الصحي المنزلي ومصدرة فيسيولوجي بالاساس

Total nitrogen Kjeldahl TNK = NH₃-N + organic nitrogen

Total nitrogen = TNK + NO₃-N + NO₂-N

توجد الامونيا في الوسط المائي في صورة أيون أمونيوم NH₄⁺ حيث يكون هو الايون السائد لصورة الامونيا عند PH < 8 وبنسبة 50% أمونيا NH₃ و 50% أيون الامونيوم NH₄⁺ عند PH = 9.5 ويكون في صورة أمونيا فقط عند PH > 11 وبالتالي عند نقطة التعادل تتواجد الامونيا في الصورة المتأينة وهذا بيئيا مفيد حيث أن الامونيا سامة للأسماك كما تتأثر صور الامونيا بدرجة الحرارة فعند درجة حرارة 25 درجة مئوية يكون نسبة الامونيا الحرة الى الامونيا الكلية ضعف النسبة عند 15 درجة مئوية والمعادلة التالية تسمح بحساب التناسب بين الامونيا الحرة والامونيا في الوسط المائي

$$= \left[1 + 10^{0.09018 + \frac{2729.92}{T+273.20} - pH} \right]^{-1} \frac{\text{free NH}_3}{\text{total ammonia}}$$

الجدول التالي يبين نسبة الأمونيا الحرة الى نسبة الأمونيا في الوسط المائي في صورة أيون أمونيوم

pH	T =15 C ⁰		T =20 C ⁰		T =25 C ⁰	
	NH3	NH4+	NH3	NH4+	NH3	NH4+
6.5	0.09	99.91	0.13	99.87	0.18	99.82
7:00	0.27	99.73	0.40	99.60	0.57	99.43
7.5	0.86	99.14	1.24	98.76	1.77	98.23
8:00	2.67	97.33	3.82	96.18	5.38	94.62
8.5	7.97	92.03	11.16	88.84	15.25	84.75
9:00	21.5	78.50	28.43	71.57	36.27	63.73
9.5	46.41	53.59	55.68	44.32	64.28	35.72

*الفوسفور phosphorus

الفوسفور الكلي في مياه الصرف يوجد في صورة فوسفات في صورتين

*فوسفور غير عضوي ويشمل عديد الفوسفات polyphosphates والاورثوفوسفات

orthophosphates

*عضوي عبارة عن مواد عضوية تحتوي على الفوسفات مثل ATP & ADP

يوجد الفوسفور في المنظفات الصناعية في مياه الصرف في صورة عديد الفوسفات الذائب والذي يتحلل الى الاورثوفوسفات ؛ والآخر يكون جاهز للعمليات الحيوية التي تقوم بها البكتريا دون الحاجة لتحويله الى صور ايسط وتعتمد صور الاورثوفوسفات على درجة الحموضة ومن

صوره H_3PO_4 , $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} ؛ اما عديد الفوسفات فيحتوي على من ذرتين أو أكثر فوسفور ويعزي أكثر من 50% من الفوسفور الموجود بمياه الصرف الصحي المنزلي الى المنظفات الصناعية ويمكن تصنيف الفوسفور في مياه الصرف الى

*فوسفور ذائب وهو عادة غير عضوي ويشمل عديد الفوسفات والاورثوفوسفات مع نسبة

بسيطة من الفوسفور العضوي الذائب

*حبيبات الفوسفور وهي كلها مركبات فوسفورية عضوية

ترجع أهمية الفوسفور انه مغذي هام للكائنات الحية المسؤولة عن تثبيت المواد العضوية اثناء عملية المعالجة وعادة تحتوي مياه الصرف الصحي المنزلي على كمية كافية بينما يمكن ان يكون هناك نقص في مياه الصرف الصناعي كما انه ايضا هام لتغذية الطحالب والتي تسبب

ظاهرة Eutrophication

1-4-3 العلاقة بين الحمل والتركيز relationship between load and concentration

قبل أن نتحدث عن التركيزات النموذجية للملوثات الرئيسية في مياه الصرف سوف نعرض لمفهوم (الفرد) (per capita) فنقول الحمل للفرد يمثل متوسط المساهمة لكل واحد (معبرا عنه بكتلة الملوثات) الى وحدة الزمن وتكون وحدة القياس جرام/مواطن.يوم gm/inhabitant .d وعلى سبيل المثال عندما يكون مساهمة الأوكسيجين الحيوي المطلوب BOD هو 54 جرام /مواطن.يوم فإنه يكافئ قولنا أن كل شخص يفرغ 54 جرام من الأوكسيجين الحيوي المطلوب في اليوم وبالتالي يمكننا وضع علاقة تربط الحمل الوارد للمحطة بكتلة الملوثات في وحدة الزمن

الحمل = التعداد x الحمل للفرد

Load = population x per capita load

$$\text{Load kg/d} = \frac{\text{population (inhabitants)} \times \text{per capita load } \left(\frac{\text{gm}}{\text{inhab.d.}}\right)}{1000 \frac{\text{gm}}{\text{kgm}}}$$

أو يمكن التعبير عنه بالعلاقة

الحمل = التركيز x التدفق

Load = concentration x flow

$$\text{Load kg/d} = \frac{\text{concentration } \frac{\text{gm}}{\text{m}^3} \times \text{flow } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right)}{1000 \frac{\text{gm}}{\text{kgm}}}$$

لاحظ أن جم/م³ = ملجم / ل ؛ يمكن الحصول على تركيز مياه الصرف بإعادة ترتيب العلاقة السابقة

التركيز = الحمل / التدفق

Concentration = load / flow

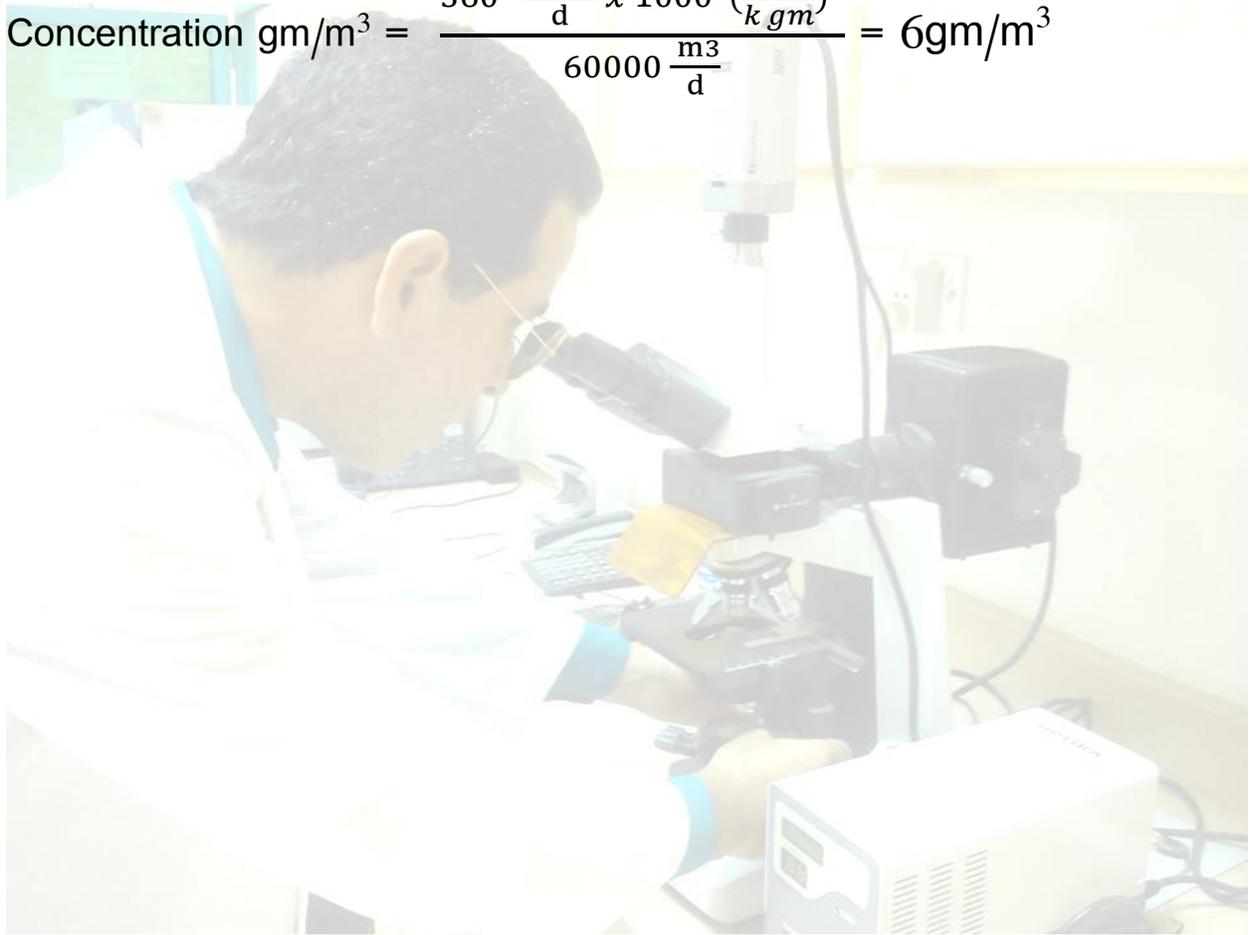
$$\text{Concentration gm/m}^3 = \frac{\text{load } \frac{\text{k gm}}{\text{d}} \times 1000 \left(\frac{\text{gm}}{\text{k gm}}\right)}{\text{flow } \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}$$

حساب حمل النيتروجين للمياه الخام للمحطة حيث أن تركيز النيتروجين 60 ملجم/ل ومتوسط معدل التدفق اليومي التصميمي 60000 م³/يوم

$$\text{Concentration gm/m}^3 = 60 \times \frac{1000}{1000000} \times 60000 \frac{\text{k gm}}{\text{d}} = 3600 \text{ kg/d}$$

ونحسب حمل الفوسفور ؛ حيث يكون متوسط التركيز المثالي له في مياه الصرف المنزلي 7 ملجم/ل ومتوسط معدل التدفق اليومي التصميمي 60000 م³/يوم يكون حمل الفوسفور 420 كجم/يوم ؛ وحسب التحاليل المخبرية تركيز الفوسفور الكلي 6 ملجم/ل وبالتالي حمل الفوسفور الفعلي 360 كجم/يوم ؛ يمكن حساب التركيز اذا توفر الحمل مباشرة كالتالي :

$$\text{Concentration gm/m}^3 = \frac{360 \frac{\text{kgm}}{\text{d}} \times 1000 \left(\frac{\text{gm}}{\text{kgm}}\right)}{60000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} = 6\text{gm/m}^3$$



5-1 خواص مياه الصرف الصحي

Domestic sewage characteristics

يمكن تلخيص خواص مياه الصرف الصحي المنزلي في الدول النامية في الجدول التالي :

Parameters	Per capita load gm/inh.d		Concentration mg/l except pH	
	Range	Typical	Range	Typical
Total solids	120-220	180	700-1350	1100
Suspended	35-70	60	200-450	350
*fixed	7-14	10	40-100	80
*volatile	25-60	50	165-350	320
Dissolved	85-150	120	500-900	700
*fixed	50-90	70	300-550	400
*volatile	35-0	50	200-350	300
Settable	-	-	10-20	15
Organic matter				
BOD	40-60	50	250-400	300
COD	80-120	100	450-800	600
BODu	60-90	75	350-600	450
Total nitrogen	6-10	8	35-60	45
Organic nitrogen	2.5-4	3.5	15-25	20
Ammonia	3.5-6	4.5	20-35	25
Nitrite	0.00	0.00	0.00	0.00
Nitrate	0.00-3	0.00	0.00-2	0.00
Phosphorous	0.7-2.5	1	4-15	7
Organic P	0.7-1	0.3	1-6	2
inorganic P	0.5-1.5	0.7	3-9	5
pH	-	-	6.7-8	7
alkalinity	20-40	30	100-250	200
Heavy metals	0.00	0.00	0.00	0.00
Toxic organics	0.00	0.00	0.00	0.00

كلما كان معدل التدفق كبير كلما كان معدل حمل BOD للفرد كبير وكلما كان التركيز قليل

الجدول التالي يوضح تركيزات الميكروبات الموجودة في مياه الصرف الصحي المنزلي في

الدول النامية

Microorganism	Per capita load org.inhab./d	Concentration org./100 ml
TCF	$10^{10} - 10^{13}$	$10^7 - 10^{10}$
Thermo tolerant coliform	$10^9 - 10^{12}$	$10^6 - 10^9$
E.Coli	$10^9 - 10^{12}$	$10^6 - 10^9$
Fecal streptococci	$10^7 - 10^{10}$	$10^4 - 10^7$
Protozoan cysts	$<10^7$	$<10^4$
Helminthes eggs	$10^3 - 10^6$	$10^0 - 10^3$
Viruses	$10^5 - 10^7$	$10^2 - 10^4$

1-6 المكافئ التعدادي

Population equivalent

هو معيار هام لمياه الصرف يحدد التلوث المحتمل من صناعة ما في صورة تعداد سكاني يحدث نفس الحمل العضوي لهذا التلوث بمعنى عندما نقول ان المكافئ التعدادي لصناعة ما 20000 مواطن معناه أن حمل الاكسيجين الحيوي المطلوب BOD يناظر حمل الاكسيجين الحيوي الناتج من تعداد سكاني قدره 20 الف مواطن ويمكن حساب المكافئ التعدادي المبني على BOD من العلاقة التالية :

$$\text{Population equivalent PE} = \frac{\text{BOD load from industry} \frac{kg}{d}}{\text{per capita BOD load} \frac{kg}{inhab.d}}$$

وباستخدام القيمة المستخدمة عالميا (يمكن استخدام قيم أخرى طبقا لتحاليل الموقع) لحمل BOD وهي

$$\text{BOD load} = 54 \text{ gm BOD/inhab.d}$$

$$\text{Population equivalent PE} = \frac{\text{BOD load from industry} \frac{kg}{d}}{0.054 \frac{kg}{inhab.d}}$$

مثال توضيحي : احسب المكافئ التعدادي لصناعة معدل التدفق الخارج منها لشبكة الصرف

الصحي هو 120 متر مكعب لليوم وتركيز الاكسيجين الحيوي المطلوب 2000 ملجم/ل

$$\text{Population equivalent PE} = \frac{120 \frac{m^3}{d} \times 2.000 \frac{kg}{d}}{0.054 \frac{kg}{inhab.d}} = 4444 \text{ inhabitant}$$

وبالتالي يمكن القول أن التلوث الداخل للشبكة من مياه الصرف الصناعي لهذه الصناعة يكافئ حمل BOD لتعداد سكاني قدره 4444 مواطن

مثال آخر وهو موجود بكثرة في المنطقة العربية وهو المسالخ

إذا كان مسلخ يذبح يوميا 30 رأس من البعير و 20 رأس من البقر وحيث أن رأس البعير

الواحدة تعطي 3 kg BOD / cattle or cow يتم سلخه

$$\text{Population equivalent PE} = \frac{30 \times 3kg + 20 \times 3kg}{0.054 \frac{kg}{inhab.d}} = 2777.7 \text{ inhabitant}$$

وإذا كانت كمية المياه المستخدمة أثناء ذبح وسلخ البعير الواحد أو البقرة هي 2 متر مكعب فإن

كمية المياه ستكون 100 متر مكعب وهو يمثل التدفق الخارج من المسلخ في اليوم ومنه يمكن

حساب تركيز الاكسجين الحيوي المطلوب BOD

$$\text{Concentration gm/m}^3 = \frac{150 \frac{kgm}{d} \times 1000 \left(\frac{gm}{kgm}\right)}{100 \frac{m^3}{d}} = 1500 \text{ gm/m}^3 = 1500 \text{ mg/l}$$

7-1 تقدير معدل التدفق

Flow estimation

يمكن تقييم معدل التدفق لمياه الصرف الصحي المنزلي كالتالي :

*المعدل العالمي لاستهلاك المياه للفرد $L_{pcd} = 160-180$ L/inhab.d

*معامل الرجوع (تدفق الصرف /تدفق المياه) $R = 0.8$

يكون متوسط التدفق هو :

$$Q_{dave} = \frac{pop \times L_{pcd} \times R}{1000} = \frac{300000 \times 160 \times 0.8}{1000} = 38400 \text{ m}^3/\text{d}$$

في المملكة العربية السعودية متوسط استهلاك الفرد يزيد عن العالمي وهو في حدود 250 لتر للفرد وبالتالي عند حساب متوسط معدل التدفق لمحطة ما على أساس أن التعداد السكاني الذي سوف يتم تصميم المحطة لخدمته هو 300 ألف نسمة سيكون متوسط معدل التدفق للعام الذي سيكون فيه هذا التعداد السكاني وليكن هو العام (0) هو :

$$Q_{dave} = \frac{pop \times L_{pcd} \times R}{1000} = \frac{300000 \times 250 \times 0.8}{1000} = 60000 \text{ m}^3/\text{d}$$

يمكن حسابه للاعوام التالية حسب التعداد السكاني المتوقع

*حساب أعلى تدفق

يمكن استخدام العلاقة :

$$= 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{60000/1000}} = 2.19 \frac{Q_{max}}{Q_{av}}$$

$$Q_{\max} = \frac{Q_{\max}}{Q_{av}} \times Q_{av} = 2.19 \times 60000 = 131489 \text{ m}^3/\text{d}$$

أو حسابه كما سبق من العلاقة (وهذه العلاقة تعتمد بشكل كبير أكثر من العلاقة السابقة في تصميم محطات معالجة مياه الصرف الصحي)

$$Q_{\max} = Q_{av} \times 1.8 = 60000 \times 1.8 = 108000 \text{ m}^3/\text{d}$$



*أقل تدفق minimum flow

النسبة بين أقل تدفق ومتوسط التدفق هي:

$$Q_{\min.}/Q_{av.} = 0.5$$

$$Q_{\min} = 0.5 \times 60000 = 30000 \text{ m}^3/\text{d}$$

1-7-1 تدفق التسريب infiltration flow

يمكن حساب تدفق التسريب من العلاقة

$$Q_{inf} = \text{network} \times 0.3 \text{ L/s Km}$$

فإذا كان الشبكة طولها 80 كم

$$Q_{inf} = 80 \times 0.3 \text{ L/s Km} = 24 \text{ L/s} = 2073.6 \text{ m}^3/\text{d}$$

2-7-1 تدفق مياه الصرف الصناعي industrial wastewater flow

لنأخذ مثال مصانع الالبان ؛ يتم اعتماد 7 متر مكعب من مياه الصرف الصناعي تنتج لكل 1000 لتر من اللبن يتم تصنيعه ؛ بفرض في بداية الانتاج للمصنع من 0-5 أعوام كانت 5000 لتر يوميا ثم خلال الأعوام 10-15-20 عام كانت 10000 لتر في اليوم وبفرض أن أعلى تدفق يساوي 1.5 مرة متوسط التدفق وأقل تدفق يساوي 0.5 متوسط التدفق

$$Q_{av.} = 5 \text{ m}^3 \times 7 \text{ m}^3 \text{ wastewater/m}^3 \text{ milk} = 35 \text{ m}^3 \text{ wastewater /d} = 0.4 \text{ L/s}$$

$$Q_{max.} = 1.5 \times 0.4 \text{ L/s} = 0.6 \text{ L/s}$$

$$Q_{min.} = 0.5 \times 0.4 \text{ L/s} = 0.2 \text{ L/s}$$

1-7-3 التدفق الكلي total flow

التدفق الكلي هو مجموع تدفق مياه الصرف المنزلي + تدفق التسريب + تدفق الصرف الصناعي وبالتالي متوسط التدفق الكلي هو مجموع متوسطات التدفق وكذلك الحال أعلى تدفق وأقل تدفق .

8-1 حمل الأوكسجين الحيوي المطلوب

BOD load

* حمل الأوكسجين الحيوي المطلوب لمياه الصرف المنزلي domestic BOD load

باعتقاد انتاجية الفرد من BOD لليوم هي 54 جرام والتعداد السكاني عند العام (0) أو البديية هو 300000 نسمة فإن حمل الاكسجين الحيوي المطلوب للصرف المنزلي سيكون 16200 كجم/يوم ويمكن حسابه للاعوام التالية طبقا للزيادة المتوقعة لعدد السكان .

* حمل الأوكسجين الحيوي المطلوب لمياه التسريب infiltration BOD load

يعتبر مساويا للصفر ويمكن اهماله

* حمل الأوكسجين الحيوي المطلوب لمياه الصرف الصناعي industrial BOD load

يتم اعتماد 25 كجم BOD لكل 1000 لتر من الحليب

* الحمل الكلي للأوكسجين الحيوي المطلوب هو مجموع الثلاثة $16200 + 125 + 0 = 16200$ kg BOD

ويكون تركيز $BOD = 16200 \times 1000 / 60000 = 270$ mg/l

لاحظ أنه في الدول النامية يعتمد 60 جم للفرد BOD عند تصميم المحطات ويتم تصميم المحطات على أساس أن تركيز $BOD = 300$ mg/l بدون حساب أي مياه صرف صناعي تدخل الشبكة وإذا كان ثمة مياه صرف صناعي يتم اضافة حملها العضوي للحسابات ؛
والمكافئ التعدادي على أساس أن حمل $BOD = 60$ gm per capita/d

1-9-9-1 حركة التفاعل

Reaction kinetics

1-9-1 أنواع التفاعلات reaction types

معظم التفاعلات التي تحدث أثناء عملية المعالجة بطيئة وأخذ حركيتها في الاعتبار هام جدا ؛

يستخدم مصطلح معدل التفاعل (r) للتعبير عن المركبات التي تختفي أو التي تنتج من التفاعلات في الوسط ويعبر عن العلاقة بينه وبين المواد المتفاعلة ورتبة التفاعل بالعلاقة التالية

$$R = kC^n$$
 حيث r معدل التفاعل و k ثابت التفاعل و C تركيز المواد المتفاعلة و n رتبة

التفاعل ؛ عندما تكون $n=0$ يكون التفاعل رتبة صفر وعند $n=1$ يكون الرتبة الاولى وهكذا واذا

كانت المواد المتفاعلة أكثر من مادة يجب أخذ تركيزات كل المواد الداخلة في التفاعل بالاعتبار

فمثلا بفرض مادتين يتم التفاعل بينهما هما A^n , B^m تكون العلاقة $r = k A^n B^m$ وتكون

رتبة التفاعل ($n+m$) فمثلا لو أن $r = k A^2 B$ معناه أن التفاعل رتبة أولى بالنسبة ل b و

رتبة ثانية بالنسبة ل A ويكون التفاعل ككل من الرتبة الثالثة $third\ order\ reaction$.

لو اخدنا لوغريتم طرفي المعادلة لحلها لتفاعل يتكون من مادة متفاعلة واحدة

$$\text{Log } r = \text{log } k + n \text{ log } C$$
 زمنها نجد أن

*إذا كانت رتبة التفاعل صفر $n=0$ فإن التفاعل لا يعتمد على تركيز المادة الداخلة في

التفاعل والرسم البياني للمعادلة سيعطينا خط أفقي مستقيم

*إذا كان التفاعل من الرتبة الأولى $n=1$ فإن معدل التفاعل يعتمد على تركيز المادة الداخلة

في التفاعل ويتناسب معها طرديا

*إذا كان التفاعل من الرتبة الثانية $n=2$ فإن معدل التفاعل يعتمد على تركيز المادة الداخلة في التفاعل ويتناسب مع مربع تركيزها

معظم التفاعلات في معالجة مياه الصرف الصحي هي من الرتبة صفر والرتبة الأولى للتفاعل بينما بعض التفاعلات من الرتبة الثانية تتواجد في بعض مياه الصرف الصناعي .

ليس بالضرورة أن تكون رتبة التفاعل عدد صحيح لأنه يوجد مثلا رتبة ونصف one-half reaction ؛ وبجانب هذه التفاعلات ذات الرتبة الثابتة يوجد نوع آخر من التفاعلات في مياه الصرف يسمى التفاعلات المشبعة saturation reactions وبالتالي فإن التفاعلات الهامة في معالجة مياه الصرف ثلاثة هي الرتبة صفر الأولى والتفاعلات المشبعة .

1-9-2 تفاعلات الرتبة صفر zero order reactions

هي التفاعلات التي فيها معدل التفاعل لا يعتمد على تركيز المادة المتفاعلة وبالتالي يكون معدل التغير في التركيز يكون ثابت وهذا يحدث في نظام المعالجة بالوجبات حيث لا يكون هناك اضافة أو سحب أثناء عملية المعالجة من المفاعل (على سبيل المثال أثناء ميكانيكة تكسير أو تفكيك المادة) ويعطى معدل التغير بالعلاقة التالية

$$= -kC \frac{ds}{dt}$$

والاشارة السالبة تشير الى ازالة أو تناقص المادة المتفاعلة بينما الموجبة تشير الى المواد الناتجة ويمكن ترتيب المعادلة كالتالي :

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

ومنها نجد أن معدل التغير ثابت مع الزمن وتكامل هذه المعادلة عند $C=C_0$ عند زمن $t=0$

$$C=C_0 - kt$$

1-9-3 تفاعل الرتبة الاولى first order reaction

وفيها معدل التفاعل يتناسب طرديا مع تركيز المواد المتفاعلة ؛ في مفاعلات الوجدات معدل التغير في تركيز المواد المتفاعلة C يتناسب مع تركيز المواد المتفاعلة عند زمن معين وبفرض التفاعل الذي يتم فيه ازالة المواد تكون المعادلة المعبرة عن ذلك :

$$= -kC^1 = -kC \frac{dC}{dt}$$

من المعادلة يتضح أن المعدل يتناقص خطيا مع الزمن وتكامل هذه المعادلة عند $C=C_0$ عند زمن $t=0$

يعطينا العلاقة :

$$\ln C = \ln C_0 - k.t$$

$$C=C_0 e^{-kt}$$

معظم التفاعلات في معالجة مياه الصرف تتبع التفاعل من الرتبة الاولى ويعتبر استخدام الاكسيجين للتهوية أحد هذه التفاعلات كما أن ازالة المواد العضوية وتحلل الكائنات الدقيقة التي تقوم بعملية المعالجة أمثلة أخرى تعتبر عملية تثبيت المواد العضوية أثناء تفاعلات كاذبة من الدرجة الاولى pseudo first order وبالرغم من أن التفاعل يشمل تركيز الاكسيجين والمواد العضوية وعدد الكائنات الحية الا أنه المعدل يتناسب مع تركيز أحدها (هنا مثلا المواد العضوية) بشرط تواجد الأخرى بتناسب بمعنى انه في حال تواجد المواد العضوية بتركيز

منخفض يكون التفاعل من الرتبة الاولى ؛ في مياه الصرف الصحي والصناعي يكون في البداية يتم استهلاك او ازالة مكونات مياه الصرف مع بعضها بالتزامن يكون المعدل عالي ثم يتناقص مع الوقت ثم يتباطأ بعد فترة زمنية عندما يتواجد فقط المركبات صعبة التكسير .

1-9-4 تفاعل التشبع saturation reaction

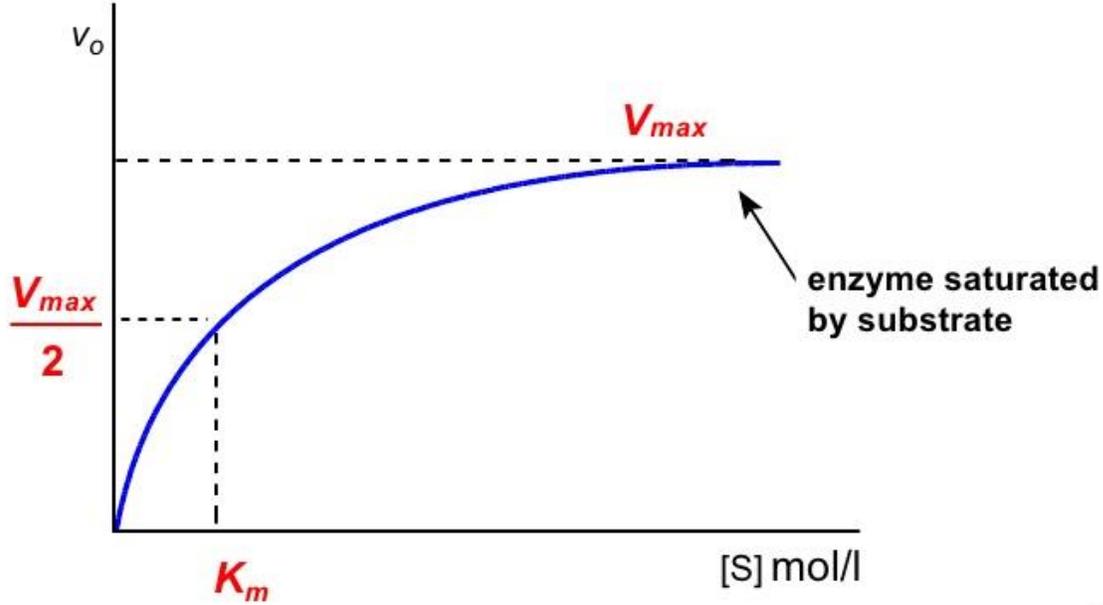
وهو تعبير آخر يصف المعدلات في عمليات معالجة مياه الصرف بناء على التفاعلات الانزيمية والتي تم اقتراحها من قبل اثنين من علماء البيولوجي هما ميتشل - منتن .
تكسير المواد العضوية بواسطة البكتريا يحتاج تحفيز للتفاعل بالانزيمات فوضع ميتشل - منتن تعبير يصف حركية التكسير البكتيري للمركبات ونمو البكتريا أيضا في مياه الصرف ومعدل التفاعل يعبر عن ميل المعدل للوصول لقيمة للتشبع ويعبر عنها بالعلاقة :

$$r = r_{max} \cdot \frac{S}{S+K_s}$$

حيث r هو معدل التفاعل و r_{max} أعلى معدل للتفاعل و S تركيز المادة المحددة أو الرئيسية للتفاعل و K_s ثابت نصف التشبع أو هو تركيز المادة التي يكون عنده معدل التفاعل r يساوي $r_{max}/2$.

هذه المعادلة مهمة جدا في عمليات معالجة الصرف لأنها تمثل التفاعلات من الرتبة صفر والرتبة الاولى

The graph of previous equation is saturation curve



26

في بداية التفاعل يكون تركيز المواد العضوية كبير ومعدل ازالة المواد العضوية يتبع الرتبة صفر للتفاعل وعندما يبدأ استهلاك المواد العضوية يبدأ معدل التفاعل في التناقص وعندما ينخفض تركيزها يكون معدل التفاعل محدود وما بين الحالتين يكون رتبة التفاعل خليط منهما وعندما ينخفض تركيز المواد العضوية جدا وتكون المواد المتاحة تركيزها منخفض جدا للتفاعل فإن حركية التفاعل تتبع الرتبة الاولى ؛ هذه الحالات تحدث كدالة في قيم كل من S و Ks

*تركيز المادة مرتفع $S \gg Ks$ يتبع الرتبة صفر ؛ عندما يكون تركيز المادة منخفض جدا عن قيمة Ks فإنه يمكن إهمال قيمة S في مقام المعادلة وتصبح المعادلة :

$$r = r_{\max} \cdot \frac{S}{K_S}$$

وحيث ان كل من r_{\max} و K_S ثوابت فإنه $\frac{r_{\max}}{K_S}$. أيضا ثابت يمكن استبداله بثابت واحد K

$R = K \cdot S$ وفي هذه الحالة معدل التفاعل يتناسب مع تركيز المادة ويتبع التفاعل من الرتبة

الاولى وهذا التفاعل شائع في معالجة مياه الصرف ؛ في مفاعلات الخلط الكامل حيث يكون

تركيز المادة في وسط المفاعل أو الحوض قليل بسبب الحاجة للحصول على منتج به تركيزات

منخفضة من المادة ؛ وسوف نشرح بتفصيل اكثر معادلة ميتشل - منتن ودورها في عمليات

معالجة مياه الصرف لاحقا.

1-9-5 تأثير درجة الحرارة influence of temperature

معدل التفاعل يزيد بزيادة درجة الحرارة بشرط الا تحدث هذه الزيادة تغييرا في المادة أو الانزيم

والتفاعلات البيولوجية ضمن هذه الحدود لها نفس الميل .

الا أنه توجد درجة حرارة مثالية لهذه التفاعلات فوقها تبدأ في التناقص وقد يكون ذلك بسبب

تكسير الانزيمات ويمكن تقييم التغير في معدل التفاعل وفقا لدرجات الحرارة من العلاقة التالية

والمبنية على نظرية فانت هوف - أرهينوس

$$K_{T2}/K_{T1} = \phi^{T2-T1}$$

حيث K_{T2} معامل التفاعل لدرجة الحرارة $t2$ و K_{T1} معامل التفاعل لدرجة الحرارة $K1$ و ϕ

معامل درجة الحرارة (لاحظ حتى لو كانت ϕ يتم التعامل معها كثابت الا ان التغير الطفيف

يكون مؤثرا حتى ضمن درجات الحرارة المنخفضة)

10-1 ائزان الكئلة

Mass Balance

1-10-1 المعادلات التمثيلية Representative Equations

بمجرد معرفة معدلات التفاعل فإنه يتم تقييم تأثيرها على ائزان الكئلة وهذا لأن تركيزات بعض مكونات حوض التهوية (أو أي مكان داخله) يكون دالة ليس فقط في التفاعلات الكيموحيوية ولكن أيضا في ميكانيكيات الإنتقال (للمواد الداخلة والمواد الخارجة) للمكونات واسم المفاعل يقصد به الحجم الذي يتم فيه التفاعلات الحيوية أو الكيميائية وهو حوض التهوية مثلا في عمليات المعالجة الهوائية لمياه الصرف الصحي .

إئزان الكئلة هو الوصف الكمي لكل المواد التي تدخل وتخرج وتتراكم للنظام وفق حدود فزيائية له وائزان الكئلة مبني على قانون الحفاظ على الكئلة الذي ينص على أن المادة لا تفنى ولا تستحدث من العدم .

والتعبير عن ائزان الكئلة لابد ان يكون وفق حجم محدد هو حوض تهوية أو أي حجم ضمنهما ويشمل إئزان الكئلة المواد الداخلة والمواد الخارجة والمواد التي يتم إنتاجها والمواد المستهلكة والمواد المتراكمة في النظام ويكون في أي نظام المواد المتراكمة هي حاصل الفرق بين المواد الداخلة للنظام والمواد الخارجة منه + المواد المنتجة مطروحا منها المواد المستهلكة ويمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية :

$$\text{Accumulation} = \text{input} - \text{output} + \text{production} - \text{consumption}$$

يمكن التعبير عن هذه العلاقة رياضيا كالتالي :

$$\frac{d(CV)}{dt} = QC_0 - QC + r_p V - rC V$$

حيث C تركيز المكونات عند زمن t و C_0 تركيز المكونات الداخلة للمفاعل و V حجم حوض أو أحواض التهوية (خلط كامل) أو حجم أي عنصر ضمن حوض التهوية و Q التدفق و t الزمن , و r_p معدل التفاعل للمكونات الناتجة و rC معدل التفاعل للمكونات المستهلكة .

يمكن التعبير عن هذه العلاقة بصورة أخرى

$$C \cdot \frac{dV}{dt} + V \cdot \frac{dC}{dt} = QC_0 - QC + r_p V - rC V$$

الحجم في احواض التهوية للمعالجة البيولوجية دائما يعتبر ثابت وبالتالي

$$\frac{dV}{dt} = 0$$

ومن ثم تصبح العلاقة هي :

$$V \cdot \frac{dC}{dt} = QC_0 - QC + r_p V - rC V$$

وهنا يكون البعد الوحيد في المعادلة هو الزمن وهي معادلة تفاضلية بسيطة مع الأخذ في الاعتبار أنه في الأنظمة الأخرى التي تتضمن أحواض ترسيب نهائي كما في عمليات المعالجة بالحماة النشطة يتضمن ائزان الكتلة تغيير في الحجم (بجانب التركيز) وبالتالي في هذه الانظمة يوجد بعدين هما الزمن والفراغ والذي يعطى معادلة تفاضلية خاصة أكثر تعقيدا الا انه في نظام المعالجة البيولوجية بالخلط الكامل (الحجم ثابت) يتم استخدام المعادلة السابقة لائزان الكتلة

10-2-1 حالة الاستقرار والحالة الحركية (الديناميكية) Steady state & dynamic state

حالة الاستقرار هي الحالة التي لا يكون فيها تراكم للمكونات في النظام أي أن $dc/dt = 0$ بمعنى ان تركيز المكونات ثابت أي أن تدفق الداخل والخارج وتركيز المكونات ثابت وبالتالي يوجد اتزان تام بحيث يكون مجموع المكونات في معادلة الاتزان السالبة والموجبة يساوي الصفر.

في تصميم محطات معالجة مياه الصرف يتم استخدام معادلة الاستقرار البسيطة عادة والذي يكون فيها $dc/dt = 0$

$$0 = QC_0 - QC + r_p V - r_c V$$

الحالة الحركية هي الحالة التي يكون فيها تراكم للمكونات في النظام أي أن $dc/dt \neq 0$ وبالتالي يكون التركيز في النظام متغير مع الزمن بالزيادة أو النقصان طبقا للإشارات السالبة أو الموجبة في المعادلة ؛ عادة في محطات المعالجة يكون التدفق الداخل أو التدفق الخارج أو كلاهما يكون متغير بالإضافة الى التأثيرات الاخرى على النظام مثل تغير درجات الحرارة والتي تسبب تغير في تركيز المكونات وبالتالي فالحالة الحركية هي الاكثر تعبيراً وملائمة لانظمة معالجة مياه الصرف وتبنى على المعادلة العامة لاتزان الكتلة ويستخدم نموذج الحالة الحركية في تصميم محطات معالجة مياه الصرف لتقييم تأثير التغيرات في الاحمال الداخلة للنظام وكفاءة المحطة .

1-11 بيولوجيا مياه الصرف الصحي

Microbiology of wastewater

عملية المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي كما يبدو من اسمها تتم بواسطة عمليات حيوية من خلال توفير الظروف المناسبة للكائنات الحية التي تقوم بهذه المهمة ؛ وهذه العملية تحدث في الطبيعة كما في البحيرات والانهار والبرك والمستنقعات وتسمى ظاهرة التنقية الذاتية ولكن بدون سيطرة ولا تحكم فيها ؛ في عمليات معالجة مياه الصرف الصحي يتم استخدام التكنولوجيا للسيطرة على هذه الظاهرة وتوجيهها حسب الحاجة وتحت ظروف محددة للحصول على منتج ذات خصائص معينة (مثلا في البحيرات الاختيارية تلعب الطحالب دور هام في انتاج الاكسيجين من خلال عمليات التخليق الضوئي وبالتالي يتم تصميم البحيرات أو البرك بحيث تسمح بالنمو المثالي للطحالب بينما مثلا في المعالجة اللاهوائية يتم التصميم للسماح للكائنات الحية التي تتكيف مع عدم وجود الاكسيجين كما ان المعالجة الهوائية تحتاج نمو بعض أنواع البكتريا والبروتوزوا الهامة للمعالجة وبالتالي يتم التصميم الذي يسمح لها بالتكاثر والنمو) .

إن فهم سلوك الأحياء الدقيقة في كيفية معالجة مياه الصرف الصحي ضرورة من أجل العمل على أفضل تصميم وتشغيل نظام المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي .

من أهم الكائنات الحية الدقيقة التي تقوم بمعالجة مياه الصرف هي على التوالي البكتريا والبروتوزوا والفطريات والطحالب والديدان .

كل الكائنات الحية تحتاج إلى طاقة وغذاء (كربون) ومغذيات (العناصر مثل النيتروجين والفوسفور والحديد... الخ) لكي تتمكن من القيام بوظائفها الحيوية مثل الحركة والنمو والتكاثر .

يمكن تقسيم الكائنات الحية إلى قسمين طبقاً لنوع الكربون الذي تستخدمه كمصدر للغذاء ؛
الأول كائنات ذاتية التغذية autotrophic organism وهي التي تستخدم ثاني أكسيد الكربون
كمصدر للكربون (تصنع غذائها بنفسها بتحويل الكربون إلى مركبات أكثر تعقيداً) ؛ والثاني
كائنات غير ذاتية التغذية heterotrophic organism وهي التي تستخدم المركبات العضوية
مصدراً للكربون (تأخذ غذائها جاهزاً عبارة عن مركبات عضوية موجودة بالبيئة).

كما يمكن تقسيمها أيضاً بناءً على مصدر الطاقة إلى قسمين الأول كائنات ضوئية التغذية
phototrophic organism وهي التي تستخدم الضوء كمصدر للطاقة والثاني كيميائية
التغذية chemotrophic organism وهي تستخدم المركبات الكيميائية في الحصول على
الطاقة ؛ في كل عمليات معالجة مياه الصرف (فيما عدا برك الأكسدة) لا يستطيع الضوء
إخترق السائل في الأحواض لدرجة ذات أهمية وبالتالي فإن الكائنات التي تعتمد على الضوء
كمصدر للطاقة photoautotrophic & photoheterotrophic ليست ذات تأثير في عملية
المعالجة بالحماة النشطة ؛ بينما تلعب البكتيريا ذاتية التغذية التي تستخدم المركبات الكيميائية
كمصدر للطاقة chemoautotrophic (مثل البكتيريا التي تقوم بعملية النترتة) والبكتيريا غير
ذاتية التغذية التي تستخدم المركبات الكيميائية للحصول على الطاقة
chemoheterotrophic (المسؤولة عن معظم التفاعلات في عملية المعالجة بالحماة
النشطة) .

داخل الخلية البكتيرية تحدث التفاعلات الكيموحيوية في عملية تسمى التمثيل الغذائي

metabolism وهي تنقسم إلى نوعين من التفاعلات الحيوية

*تفاعلات ينتج منها طاقة نتيجة تكسير للمركبات العضوية وتسمى عدم التمثيل

dissimilation أو الهدم catabolism

* تفاعلات ينتج منها بناء أو تخليق خلايا جديدة (النمو) وتسمى التمثل assimilation أو البناء anabolism وهي تستخدم الطاقة التي تتحرر من التفاعلات السابقة في عملية الهدم .

ببساطة تنمو الكائنات الحية وتتكاثر مقابل الطاقة التي تحصل عليها من عملية الهدم حيث تكون الطاقة مختزنة في صورة مركبات كيميائية عضوية تسمى المواد المتفاعلة substrate حيث تتحرر هذه الطاقة وتتحول الى خلايا في عملية البناء ويكون صافي النمو هو ناتج التوازن بين البناء (الموجب) والهدم (السالب) وفي كلتا الحالتين يحدث التحول الكيميائي من خلال سلسلة متتابعة من التفاعلات يتم تنشيط كل منها بإنزيم خاص ؛ معظم الإنزيمات موجودة داخل الخلية الحية وتسمى الإنزيمات الداخلية intracellular enzyme or endoenzyme ؛ الا أن بعض الإنزيمات تفرزها البكتريا في الخارج وتسمى extracellular enzyme or exoenzyme وهي تفرز في البيئة المحيطة وترجع أهميتها الى تفاعلات التحلل التي تحدث خارج الخلية وهي المسؤولة عن تحويل المركبات كبيرة الحجم والمعقدة الى مركبات بسيطة يمكن أن تمر من خلال غشاء الخلية حيث يتم استهلاكها .

عملية إزالة المواد العضوية من مياه الصرف الصحي (معالجة مياه الصرف الصحي) تحدث من خلال عملية الهدم catabolism وهي تنقسم إلى نوعين:

* الهدم بالتأكسد oxidative catabolism وهي تفاعلات أكسدة واختزال redox يتوفر العامل المؤكسد في البيئة المحيطة (مثل الأوكسجين والنترات والكبريتات) وهو يؤكسد المواد العضوية

* الهدم بالتخمر fermentative catabolism ولا يوجد بالبيئة عامل مؤكسد ولكنها عملية يتم فيها لإعادة ترتيب اللاإلكترونات في الجزيئات المتخمرة بحيث ينتج منها على الأقل اثنين من النواتج.

إنتاج الطاقة في الخلية يتم طبقاً لنوع وطبيعة الكائنات الحية فهو يتم إما عن طريق التنفس
respiration (الهدم بالتأكسد) أو التخمر (الهدم بالتخمر) ؛ وعملية التنفس ليست محصورة
في العمليات التي تستخدم فيها الخلية الحية الاكسيجين ؛ وعادة في عملية الأوكسدة تفقد المادة
التي تم أكسدتها الكترولون أو أكثر وتتحول الى حالة تأكسد أعلى ويمكن أن تكون مادة عضوية
أو غير عضوية وهي في هذه الحالة تكون مانحة للإلكترونات electron donor ؛ تنتقل هذه
الإلكترونات عبر سلسلة معقدة من التفاعلات الكيموحيوية وبمساعدة الانزيمات الى مركبات
غير عضوية أخرى (وتسمى العوامل المؤكسدة) وتسمى مكتسبة للإلكترونات ومن ثم ينخفض
حالة أكسدتها .

من أهم مكتسبات الإلكترونات والتي تستخدم في عملية التنفس الأوكسيجين (في البيئة الهوائية
تمثل غذائي هوائي ينتج منه ماء) والنترات (في البيئة اللاهوائية anoxic ويحدث أثناء
اختزال النترات وينتج غاز النيتروجين) والكبريتات وثاني أكسيد الكربون (البيئة اللاهوائية
anaerobic تختزل الكبريتات وينتج عنها كبريتيد الهيدروجين بينما يتحول ثاني اكسيد
الكربون الى ميثان عبر عملية methanogenesis وهي تتم بطريقتين الاولى عملية تأكسد
يتم الحصول على الميثان من الهيدروجين hydrogenotrophic methanogenesis ويكون
فيها ثاني اكسيد الكربون مكتسب للإلكترونات ويختزل الهيدروجين ؛ والثاني انتاج الميثان من
الاسيتات acetotrophic methanogenesis حيث يتحول حامض الخليك أو الاسيتات الى
ميثان وهذه السلسلة منالتفاعلات أهم من الاولى وهي السائدة) .

توجد كائنات تتكيف مع مختلف ظروف التنفس وتنقسم الكائنات الحية الى

*كائنات هوائية فقط aerobic وهي تستخدم الاكسيجين الجزيئي في التنفس

*كائنات اختيارية anoxic وهي تفضل الاكسجين الجزئي الحر وايضا تستخدم النترات كمكتسب للإلكترونات

*كائنات لاهوائية تماما anaerobic وتستخدم ثاني اكسيد الكربون والكبريتات كمكتسب للإلكترونات ولا تحصل على الطاقة عبر التنفس الهوائي .

ولأن الطاقة التي تنتج من التفاعلات الهوائية أكبر بكثير من الطاقة الناتجة من التفاعلات اللاهوائية anaerobic فإن الكائنات الهوائية تتكاثر وتعمل على تثبيت المواد العضوية أسرع وأكثر من الكائنات اللاهوائية وبما أن معدل النمو والتكاثر في الكائنات الهوائية أكبر سيكون إنتاج الحمأة أكبر أيضا .

سلسلة التحولات التي تحدث أثناء معالجة مياه الصرف دالة في مكتسبات الإلكترونات وحالة التأكسد للمركبات والتي يتم متابعتها كما سنوضح لاحقا بالكترودات قياس الأوكسدة والاختزال . ORP

حالة التأكسد للمركب تحدد كمية الطاقة القصوى المتاحة فيه فكلما كان المركب أكثر إختزلا كلما كانت كمية الطاقة به كبيرة ؛ والهدف من التمثيل الغذائي هو الحفاظ على الكثير من الطاقة كلما أمكن للخلية ؛ أقصى طاقة متاحة من أكسدة المواد هو الفرق بين محتوى الطاقة (يعطى بحالة التأكسد) ومحتوى الطاقة للمنتج النهائي (يعطى بحالة تأكسد المنتج في نهاية التفاعل) .

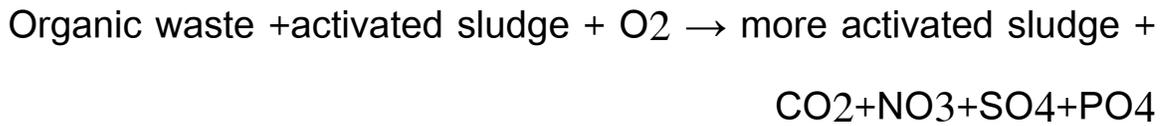
*كلما كانت حالة التأكسد للمنتج النهائي كبيرة كلما كانت كمية الطاقة المتحررة كبيرة ؛ الكربون في ثاني أكسيد الكربون في أعلى حالات التأكسد لذلك تفاعلات الأوكسدة التي تؤكسد الكربون

في المادة تماما لثاني اكسيد الكربون (تنفس هوائي) يتحرر منها طاقة أكثر من التفاعلات التي ينتج منها إيثانول (التخمير) .

*كلما انخفضت حالة التأكسد للمادة Substrate كلما كانت كمية الطاقة المتحررة كبيرة فمثلا أكسدة حامض الخليك لثاني أكسيد الكربون يتحرر منها طاقة أقل من المتحررة نتيجة تحويل الإيثانول لثاني أكسيد الكربون لأن الكربون في حامض الخليك في حالة تأكسد أعلى من الكربون في الإيثانول .

*ثاني أكسيد الكربون لا يمكن أن يكون مصدرا للطاقة لأن الكربون في أعلى حالة تأكسد له .

تحتوي مياه الصرف المنزلي علي نسبة 100 : 5 : 1 من الكربون والنيتروجين والفسفور التي تفي بحاجة الكائنات الدقيقة ؛ وتتواجد المركبات العضوية في مياه الصرف ذائبة و معلقة وحببيات وتستخدم الذائبة كمصدر للغذاء للكائنات غير ذاتية التغذية في الخليط المتخمير ؛ حيث يتم امتزاجها وامتصاصها ومساعدتها علي التنفس واكسدتها بالكائنات الحية ؛ والتهوية لعدة ساعات يحول BOD الي كتلة حيوية وتوجد مهمتين للتهوية الأولى مد الكائنات بالأكسجين والثانية المحافظة علي تهيج الندف للحفاظ علي تلامس كافي بين الندف ومياه الصرف الخام الداخلة ويجب توفر كمية كافية من الأكسجين لنشاطية الكائنات غير ذاتية التغذية و ذاتية التغذية بصفة خاصة بكتريا النيترة



يتم أكسدة المركبات العضوية BOD وكذلك أكسدة الأموتيا وتحولها الى نيتريت ثم الى نترات في أحواض التهوية بالمنطقة التي يتم ضخ الهواء بها عن طريق ناشرات الهواء أسفل الحوض والتي يتم ضخ الهواء لها عن طريق نوافخ الهواء

يمثل CBOD كل المركبات العضوية المحتوية على كربون في مياه الصرف الخام والتي تستهلك بواسطة الكائنات الحية وتتكرر ويتم قياسها في صورة BOD ويجب الإشارة هنا ان الأوكسجين الحيوي المستهلك في اختبار الأيام الخمسة (BOD5) يمثل جزء فقط من المواد العضوية الكربونية المتحولة أو المستهلكة في مياه الصرف وهو حوالي 60%-65% من اجمالي CBOD ويتكون BOD من الأوكسجين الحيوي المستهلك الذائب والحبيبات أو الموجود في المواد الصلبة العالقة ؛ يتم استهلاك الجزئ الذائب بسرعة بمجرد تلامسه مع MLSS بواسطة البكتريا بينما يتم ادمصاص الحبيبات على سطح الندف أو الكتلة الحيوية biomass أو الحماة ويتم استهلاكها وتكسيرها بمعدل يعتمد على تركيبها الجزيئي وبالتالي يعتمد حجم حوض التهوية على كل من BOD المستهلك ومعدل تكسيره واستهلاكه .

التركيز العالي من المواد الصلبة الحيوية أو الكتلة الحيوية مرغوب وهذا يفيد في جعل حوض التهوية صغير الحجم الا انه يوجد حد لا يمكن تجاوزه لتركيز الحماة او الكتلة الحيوية بالحوض وذلك طبقا لسعة نقل الأوكسجين الذائب وسعة حوض الترسيب ويمكن استخدام طرق ضخ اكسجين وتكبير حجم حوض الترسيب للتقليل من حجم حوض التهوية ولكن تكاليف العملية يكون أكبر .

عملية نقل الأوكسجين عنصر هام من عناصر كفاءة عملية المعالجة ويجب نقله بمعدل يساوي الإحتياج المطلوب للبكتريا واللازم لأداء مهامها من التمثيل الغذائي والتكاثر ؛ يتم تحديد قيمة

متطلب الأكسجين اللازم للعملية من كل من BOD وقياس النيتروجين اذا كانت العملية مصممة للنترة وإزالة الكربون العضوي

يتغير متطلب الأكسجين الحيوي خلال الزمن والمسافة عبر حوض التهوية وبالتالي يجب ضخ أكسجين كافي اذا كان الهدف الحصول على منتج نهائي جيد ومن اجل تجنب انتقاء كائنات حية غير مرغوب فيها مثل الخيطيات.

تتكون الحمأة النشطة المحتوية على الكائنات الحية التي تقوم بعملية المعالجة في ثلاث مراحل مختلفة هي

1- خطوة الإنتقال Transfer step 2- خطوة التحويل Conversion step 3- خطوة التنديف أو تكوين الندف Flocculation step

أثناء خطوة الإنتقال تنتقل المواد العضوية الذائبة من مياه الصرف الخام الى داخل الخلايا الحية للبكتريا عبر جدار الخلية بينما يتم ادمصاص المواد الصلبة الغير ذائبة من مياه الصرف على سطح جدار الخلايا البكتيرية حيث يتم تكسيدها وتحويلها لمركبات ذائبة ثم امتصاصها ويتم ذلك قبل عمليات التانفس والتخليق البيولوجي التي تقوم به الكائنات الحية أو البكتريا ويتم ذلك كالتالي :

تتلامس المواد الغذائية الموجودة في مياه الصرف بكبسولة جدار الخلية البكتيرية capsular layer (slime layer) الذي يحمي جدار الخلية ويترسب عليه المواد الغذائية ايضا ثم يدخل الغذاء الى جدار الخلية وهو غشاء شبه منفذ ومن ثم الى داخل الخلية مباشرة حيث يتم استهلاكه مباشرة دون اي فعل آخر من الخلية وهذا يسمى (passive transport) أو يتم حمله عبر الغشاء بطريقة تسمى (active transport) ثم تفرز الخلية انزيم البريميز

(permease) الذي يخترق الغشاء ويلتصق بالغذاء وهذا يتيح الفرصة للغذاء الذي لم يتمكن من عبور الغشاء ان يستهلك ويعمل هذا الإنزيم كعامل مساعد ولا يتغير اثناء هذه العملية وبمجرد دخول الغذاء لداخل الخلية يترك الإنزيم الغذاء ويعود لجلب المزيد من الغذاء ؛ اذا كانت خلية واحدة لا تستطيع استهلاك الغذاء المنقول لها يتم تمريره من خلية الى اخرى حتى يتم استهلاكه أو يخرج مع المخلفات ولعل هذا هو السبب في وجوب ان يكون نظام المعالجة acclimated وأهمية وجود مجموعة مختلفة ومتنوعة من الكائنات الحية التي تستطيع استهلاك وتكسير المواد العضوية الموجود في مياه الصرف الخام .

2-الخطوة الثانية في العملية وهي التحويل وهذه العملية يتم فيها الكسدة والتخليق وكلا التفاعلين يكون عملية التمثيل الغذائي metabolic process وفي عملية التمثيل الغذائي تتكسر مركبات عضوية وتتكون ايضا مركبات جديدة وتتكون عملية التمثيل الغذائي من عمليتين الأولى تسمى عملية البناء anabolism أو التفاعلات التي يتم بموجبها تخليق مركبات جديدة والثانية هي عملية الهدم catabolism وهي التفاعلات التي يتم بموجبها تكسير المركبات العضوية ؛ المسئول عن تسريع هذه العمليات هو الإنزيم ؛ والإنزيم اما يقوم بعمله داخل الخلية endocellular أو يتم افرازه ليقوم بعمله خارج الخلية exocellular ؛ ولكي تتكاثر الخلايا الحية وتنمو تحتاج لمصدر للطاقة والكربون واذا كانت الخلية تحصل على الكربون من ثاني اكسيد الكربون فإنها تسمى خلايا ذاتية التغذية autotrophic واذا كانت تحصل عليه من الكربون العضوي تسمى heterotrophic.

عملية التنفس هي عملية يتم فيها استخلاص الطاقة والحصول عليها من جزيئات عالية الطاقة وتقوم البكتريا بتخزين الطاقة في صورة مركبات عالية الطاقة مثل ATP في الميتوكوندريا داخل الخلية الحية البكتيرية .

يسمى التفاعل الذي يحدث اثناء عملية التنفس تفاعل الأكسدة- الإختزال

تفاعل الأكسدة في وجود الكائنات لحية كالتالي :



تفاعل التخليق في وجود الكائنات الحية ايضا كالتالي :



non-biodegradable soluble residue

ويعبر عن التنفس الداخلي للخلية للحصول على الطاقة كالتالي :



nonbiodegradable cell residue

كمية غذاء الطاقة المستخدم للطاقة مقابل التخليق في تفاعلات التخليق يعتمد على تركيب المواد الغذائية ؛ في مياه الصرف الصحي المنزلي ثلث كمية المواد الغذائية أو المواد العضوية ينتج منها طاقة بينما يتحول الثلثين الى كائنات خلايا جديدة وبالتالي في عمليات تخليق خلايا حية جديدة نجد ان :



(Note: 1.0 kg BOD5 = 1.42 kg BODu)

وفي عمليات التنفس الداخلي للخلية الحية Endogenous respiration reaction

للحصول على الطاقة

1.0 kg cells \longrightarrow 0.8 kg O₂ uptake + 0.2 kg O₂ cell residue

حيث :

C₅H₇NO₂ (cells) (MW=160) + 5O₂ (MW=113) \longrightarrow 5CO₂ + 2H₂O + NH₃

أي أنه :

$$160/113 = 1.42 \text{ kg O}_2/\text{kg SS}$$

ويمكن اجمال الأوكسيجن اللازم والخلايا الحية الناتجة في الجدول التالي

	Oxygen Required (kg O ₂ /kg BOD ₅) removed	Solids Production (kg SS/kg BOD ₅) removed
Synthesis Endogenous	0.5	0.7
Respiration	1.3	0.14

يجب ان تستهلك البكتريا المواد العضوية بقدر الإمكان ولا بد من تكوين مواد صلبة تتفصل بسهولة عن المياه و قابلة للترسيب في أحواض الترسيب الثانوية او النهائية

3-الخطوة الثالثة في عملية الحماة النشطة هي عملية التنديف او تكوين الندف ؛ تتكون الندف مواد متبلرة عديدة الخلايا مثل السكريات polysaccharides العديدة بواسطة الخلايا الحية

كلما زاد عمر الخلية والتي تحيط بعد تكوينها بالخلية الحية أو الخلية البيكتيرية وتغلفها مما يسهل التصاق العديد من الخلايا مع بعضها مكونة الندف ؛ واذا زاد عمر الخلية تموت وتتكسر الندف وتلتصق بخلايا جديدة إلا انه اذا كانت الندف تحتوي على العديد من الخلايا الميتة (عمر الخلية كبير ادى لموت معظم او كل الخلايا البيكتيرية) فإن الندف تكون سيئة فتنكسر ولا

تتكون ندف مرة أخرى بالتصاقها مع خلايا جديدة وتنتشت معطية محلول غير رائق أو منتج ثانوي غير رائق ؛ اما اذا كان النمو الخلوي البكتيري سريع جدا (عمر الخلية أو عمر الحماة صغير جدا) فإن مساحة سطح الخية يزيد أكثر من مقدرة الخلية لتغطي نفسها بالجزيئات المتبلرة عديدة الجزيئات slime وبالتالي لا تلتصق الخلايا البكتيرية المفردة مع بعضها ويكون كثافة الندف منخفضة وتجز جزيئات مياه بينها ولا تتكون ندف بالحجم المناسب للترسيب في احواض الترسيب الثانوي ومن ثم ينتج محلول غير رائق وبالتالي يوجد عمر حماة مثالي يجب الوصول اليه ويمكن تقدير العمر المثالي للحماة بعمل رسم بياني بين مؤشر حجم الحماة SVI وعمر الخلية .

برسم منحنى النمو البكتيري يتضح انه يمر بخمس أطوار أو مراحل مختلفة

*طور أو مرحلة التكيف Adaptation (Lag) Phase وهو جزء من المنحنى يمثل الفترة الزمنية اللازمة للكائنات الحية لكي تأقلم نفسها على المواد الغذائية الموجودة في مياه الصرف ؛ اعداد البكتيريا في هذه المرحلة لا تتزايد ويحدث ازاحة ناحية اصناف من البكتيريا القادرة على استهلاك المواد العضوية

*طور أو مرحلة النمو Log Growth Phase بمجرد ان تتكيف البكتيريا فإنه فقط عدد من الكائنات الدقيقة تحدد معدل النمو ولأن البكتيريا تنقسم بطريقة الإنقسام الثنائي يسمى النمو اللوغاريتمي ويكون الغذاء ليس هو العامل المحدد للنمو في هذا الطور لأن كمية الغذاء تكون كافية لكل خلية موجودة ان تنقسم وتخلق خلية جديدة لها غذاء موجود بالفعل

*طور أو مرحلة الإنتكاس Declining Growth Phase وفيه يكون الغذاء عامل محدد

للمو لأنه لن يكون لكل خلية جديدة غذاء متوفر

*طورأو مرحلة الثبات Maximum Stationary Phase يكون الغذاء المتوفر كافي فقط للحفاظ على الكتلة الحيوية من الخلايا الحية عند مستوى ثابت فقط ومعدل نمو يساوي صفر لعدم وجود غذاء سوى لهذه النسبة الثابتة

*طور موت الخلايا Endogenous (Cell Death) Phase وفيه يكون الغذاء غير كافي للحفاظ على نسبة ثابتة من الكتلة الحيوية وبالتالي تضطر الخلايا الحية للتغذية على نفسها او على بعضها وتستهلك البروتوبلازم .

تتم عملية المعالجة البيولوجية نتيجة للنشاط الحيوي للكائنات الدقيقة الموجودة في مياه الصرف الصحي وببساطة شديدة دون التفاصيل فإن البكتريا التي تتواجد في الحمأة النشطة المستخدمة في عملية الحمأة النشطة يمكن تقسيمها إلى:

1-بكتريا ذاتية التغذية autotrophs وهي البكتريا التي تستخدم الكربون الغير عضوي كمصدر للكربون (مثل ثاني أكسيد الكربون) في عملية النمو والتكاثر ومن أمثلتها البكتريا التي تقوم بأكسدة الأمونيا الى نيتريت (بكتريا النيتروزوموناس) في الخطوة الأولى من عملية النترتة nitrification ومعدل نمو هذه البكتريا سريع وهي تستخدم الأوكسيجين الجزئي كمكتسب نهائي أو أخير للإلكترونات في تفاعلاتها وبالتالي يمكن القول ايضا أنها بكتريا هوائية لا تنشط إلا في وجود الأوكسيجين الجزئي ؛ ومن أمثلتها أيضا (بكتريا النيتروباكتر) وهي المسؤولة عن الخطوة الثانية في عملية النترتة حيث تؤكسد النيتريت إلى نترات في وجود الأوكسيجين الجزئي أيضا ولكنها بطيئة النمو عكس السابقة وتحتاج وقت طويل للنمو والتكاثر ويكون التفاعل الحاصل في هذه الحالة تفاعل هوائي aerobic والبكتريا بكتريا هوائية وكذلك تسمى البيئة بالبيئة الهوائية aerobic or oxic أي أن الحوض التي تتم فيه هذه العملية بشقيها أحواض التهوية وإزالة الكربون العضوي من مياه الصرف CBOD البكتريا التي تقوم بعملية

اختزال النترات وإزالة النيتروجين في عملية denitrification وهي العملية المكتملة لعملية النترية لإزالة النيتروجين من مياه الصرف ويسمى التفاعل تفاعل لا هوائي إذا تم في غياب الأوكسجين الجزيئي حيث يتم استخدام هذه البكتريا وتتميتها في بيئة لاهوائية (anoxic) و البيئة اللاهوائية تنقسم إلى قسمين لاهوائية ليس بها أكسجين جزيئي O₂ ولكن بها مركبات تحتوي على الأوكسجين مثل النترات NO₃ وتسمى anoxic zone والثانية بيئة لاهوائية لا تحتوي على أكسجين جزيئي ولا مركبات تحتوي على أكسجين وتسمى (anaerobic zone) يتم توفير (anoxic zone) عن طريق قفل محابس الهواء في الحوض رقم (1) تماما وجعل الحوض منطقة لاهوائية في حال النترية المسبقة أو تشغيل قناة من كل حوض كمنطقة هوائية والقناة الثانية كمنطقة لاهوائية في حال النترية المتزامنه وذلك لإتاحة الفرصة للبكتريا غير ذاتية التغذية باختزال المركبات المحتوية على الأوكسجين وفي غياب الأوكسجين الجزيئي مثل النترات وبالتالي حدوث عملية نزع النترية denitrification وإزالة النيتروجين حيث تختزل النترات الى نيتروجين جزيئي لا يذوب في الماء ويتصاعد كغاز الى الهواء الجوي.

بينما يتم توفير البيئة اللاهوائية (anaerobic) لتنمية بكتريا الاتشينتوباكتر Acinetobacter وغيرها من الأصناف المسؤولة عن تجميع الفسفور والتخلص منه وإزالته (ومن أمثلة البكتريا المجمعة للفسفور أيضا microlunatus ,acumulibacter ,phosphovorus ,lampropedia ,tetasphera japonica, agrobacterium ,aquaspirillum , cytophagoflavobacteria)

البكتريا غير ذاتية التغذية هي أيضا المسؤولة عن أكسدة المواد العضوية وإزالة الكربون العضوي من مياه الصرف CBOD ولا يمكن أن تتم عملية إزالة النيتروجين ولا الفسفور بكفأه

إلا في وجود كمية مناسبة من الكربون العضوي في مياه الصرف وبالتالي فإن محتوى المياه من الكربون العضوي هام للعمليات على السواء.

من خلال الشرح المبسط المختصر السابق نخلص إلى أنه لا بد لإزالة النيتروجين والفسفات والكربون لعضوي من مياه الصرف توفير ثلاث أنواع من الأحواض بمحطات المعالجة التي تهدف للتخلص من الكربون العضوي والمغذيات (النيتروجين والفسفور) وهي أحواض هوائية بها أكسجين جزئي aerobic or oxic وأحواض لاهوائية لا يوجد بها أكسجين جزئي ولكن يمكن أن يتواجد بها مركبات تحتوي على الأكسجين أو أكسجين مرتبط مثل النترات anoxic وأحواض لاهوائية لا يوجد بها لا أكسجين جزئي ولا أكسجين مرتبط anaerobic والأنواع الثلاثة من الأحواض تم تصميمها بمحطة معالجة مياه الصرف الصحي ينبع .

ومن أصناف البكتريا التي تقوم بعملية نزع النترتة denitrification

Achromobacter, Acinetobacter, Agrobacterium, Alcaligenes,
Arthrobacter, Bacillus, Chromobacterium, Corynebacterium,
Flavobacterium, Hypomicrobium, Moraxella, Neisseria, Paracoccus,
Propionibacteria, Pseudomonas, Rhizobium, Rhodopseudomonas,
Spirillum and Vibrio

بينما يتم توفير البيئة anaerobic لتنمية بكتريا الاتشيينتوباكتر Acinetobacter المسؤولة عن تجميع الفسفور والتخلص منه وإزالته (ومن أمثلة البكتريا المجمعة للفسفور أيضا acumulibacter ,microlunatus ,phosphovorus ,lampropedia ,tetasphera japonica, agrobacterium ,aquaspirillum , cytophagoflavobacteria)

2-البكتريا غير ذاتية التغذية هي أيضا المسؤولة عن أكسدة المواد العضوية وإزالة الكربون العضوي من مياه الصرف CBOD ولا يمكن أن تتم عملية إزالة النيتروجين ولا الفسفور بكفأه إلا في وجود كمية مناسبة من الكربون العضوي في مياه الصرف وبالتالي فإن محتوى المياه من الكربون العضوي هام للعمليات على السواء .

توجد عناصر ضرورية مهمة لعملية التغذية للكائنات الحية وهي العناصر الأكثرية وتشمل كربون وهيدروجين واكسجين وفوسفور ونيتروجين وعناصر الأقلية وتشمل كبريت وبوتاسيوم وصوديوم وكالسيوم وماغنسيوم وكلور وعناصر نادرة وهي حديد ومنجنيز وكوبالت ونحاس وبورون وزنك وموليبيدنيوم والومنيوم أما عوامل النمو تشمل الفيتامينات والأحماض الأمينية وكل هذه العناصر الضرورية موجودة في مياه الصرف المنزلي ؛ والقاعدة العامة تقول اننا نحتاج الى 5 كجم من النيتروجين وكيلوجرام واحد من الفسفور من أجل إزالة 100 كجم من BOD ؛ الكائنات الحية تنقسم الى

* هوائية aerobic تستخدم الأكسجين الجزيئي كمكتسب للإلكترونات في التنفس الهوائي
المنتج النهائي يكون مياه

$$\text{organics} + \text{bacteria} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{more bacteria} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{end products}$$

* كائنات لا هوائية اختيارية facultative تستخدم الأكسجين الجزيئي والمرتبط حسب الظروف
مثل (النترات) anoxic كمكتسب للإلكترونات في غياب الاكسجين والمنتج النهائي

$$\text{Organics} + \text{combined O}_2 + \text{bacteria} \longrightarrow \text{more bacteria} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{end products}$$

* لاهوائية لا تستخدم الاكسجين الجزيئي ولا المرتبط ولا يحدث أكسدة من خلال تفاعلاتها

ولكن يحدث تخمر للمركبات العضوية (anaerobic) وتنتج الميثان والأمونيا وكبريتيد الهيدروجين .

تتغذى الكائنات الحية بطريقة الضغط الأسموزي وبالتالي فإن الضغط الأسموزي الذي يعتمد على تركيز الأملاح لابد ان يكون في الحدود التي تسمح للبكتريا ان تتغذي ؛ معظم انواع البكتريا لا تتأثر بتركيز الأملاح بين 500 ملجم/ل - 35000 ملجم/لتر بشرط تواجد الكسجين بتركيز 2-3 ملجم/ل والخلط الجيد يجعل البكتريا في تلامس دائم وجيد مع الغذاء وبالتالي يحافظ على حيوية ونشاط البكتريا.

معظم البكتريا الموجودة في مياه الصرف اختيارية يمكنها العيش في الظروف الهوائية واللاهوائية ايضا .

البكتريا المكونة للندف تكون ندف متماسكة تترسب بشكل جيد ؛ البكتريا الخيطية تتواجد في شكل مفتوح أو متشابك ولا بد من تواجد نسبة صغيرة معقولة منها للمساعدة في تكوين ندف بحجم وشكل مناسب للترسيب حيث تعمل الخيطيات كعمود فقري يجمع الندف الصغيرة جدا ليكون منها ندف ملائمة للترسيب .

زيادة نسبة البكتريا الخيطية يؤدي الى تضخم الحماة حيث تتشكل شبكات من البكتريا الخيطية تحمل ندف كثيرة جدا تحتوي فيما بينها هواء واحيانا نيتروجين في حال حدوث نزع نترتة denitrification وتتصاعد على سطح الحوض ويحدث ذلك اذا كانت التهوية في حوض التهوية اقل من 0.5 ملجم/ل اكسجين أو في حوض الترسيب اذا زاد سمك غطاء الحماة وعمر الحماة حيث تتوفر البيئة المناسبة لنمو بكتريا نزع النترتة .

تتنافس كل من بكتريا تكوين الندف والبكتريا الخيطية على الغذاء (الكربون العضوي)
والأكسجين والمغذيات (النيتروجين والفوسفور والحديد) ولكنها تختلف في طريقة التمثيل
الغذائي لها فالنسبة لبكتريا تكوين الندف تحتاج وقت قصير ونسبة عالية من الغذاء اما
الخيطيات تحتاج وجبات متتالية من الغذاء القليل ؛ كما ان بكتريا تكوين الندف تفضل البيئة
الهوائية واحيانا التنوع بين الهوائية واللاهوائية المحتوية على اكسجين مرتبط $anoxic$ بينما
الخيطيات بعضها يفضل نسبة منخفضة جدا من الأكسجين مثل البيئة اللاهوائية $anaerobic$
وبعضها هوائي لأنها أيضا بكتريا اختيارية .

الفطريات كائنات متعددة لا ضوئية التخليق وغير ذاتية التغذية تحتاج اكسجين حر وتسود في
البيئة منخفضة النيتروجين ومنخفضة الأكسجين أو كلاهما وتنمو جيدا عند دجة حموضة اقل
من $PH < 6$

الطحالب كائنات متعددة الخلايا ووحيدة الخلية ايضا ذاتية التغذية وضوئية التخليق
التركيب الخلوي للبكتريا يتكون من 80% مياه و 20% مواد جافة والمواد الجافة منها 90%
مواد عضوية و 10% مواد غير عضوية ويكون التركيب الجزيئي للخلية البكتيرية والذي
يستخدم في العمليات الحسابية أثناء تصميم محطة هو $C_5H_7O_2N$ بدون فوسفور ويكون
 $C_60H_87O_{23}N_{12}P$ بالفوسفور وفي كلاهما تكون نسبة $C:H:O:N$ هي نفسها ؛ وهذه
المكونات تحصل عليها البكتريا من البيئة الموجودة بها ومعنى هذا نقص أيا منها سوف يقلل
النمو البكتري والتكاثر وبالتالي النشاط الحيوي ولن تكون عملية المعالجة مثالية .

استهلاك البكتريا لهذه المركبات يعتمد على حجم الحبيبات ؛ يوجد جزئين رئيسيين من المواد
العضوية في مياه الصرف هما المواد العضوية سهلة التكسير حيويا $easily$

$biodegradable$ والمواد بطيئة التكسير حيويا $slowly biodegradable$ ؛ في مياه

الصرف الصحي المثالية تكون المواد العضوية ذائبة وسهلة التكسير حيويًا ونظرًا لصغر حجمها يمكنها اختراق غشاء الخلية البكتيرية حيث تتم العمليات الحيوية للهدم والبناء كما أوضحنا سابقًا .

بالنسبة للبروتوزوا معظمها كائنات وحيدة الخلية حقيقية النواة وبدون جدار خلوي وهي كائنات هوائية وايضا اختيارية وتتكاثر بالانقسام الثنائي وحجمها أكبر من البكتيريا وتتغذى على البكتيريا وطبقًا لتركيبها وحركتها تنقسم لمجموعات مختلفة أهمها الامبيات والسوطيات والهدبيات (الهدبيات الحرة العائمة والهدبيات ذات السيقان ..الخ) وتقوم البروتوزوا بدور هام في المعالجة البيولوجية لمياه الصرف حيث تستهلك المواد العضوية وتتغذى على البكتيريا وتساهم في تكوين الندف .

تقوم السوطيات باستهلاك المواد العضوية بالانتشار أو الانتقال النشط وفي هذه الميكانيكية تكون البكتيريا المنافس الأقوى لها أما الامبيات والهدبيات تكون فجوات حول المواد الصلبة بما في ذلك البكتيريا فيما يسمى بالبلعمة phagocytosis حيث تقوم الانزيمات التي تفرزها بهضم المواد العضوية كما تقوم بعض الهدبيات بالتغذية على البكتيريا والطحالب وبعض الهدبيات الاخرى والسوطيات .

بالرغم من ان البروتوزوا تتغذى على المواد العضوية المراد تنقية مياه الصرف منها الا انه يبقى دورها الرئيسي في عمليات الحمأة النشطة هو التغذية على البكتيريا الحرة وبالتالي ترويق المياه المعالجة وتقليل المواد الصلبة العالقة وحتى تقليل البكتيريا الممرضة pathogens وتحسين مواصفاتها كما ان الهدبيات الحرة العائمة تتغذى بصورة أكبر من الهدبيات ذات السيقان ويرجع ذلك لأنها تستهلك طاقة أكثر نتيجة الحركة الدائبة وبالتالي فإن الهدبيات ذات السيقان تسود فقط بعد تناقص أعداد الهدبيات الحرة العائمة .

12-1 حركية النمو البكتيري

Kinetic of bacterial growth

1-12-1 النمو البكتيري الإجمالي النوعي specific gross bacterial growth

يمكن التعبير عن النمو البكتيري كدالة في التركيز البكتيري عند زمن معين في المفاعل ؛ يكون معدل صافي النمو البكتيري مساويا معدل النمو الإجمالي مطروحا منه معدل التحلل البكتيري .

معدل النمو للتعداد البكتيري دالة في العدد البكتيري أو الكتلة أو التركيز البكتيري ويمكن التعبير عن ذلك حسابيا بالعلاقة :

$$= \mu X \frac{dx}{dt}$$

حيث X تركيز البكتيريا في المفاعل ومعدل النمو النوعي μ والزمن t ويكون النمو طبقا لهذه المعادلة بدون حدود لمادة التفاعل ولكن واقعا يكون النمو دالة في تركيز المادة واذا انخفض التركيز قل معدل النمو ؛ في نظام المعالجة البيولوجية لمياه الصرف تكون المواد العضوية الكربونية هي العامل المحدد لمعدل النمو البكتيري وبالتالي يجب التعبير عن معدل النمو النوعي μ كدالة في تركيز مادة التفاعل وهو ما تم التعبير عنه بمعادلة مونود وهي لها نفس صيغة ميتشيل منتن والتي تعبر عن العلاقة الانزيمية بينما المعادلة الحالية تعبر عن تركيز المواد الداخلة في التفاعل

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{S+K_s}$$

في معالجة مياه الصرف المنزلي تم حساب قيم μ_{\max} و K_s

*المعالجة الهوائية

$$\mu_{\max} = 1.2 - 6 \text{ d}^{-1}$$

$$K_s = 25-100 \text{ mg BOD/l}$$

$$K_s = 15-70 \text{ mg COD/l}$$



*المعالجة اللاهوائية

بالنسبة للكائنات الحامضية

$$K_s = 200 \text{ mg COD/l} \text{ و } \mu_{\max} = 2 \text{ d}^{-1}$$

بالنسبة للكائنات التي ينتج منها ميثان

$$K_s = 70 \text{ mg COD/l} \text{ و } \mu_{\max} = 0.4 \text{ d}^{-1}$$

بالنسبة للكائنات المختلطة

$$\mu_{\max} = 0.4 \text{ d}^{-1}$$

*تركيز المادة مرتفع $S \gg K_s$ يتبع الرتبة صفر ؛ عندما يكون تركيز المادة منخفض جدا

عن قيمة K_s فإنه يمكن إهمال قيمة S في مقام المعادلة وتصبح المعادلة :

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_s}$$

وحيث ان كل من μ_{\max} و K_s ثوابت فإنه $\frac{\mu_{\max}}{K_s}$. أيضا ثابت يمكن استبداله بثابت واحد K

$R = K.S$ وفي هذه الحالة معدل التفاعل يتناسب مع تركيز المادة ويتبع التفاعل من الرتبة الاولى وهذا التفاعل شائع في معالجة مياه الصرف ؛ في مفاعلات الخلط الكامل حيث يكون تركيز المادة في وسط المفاعل أو الحوض قليل بسبب الحاجة للحصول على منتج به تركيزات منخفضة من المادة

مثال توضيحي :

للتعبير عن μ كدالة في μ_{max} سوف نفرض أن تركيز المادة المتفاعلة مرة أكبر بكثير من K_s ومرة أقل منها ومرة يكون فيها K_s منخفض ؛ فإذا كان تركيز المادة المتفاعلة Substrate في مياه الصرف الصحي المنزلي هو للحالة الأولى $S = 300 \text{ mg/L}$ (بفرض أن $K_s = 40$ mg/l) ؛ الحالة الثانية $S = 300 \text{ mg/l}$ (بفرض أن $K_s = 40 \text{ mg/l}$) وتركيز مادة الجلوكوز $S = 10 \text{ mg/L}$ (بفرض أن $K_s = 0.2 \text{ mg/l}$) في الحالة الأولى :

$$\mu = \mu_{max} \cdot \frac{S}{S+K_s} = \mu_{max} \cdot \frac{300}{300+40} = 0.88 \mu_{max}$$

بمعنى أنه في حالة تركيز المادة المتفاعلة المرتفع بالنسبة لقيمة K_s تقترب قيمة μ من قيمة

μ_{max} أي توافر المغذيات يزيد من معدل النمو ويكون التفاعل من الرتبة صفر وهذه الحالة

ليست معتادة في معالجة مياه الصرف الصحي المنزلي تحدث عند رأس المفاعل الدفقي في نظام المعالجة الذي يعمل بطريقة التدفق الدفقي plug-flow حيث يكون تركيز مادة التفاعل عالي .

الحالة الثانية :

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{S+K_s} = \mu_{\max} \cdot \frac{10}{10+40} = 0.2 \mu_{\max}$$

معدل النمو μ في هذه الحالة يكون منخفض جدا بالنسبة لأعلى معدل نمو μ_{\max} لا تتوفر المادة المتفاعلة أو المغذيات بصورة كافية في هذه الحالة وهذا يحدث في نظام الخلط الكامل complete mix للمعالجة البيولوجية لمياه الصرف المنزلي والذي يكون فيه المادة المتفاعلة أو المغذيات موزعة بشكل متجانس عبر المفاعل

الحالة الثالثة :

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{10}{10+0.2} = \mu_{\max} \cdot \frac{10}{10+0.2} = 0.98 \mu_{\max}$$

تركيز المادة المتفاعلة في هذه الحالة يساوي تركيزها في الحالة السابقة ولكن وحيث أن K_s للجوكوز صغير جدا بالمقارنة لتركيز المادة فإن قيمة μ تقريبا تساوي μ_{\max} وبالتالي تكون المادة المتفاعلة متاحة بشكل كبير ويقترّب معدل النمو من أقصى من نمو أو يساويه .

1-12-1 الإنحلال البكتيري bacterial decay

تحدثنا عن النمو الكلي للكتلة الحيوية (معدل النمو البكتيري) الا أنه يجب الخذ بالإعتبار أن البكتريا تظل أكثر من يوم أو يومين في النظام ويحدث أثناء ذلك الأيض الذاتي endogenous metabolism وهذا يتضمن تحلل بعض الخلايا الحية عبر آليات التنفس الذاتي endogenous respiration وللحصول على صافي معدل النمو يجب أخذ هذا الجزء في الاعتبار والذي يعتمد على ويكون دالة في تركيز البكتريا أو كتلة البكتريا أو ما نسميه الكتلة الحيوية أو بأكثر دقة الجزء القابل للتكسير حيويًا من الكتلة الحيوية biodegradable

fraction مع الاخذ بالاعتبار أنه يوجد جزء آخر عضوي غير قابل للتكسير حيويًا وللتبسيط أكثر سوف نعتد المواد الصلبة الطيارة الكلية TVSS وليس VSS هنا في هذا الموضوع .

يتم التعبير عن معدل الانحلال البكتيري بالعلاقة التالية:

$$= -K_d \cdot X \frac{dx}{dt}$$

حيث K_d هو معامل التنفس الذاتي أو معامل الانحلال الذاتي ووحدة قياسه d^{-1} وتتراوح قيمته بالنسبة لمياه الصرف الصحي المنزلي المثالية كالتالي :

في المعالجة الهوائية:

$$K_d = 0.04 - 1 \text{ mg VSS/gm VSS} \cdot d \text{ (BOD5)}$$

$$K_d = 0.05 - 0.12 \text{ mg VSS/gm VSS} \cdot d \text{ (COD)}$$

المعالجة اللاهوائية :

$$K_d = 0.02 - 1 \text{ mg VSS/gm VSS} \cdot d \text{ (COD)}$$

1-12-2 إنتاجية المواد الصلبة البيولوجية production of biological solids

النمو البكتيري والذي يعرف أيضا بإنتاجية الكتلة الحيوية biomass يمكن التعبير عنه كدالة في مادة التفاعل (الغذاء) المستهلكة فكلما زاد استيعاب assimilation مادة التفاعل كلما زاد معدل النمو البكتيري أي أن معدل النمو = معدل ازالة مادة التفاعل (الغذاء) ويعبر عنه بالعلاقة :

$$= \frac{dx}{dt} \cdot Y \frac{dS}{dt}$$

حيث X تركيز الكائنات الحية معبرا عنها بالمواد الصلبة العالقة SS أو بالمواد الصلبة الطيارة VSS ؛ و Y معامل الانتاجية لإنتاجية الكتلة الحيوية SS أو VSS التي تنتج لكل وحدة يتم ازلتها من كتلة مادة التفاعل (BOD أو COD جم/جم) ؛ و S تركيز (BOD5 أو COD جم/م³) ؛ و t باليوم .

والعلاقة بين معدل النمو البكتيري ومعدل استهلاك او ازالة مادة التفاعل أو ازالة (BOD أو COD) خطية .

يمكن الحصول على قيمة Y مخبريا وتكون قيمتها لمياه الصرف الصحي المنزلي هي :

بالنسبة للمعالجة الهوائية للبكتريا غير ذاتية التغذية المسئولة عن ازالة المواد الكربونية العضوية

$$Y = 0.4 - 8 \text{ gm VSS/gmBOD5 removed} \text{ هو}$$

$$\text{أو } Y = 0.3 - 7 \text{ gm VSS/gm COD removed}$$

بالنسبة للمعالجة اللاهوائية :

البكتيريا الحامضية أو المنتجة للحمض acidogenic bacteria

$$Y = 0.15 \text{ gm VSS/gm COD removed}$$

البكتريا المنتجة للميثان methanogenic archaea

$$Y = 0.03 \text{ gm VSS/gm COD removed}$$

الكتلة الحيوية المختلطة

$$Y = 0.18 \text{ gm VSS/gm COD removed}$$

نلاحظ في أنظمة المعالجة اللاهوائية ينتج عنه طاقة أقل وبالتالي قيمة Y أقل أي أن إنتاجية الكتلة الحيوية سوف تكون أقل من أنظمة المعالجة الهوائية ؛ بكتيريا النترجة هي بكتيريا هي بكتيريا ذاتية التغذية الكيميائية chemoautotrophs لا تحصل على الطاقة من المواد العضوية الكربونية ولكن من أكسدة المواد الغير عضوية وبالتالي قيمة Y لها تكون منخفضة بالمقارنة مع البكتيريا الهوائية ذاتية التغذية التي تحصل على الطاقة من تكسير المركبات العضوية الكربونية .

1-12-3 إنتاجية المواد الصلبة الصافي net solids production

يمكن الحصول على الإنتاج الصافي للمواد الصلبة بإدراج الانخفاض الحاصل للكتلة الحيوية نتيجة التنفس الذاتي في معادلة معدل النمو الكلي البكتيري

$$= Y \cdot \frac{dx}{dt} - K_d \times \frac{dS}{dt}$$

معدل إزالة مادة التفاعل substrate removal rate

كلما كان معدل إزالة المادة كبير كلما كان الحجم اللازم للمفاعل صغير (هذا عند تركيز محدد للمادة) ؛ وبإعادة ترتيب الانتاجية الكلية للمواد الصلبة :

$$= \frac{dx}{dt} \cdot \frac{1}{K_d dt}$$

وبالتعويض في المعادلة

$$\frac{dx}{dt} = \mu X$$

تصبح المعادلة كالتالي :

$$= \frac{\mu}{Y} \cdot X \frac{dS}{dt}$$

أو بالتعويض في العلاقة التالية :

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{S+K_s}$$

تصبح العلاقة :

$$= \mu_{\max} \cdot \frac{S}{S+K_s} \cdot \frac{X}{Y} \frac{dS}{dt}$$



13-1 ائزان الكتلة في حوض التهوية

Mass balance in the aeration tank

واحد من أهم خصائص مفاعلات الخلط الكامل هو أن تركيز المياه المعالجة يكون متساوي في أي مكان بالمفاعل وهذا يضمن أن قيم S و X في المياه المعالجة هي نفسها في أي مكان في المفاعل المواد الصلبة X يكون معظمها مواد عضوية والتي تنتج من مادة التفاعل S كما أن تركيز هذه المواد العضوية في المياه الداخلة للمفاعل يكون صغيرا جدا يمكن إهماله في معادلة ائزان الكتلة كما يمكننا الإشارة له $X_0=0$ (مع الأخذ في الاعتبار أن هذا الفرض لا يطبق في كل الحالات).

يمكن تطبيق نوعين من ائزان الكتلة واحد لمادة التفاعل والثاني للكتلة الحيوية وكلاهما ضروري في تصميم المفاعل والتحكم في عملية تشغيله أيضا .

وائزان الكتلة يأخذ في الاعتبار الانتقال (الداخل والخارج) والتفاعل (الناتج والمستهلك)

بفرض أحواض تهوية بدون أحواض ترسيب ثانوي وبدون إعادة تدوير يعبر عن ائزان الكتلة بالمعادلات التالية :

إنزان مادة التفاعل (الكربون العضوي BOD) ويرمز له اختصارا S

$$= \frac{Q}{V}S_0 - \frac{Q}{V}S+0 - \frac{\mu}{Y}X \frac{dS}{dt}$$

وبالتعويض عن قيمة μ

$$= \frac{Q}{V}S_0 - \frac{Q}{V}S+0 - \mu_{max} \frac{S}{K_s+S} \frac{X dS}{Y dt}$$

بالنسبة لائزان المواد الصلبة تكون المعادلة :

$$= \frac{Q}{V}X_0 - \frac{Q}{V}X + \mu X - K_d \cdot X \frac{dX}{dt}$$

بالتعويض عن قيمة μ

$$= \frac{Q}{V}X_0 - \frac{Q}{V}X + \mu_{max} \frac{S}{K_s + S} X - K_d \cdot X \frac{dX}{dt}$$

1-13-1 زمن الاحتجاز الهيدروليكي وزمن مكث المواد الصلبة hydraulic detention

time and solid retention time

في نظام المعالجة بالحماة النشطة يتم خروج المياه اثناء ذلك بينما يتم تدوير الحماة وبقاؤها بالنظام وتكون كمية الحماة الزائدة التي يتم التخلص منها صغيرا جدا مقارنة بالحماة الموجودة بالنظام والتي تظل لعدة أيام وبالتالي فإن المواد الصلبة هي التي تبقى فترة أطول في النظام بالمقارنة بالسائل أو المياه ومن هنا يجب التفريق بين مصطلحين في غاية الأهمية هما زمن الاحتجاز الهيدروليكي hydraulic detention time وزمن مكث المواد الصلبة solid retention time ؛ يختص زمن الاحتجاز الهيدروليكي بالفترة الزمنية التي يتم فيها تفريغ أو تعبئة المفاعل ويتم حسابة من المعادلة التالية :

$$\text{Hydraulic detention time} = \frac{\text{volume of liquid in the system}}{\text{volume of liquid removed per unit time}}$$

وحيث أن حجم السائل الداخل يساوي حجم السائل الخارج

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

وزمن مكث المواد الصلبة solid retention time متعلق بزمن مكث المواد الصلبة او الحماة في النظام كله وبالنمو البكتيري ويسمى أيضا متوسط زمن مكث الخلية MCRT وهو

النسبة بين كتلة المواد الصلبة في النظام الى كتلة المواد الصلبة التي يتم انتاجها في وحدة الزمن ويسمى أيضا عمر الحمأة θ_C اذا كان الامر يتعلق بزمن مكث المواد الصلبة في المفاعل فقط تحت التهوية

$$\theta_C = \frac{\text{mass of solids in the system}}{\text{mass of solids produced per unit time}}$$

وحيث أن كتلة المواد الصلبة التي يتم انتاجها في حالة الاستقرار تساوي كتلة المواد الصلبة التي يتم التخلص منها من النظام

$$\theta_C = \frac{\text{mass of solids in the system}}{\text{mass of solids removed per unit time}}$$

وحيث أنه يتم التعبير عن الكتلة الحيوية dx/dt فيمكن التعبير عن عمر الحمأة كالتالي

$$\theta_C = \frac{VX}{V \frac{dX}{dt}} = \frac{X}{\frac{dX}{dt}}$$

وحيث أن صافي النمو البكتيري هو

$$\frac{dX}{dt} = \mu X - K_d \cdot X = (\mu - K_d) \cdot X$$

$$\theta_C = \frac{1}{(\mu - K_d)}$$

وطبقا لتدوير (رجوع الحمأة) أو عدم تدويرها يكون توجد حالتين هما

*نظام بدون زمن مكث وفيه $t = \theta_c$

*نظام له زمن مكث $t > \theta_c$

تتم التفاعلات البيولوجية الخاصة بالنمو البكتيري في حوض التهوية ويتم اهمالها في حوض الترسيب كما ان كتلة الحمأة التي تحدد عمر الحمأة هي تلك التي تتواجد في حوض التهوية ويتم اهمال المواد الصلبة في حوض الترسيب وخط الراجع لصغرها بالنسبة لكتلة المواد الصلبة بحوض التهوية ؛ كما ان حالة الاستقرار steady state عمليا لا تحدث بل يكون النظام في حالة ديناميكية حيث يحدث تراكم للكتلة الحيوية أو الحمأة مع الوقت الا انه يتم القبول بحالة الاستقرار في التصميم والتشغيل لانه مع طول الفترة الزمنية تكون التأثيرات التي تنتج منها الحالة الديناميكية ليست ذات أثر كبير ؛ يلاحظ أيضا أنه يتم اهمال تأثير المواد الصلبة للمياه الداخلة للمحطة في معظم الاحيان الا انه يكون ذو أثر كبير في المحطات ذات انتاجية الحمأة الصغيرة

1-13-2 زمن فيضان الخلية cell wash-out time

الزمن الذي يجب أن تقضية البكتيريا في النظام θ_c يجب أن يكون أكبر من زمن التكاثر واذا لم يكن كذلك سوف تخرج الخلية الحية من النظام قبل تكاثرها مما يؤدي لتناقص الكتلة الحيوية في حوض التهوية ؛ يتم تكاثر البكتيريا بلانقسام الثنائي ومعدل النمو الصافي هو

$$\frac{dX}{dt} = (\mu - K_d)X$$

$$\frac{dX}{X} = (\mu - K_d) dt$$

$$\ln \frac{X}{X_0} = (\mu - K_d) t$$

حيث X تركيز البكتريا عند زمن t و X_0 تركيزها عند زمن 0 وهو نمو أسي للبكتريا والذي عند رسمه على مقياس لوغارتمي يعطي خطا مستقيما ؛ وبمضاعفة الزمن يكون $X=2X_0$

$$\ln 2 = (\mu - K_d) t$$

ومن ثم نحصل على مضاعفة الزمن t_{dup} من العلاقة

$$t_{dup} = \frac{\ln 2}{\mu - K_d} = \frac{0.693}{\mu - K_d}$$

وهنا ايضا في حالة الانظمة التي يكون بها كتلة حيوية عالقة وبدون اعادة تدوير أو بدون خط راجع من أحواض الترسيب الثانوي للحمأة الى حوض التهوية يكون فيها $t_{dup} = t_c$ وبالتالي يجب ان يكون t_c أكبر من t_{dup} (كما في بحيرات الخلط الكامل والتي يكون فيها الحد الأدنى من زمن الاحتجاز الهيدروليكي ليس أقل من t_{dup}) ؛ بينما في الانظمة التي بها اعادة تدوير أو خط راجع من أحواض الترسيب الى أحواض التهوية $t_c > t_{dup}$ وفيها يجب ضبط الحمأة الزائدة بحيث يكون $t_{dup} > t_c$ بينما يتم الحفاظ على زمن الاحتجاز الهيدروليكي عند أقل قيمه له (أو أقل حجم للمفاعل بمعنى آخر) وبالتالي يكون اعادة التدوير وسيلة لزيادة t_c دون الحاجة لزيادة الزمن t أو حجم المفاعل V .

بالنسبة للمعالجة الهوائية التي يتم فيها ازالة المواد العضوية الكربونية يكون زمن المكث للبكتريا غير ذاتية التغذية أكبر بكثير من أقل زمن نحتاج له بينما يجب أخذ الحيطة في حالتها اكسدة الامونيا في الانظمة الهوائية والانظمة اللاهوائية المنتجة للميثان لأن نمو البكتريا الخاص

بكلاهما يكون بطيئاً جداً حتى لا يتم التخلص من البكتيريا بسبب زيادة معدل التدفق الداخل للمفاعل أو بسبب قلة تكاثرها نتيجة عوامل بيئية أخرى مثل تسمم المفاعل

3-13-1 تركيز المواد الصلبة في أحواض التهوية concentration of suspended solids in the aeration tanks

للحصول على تركيز الكتلة الحيوية لحوض التهوية في نظام المعالجة بالحماة النشطة والتي يتم إعادة تدوير أو رجوع الحماة من حوض الترسيب الثانوي إلى حوض التهوية يمكن الحصول عليه من العلاقة التالية التي تم اشتقاقها بإعادة ترتيب العلاقات السابقة

$$X = \frac{Y(S_0 - S)}{1 + K_d \cdot \theta_c} \cdot \frac{\theta_c}{t}$$

هذه المعادلة هامة في تعيين تركيز المواد الصلبة في أحواض التهوية ؛ بالنسبة للانظمة بدون خط راجع أو إعادة تدوير نحصل على التركيز من العلاقة التالية

$$X = \frac{Y(S_0 - S)}{1 + K_d \cdot t}$$

الفرق بين المعاد يكمن في $\frac{\theta_c}{t}$ ؛ في تصميم محطات معالجة مياه الصرف الصحي أي زيادة في تركيز المواد الصلبة X يسمح بنقص نسبي في حجم المفاعل .

بإعادة ترتيب العلاقات السابقة يمكن الحصول على تركيز مادة التفاعل أو BOD في المياه المنتجة

$$\theta_c = \frac{1}{(\mu - K_d)}$$

$$= (\mu - K_d) \frac{1}{(\theta_c)}$$

$$= \mu_{\max} \left(\frac{S}{K_s - S} \right) - K_d \frac{1}{(\theta_c)}$$

$$S = \frac{K_s \left[\frac{1}{\theta_c} + K_d \right]}{\mu_{\max} - \left[\frac{1}{\theta_c} + K_d \right]}$$

وهذه معادلة عامة لتقدير تركيز BOD في مياه المنتج لحوض التهوية خلط كامل والشئ الهام في هذه المعادلة لمفاعلات الخلط الكامل أن تركيز BOD للمنتج والمعبر عنه S لا يعتمد على تركيز S0 وهذا يرجع الى أن كل من Ks و Kd و μ_{\max} كلها ثوابت وبالتالي يعتمد فقط على عمر الحمأة θ_c وهذا يمك فهمه في ضوء حقيقة وهي أنه كلما زاد تركيز BOD للمياه الخام كلما زادت انتاجية الكتلة الحيوية وبالتالي زيادة تركيز الكتلة الحيوية في المفاعل XV وبالتالي كلما توفر الغذاء كلما كانت الفرصة متاحة للبكتيريا للتمثيل الغذائي مع الاخذ في الاعتبار أن هذا يحدث في حالة الاستقرار بينما في الحالة الديناميكية فإن زيادة تركيز BOD للمياه الخام لا يكون متبوعا بزيادة مماثلة في الكتلة الحيوية حيث يكون التزايد في الكتلة الحيوية بطيء .

وبالتالي حتى نصل الى حالة اتزان سوف تكون جودة المنتج في صورة BOD غير جيدة ؛ ونظريا تكون أقل نسبة من BOD في المنتج موجودة فقط عندما يكون عمر الحمأة θ_c كبير جدا أو لانتهائي وبالتالي $\frac{1}{(\theta_c)}$ يساوي صفر وبالتعويض عن هذه القيمة في المعادلة الاخيرة نحصل على أقل تركيز S_{\min} . واذا رغبتنا في الحصول على قيمة أقل من S_{\min} فلا يمكننا ذلك

بحوض تهوية في نظام الخط الكامل واحد كما أن S_{min} لا تعتمد على إعادة التدوير ولكن دالة في معاملات الحركية

$$S_{min} = \frac{K_s \cdot K_d}{(\mu_{max} - K_d)}$$

1-13-4 حمل الحمأة (نسبة الغذاء الى الكائنات الحية) (food to sludge load ratio F/M)

تبنى هذه النسبة على مفهوم أن كمية الغذاء أو مادة التفاعل S أو BOD لوحدة الكتلة من الكائنات الحية تترتبط بكفاءة النظام وبالتالي كلما زاد الحمل BOD أو F الى وحدة الكتلة من الكائنات الحية M كلما قل كفاءة عملية استيعاب الكائنات الحية لها أي قلت كفاءة الكائنات الحية في ازلتها ولكن من ناحية أخرى كلما ايضا قل حجم حوض التهوية المطلوب ؛ وكلما كانت كمية الغذاء منخفضة جدا فإن ميكانيكية التنفس الذاتي تكون هي السائدة وهو ما يميز المعدل المنخفض كما في نظام التهوية المطولة .

كمية الغذاء الواردة للنظام هي حاصل تركيز مادة التفاعل S_0 أو BOD_5 في تدفق المياه الخام اليومي Q

$$F = Q \cdot S_0$$

وكتلة الكائنات الحية أو الكتلة الحيوية حاصل تركيز المواد الصلبة العضوية القابلة للتكسير البيولوجي أو المواد الصلبة المتطايرة X_v في حجم المفاعل V

$$M = X_v \cdot v$$

$$\frac{Q \cdot S_0}{V \cdot X_v} = \frac{F}{M}$$

بمعنى آخر أن F/M هو حمل الحمأة (جم من BOD5 لكل يوم / جرام مواد صلبة متطايرة VSS) ويتم التعبير أحيانا عن نسبة F/M في صورة المواد الصلبة العالقة الكلية TSS بدلا من المواد الصلبة المتطايرة VSS لكن يجب الاحتياط لعدم الخلط بينهما لأنه توجد علاقة بينهما وتكون دالة في عمر الحمأة .

في حالة عمر الحمأة الكبير (نسبة F/M منخفضة) يعني ازالة كبيرة للمواد العضوية وم ثم تكون نسبة VSS/SS منخفضة وهذا هو الحال في المفاعلات البيولوجية ولكل نظام معالجة قيم نموذجية .

بالتعويض من علاقة زمن المكث في المعادلة السابقة نجد

$$\frac{S_0}{t \cdot X_v} = \frac{F}{M}$$

ومن هذه العلاقة يمكننا القول بدقة ان نسبة F/M ليس لها علاقة مباشرة مع المواد العضوية التي يتم ازلتها من المفاعل حيث تمثل هذه النسبة الحمل المتاح للنظام ؛ والعلاقة التي تعبر عن الحمل المتاح والمواد التي يتم ازلتها تعرف معدل استغلال المادة U

$$U = \frac{Q(S_0 - S)}{V \cdot X_v}$$

حيث S هو تركيز BOD5 الذائب جم/م³ ومن ثم

$$U = \frac{F}{M} \cdot E$$

حيث E كفاءة ازالة النظام

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0}$$

وحيث أن كفاءة ازالة المادة في أنظمة معالجة مياه الصرف عادة تكون كبيرة فإنه يمكن القول أن $F/M=U$ ؛ وبعد تحديد القيمة التصميمية ل F/M أو U وبعد اعتماد تركيز X_v ومعرفة التدفق Q_{inf} ومعرفة تركيز BOD الداخل وتحديد قيمة الخارج المرغوب فيه فإننا يمكننا حساب حجم المفاعل بإعادة ترتيب العلاقة لتصبح

$$V = \frac{Q(S_0 - S)}{U \cdot X_v}$$

بفرض أن تركيز الاكسيجين الحيوي المطلوب للمياه الخام $S_0 = BOD_5 = 300\text{mg/l}$

وتركيها المرغوب فيه للمياه المعالجة $S = BOD_5 = 15\text{mg/l}$

وزمن المكث $t = 0.8 \text{ d}$

وتركيز المواد الصلبة (اذا تم اعتماد أقل تركيز للمواد الصلبة العالقة للمزيج المتخمر بالاحواض أو المفاعل MLSS 3524 mg/l) هو 2819 g VSS/m^3

يتم حساب نسبة الغذاء للكائنات الحية أو نسبة الاستغلال U

متوسط معدل التدفق اليومي 60000 م^3

$$\frac{S_0}{t.X_v} = \frac{300 \frac{\text{gm}}{\text{m}^3}}{0.8 \text{d} \times 2819 \text{VSS/m}^3} = 0.133 \frac{F}{M}$$

لحساب قيمة U

$$U = \frac{Q(S_0 - S)}{V.X_v}$$

بالتعويض عن قيمة $Q/V = 1/t$ تصبح

$$U = \frac{(S_0 - S)}{t.X_v} = \frac{300 \frac{\text{gm}}{\text{m}^3} - 15 \frac{\text{gm}}{\text{m}^3}}{0.8 \text{d} \times 2819 \text{ g VSS/m}^3} = \frac{285}{2255.2} = 0.126 \text{ kg BOD}_5/\text{kg VSS}$$

لاحظ أن قيمة U قريبة جدا من قيمة F/M تكاد تساويها

ثم نحسب حجم المفاعل المناسب من العلاقة السابقة كالتالي :

$$V = \frac{Q(S_0 - S)}{U.X_v} = \frac{60000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} (300 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{BOD}_5 - 15 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{BOD}_5)}{0.126 \text{ kg} \frac{\text{BOD}_5}{\text{kg}} \text{VSS} \times 2819 \text{VSS/m}^3} = 48142.7 \text{ m}^3$$

لو تم الحساب بناء على نسبة F/M

$$V = \frac{Q(S_0 - S)}{U \cdot X_v} = \frac{60000 \frac{m^3}{d} (300 \frac{mg}{l} BOD_5 - 15 \frac{mg}{l} BOD_5)}{0.133 \frac{kg}{kg} \frac{BOD_5}{VSS} \times 2819 VSS/m^3} = 45609 m^3$$

متوسط ناتج الحسابين $46875 m^3$ وهذا هو الحجم المناسب للمفاعل لهذه الكمية من التدفق

5-13-1 العلاقة بين معدل استغلال المادة وعمر الحمأة relationship between

substrate utilization rate U and sludge age θ_c

في حالة الاستقرار لا يوجد تراكم للمواد الصلبة وبالتالي يكون معدل انتاج المواد الصلبة (المواد الصلبة البيولوجية أو الكتلة الحيوية المنتجة) يساوي معدل ازالة المواد الصلبة (الحمأة الزائدة أو المواد الصلبة البيولوجية أو الكتلة الحيوية التي يجب التخلص منها)

$$= Y \cdot \frac{dS}{dt} - K_d \cdot X \frac{dX}{dt}$$

$$= Y \cdot \frac{(S_0 - S)}{X_v \cdot t} - K_d \cdot f_b \cdot X_v \frac{\Delta X_v}{\Delta t}$$

وبالقسمة على X_v تصبح المعادلة

$$= Y \cdot \frac{(S_0 - S)}{X_v \cdot t} - K_d \cdot f_b \frac{\Delta X_v / \Delta t}{X_v}$$

وحيث أن :

$$= \frac{1}{\theta_c} \frac{\Delta X_v / \Delta t}{X_v}$$

بالتعويض

$$= Y \cdot \frac{(S_0 - S)}{X_v \cdot t} - K_d \cdot f_b \frac{1}{\theta_c}$$

وحيث أن :

$$U = \frac{(S_0 - S)}{X_v \cdot t}$$

بالتعويض تصبح المعادلة :

$$= Y \cdot U - K_d \cdot f_b \frac{1}{\theta_c}$$

وحيث أيضا :

$$U = \frac{F}{M} \cdot E$$

بالتعويض تصبح أيضا المعادلة :

$$= Y \cdot \frac{F}{M} \cdot E - K_d \cdot f_b \frac{1}{\theta_c}$$

المعادلتين الأخيرتين تربط بين عمر الحمأة وكل من معدل استغلال مادة التفاعل أو BOD وبين نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M بالتالي بمجرد اعتماد قيمة العوامل Kd و Y يمكن حساب عمر الحمأة ومعدل استغلال الكربون الحيوي الممتص أو مادة التفاعل .

جزء من X_v قابل للتكسير الحيوي وبالتالي نميز الجزء القابل للانحلال البيولوجي بالرمز X_b أو $f_b \cdot X_v$ حيث أن $f_b = X_b / X_v$ حيث هو تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة و f_b الجزء القابل للتكسير البيولوجي من VSS .

6-13-1 الحمل العضوي الحجمي volumetric organic load

بعض أنظمة معالجة مياه المجاري يتم تصميمها طبق للحمل العضوي الحجمي والذي يعطى بالمعادلة التالية :

$$L_{vo} = \frac{Q \cdot S_0}{V}$$

حيث L_{vo} الحمل العضوي الحجمي $gm \text{ BOD}/m^3 \cdot d$ وحيث أن $Q/V=1t$

$$L_{vo} = \frac{S_0}{t}$$

وباعتماد قيمة L_{vo} يمكن حساب حجم المفاعل من العلاقة :

$$V = \frac{Q \cdot S_0}{L_{vo}}$$

لاحظ أن الحمل العضوي الحجمي يختلف عن نسبة F/M حيث يمثل الأول الحمل المطبق لوحدة الحجم من المفاعل بينما الثاني الحمل المطبق لوحدة الكتلة الحيوية في المفاعل ؛ يمكن حساب الحمل العضوي الحجمي اذا كان تركيز $S_0=300gm \text{ BOD}/m^3$ وكان $t=0.8$

$$L_{vo} = \frac{S_0}{t} = \frac{300gm \text{ BOD}/m^3}{0.8d} = 375gm^3 \cdot d$$

7-13-1 الحمل الهيدروليكي الحجمي volumetric hydraulic load

بعض أنظمة المعالجة الأخرى يمكن أن يتم تصميمها بناء على الحمل الهيدروليكي الحجمي

$$L_v = \frac{Q}{V}$$

حيث L_v الحمل الهيدروليكي الحجمي م³/يوم لكل متر مكعب و هو يساوي معكوس زمن

$$L_v = 1/t$$

8-13-1 الحمل العضوي السطحي surface organic load

يستخدم في تصميم البرك الاختيارية facultative ponds ويسمى أيضا معدل التحميل

السطحي L_s

$$L_s = \frac{Q \cdot S_0}{A}$$

حيث A مساحة السطح بالمتر المربع و L_s الحمل العضوي السطحي $\text{kgBOD}/\text{m}^2/\text{d}$

14-1 توزيع المواد الصلبة البيولوجية في المعالجة

Distribution of biological solids in the treatment

تتكون المواد الصلبة العالقة من جزء غير عضوي ثابت fixed solids ويرمز له X_i وجزء متطاير أو طيار غير ثابت volatile solids ويرمز له X_v ويعبر عنها بالعلاقة

$$X = X_i + X_v$$

الا انه ليست كل المواد الصلبة العالقة الطيارة قابلة للتكسير البيولوجي ويوجد منها جزء غير قابل للتكسير البيولوجي ويسمى الجزء الخامل ويرمز له X_{nb} وينتج من بقايا التنفس الذاتي (الداخلي) للبكتيريا ومن الجزء القابل للتكسير البيولوجي X_b وبالتالي

$$X_v = X_{nb} + X_b$$

عملية تدوير الحمأة يؤدي الى تراكم الجزء الغير عضوي X_i وأيضا الجزء الغير قابل للتكسير البيولوجي من المواد الصلبة الطيارة X_{nb} حيث أنها لا تتأثر بالمعالجة البيولوجية ؛ وكلما زاد عمر الحمأة تقل نسبة X_b/X_v هذه النسبة تسمى f_b ويعبر عنها بالمعادلة التالية f^*

$$f_b = f_b^* / 1 + (1 - f_b^*) \cdot K_d \cdot \theta_c$$

حيث f_b الجزء القابل للتكسير البيولوجي من المواد الصلبة الطيارة VSS التي يتم تخليقها في النظام بعد عمر حمأة (X_b/X_v) θ_c

حيث f_b^* الجزء القابل للتكسير البيولوجي من المواد الصلبة الطيارة VSS بمجرد تخليقها مباشرة أي عند عمر حمأة ($\theta_c = 0$) والقيمة النموذجية لها تكون 0.8 أو 80% وبالتالي

يمكن حساب قيم f_b عند قيم مختلفة لكل من K_d عمر الحمأة من المعادلة السابقة وتستخدم قيم f_b بصيغ مختلفة في عمليات المعالجة بالحمأة النشطة مثل التي ترتبط إنتاجية الحمأة واستهلاك الاكسيجين بالكتلة الحيوية و BOD مع المواد الصلبة العالقة في المنتج effluent مياه الصرف الخام يوجد لها علاقة ايضا مع المواد الصلبة الثابتة والطيارة والمواد القابلة للتكسير البيولوجي والغير قابلة للتكسير

$$VSS/TSS = 0.70 - 0.85$$

$$SSi/TSS = 0.15 - 0.30$$

$$SSb/VSS = 0.60$$

$$SSnb/VSS = 0.40$$

يجب الاخذ بالاعتبار حمل المواد الصلبة للمياه الخام بعين الاعتبار المواد الغير عضوية والمواد الغير قابلة للتكسير البيولوجي والتي لا يحدث لها أي تغيير أثناء المعالجة ؛ اما المواد القابلة للتكسير فلها اعتبار خاص حيث انها تتحول أثناء المعالجة الى كتلة حيوية وخلايا حية تتكون منها الندف وتؤثر على معدل استهلاك الاكسيجين في طرق المعالجة الهوائية وفي الانظمة التي بها أحواض ترسيب ابتدائي لا يتم اعتبار المواد الصلبة التي تترسب فيها حيث يكون الاهتمام فقط بالمواد الصلبة التي تدخل المفاعل والتي تؤثر على المعالجة والنشاط البكتيري واستهلاك الاكسيجين .. الخ .

الجزء النشط من المواد الصلبة الطيارة هو الجزء المسئول فعليا وبصورة حقيقية عن تكسير وتحويل المركبات العضوية الكربونية ويعطى بالعلاقة التالية :

$$f_a = 1 / 1 + (1 - f_b) \cdot K_d \cdot \theta_c$$

حيث f_a هو الجزء النشط من المواد الصلبة العالقة الطيارة $f_a = X_a / X_v$ ويمكن التعبير عن هذا الجزء أيضا بالعلاقة

$$f_a = f_b / f'_b$$

بعض النماذج الرياضية لتصميم المفاعلات تعبر عن حركية ازالة المواد العضوية في صيغة المواد الصلبة العالقة النشطة f_a والبعض الاخر للتبسيط يستخدم VSS وهو الشائع .

أثناء عملية المعالجة يتم تخليق مواد صلبة وتكسير أو استهلاك أخرى ويمكن التعبير عن الانتاجية الكلية للمواد الصلبة العالقة الطيارة بضرب معامل الانتاجية في حمل المواد العضوية الذي يتم ازالته من النظام معبرا عنه BOD كما في العلاقة التالية :

$$P_{xv \text{ gross}} = Y \cdot Q (S_0 - S)$$

تتكون المواد الصلبة العالقة التي تخلفت حديثا في المفاعل من 90% مواد عضوية طيارة غير ثابتة و 10% مواد غير عضوية ثابتة وبالتالي في المواد المخلفة حديثا تكون نسبة $VSS/TSS=0.9$ وبالتالي من هذه القيمة يمكننا تقييم حمل المواد الصلبة العالقة المخلفة حديثا بالمفاعل وهو ما يعرف بالانتاجية الكلية للمواد الصلبة العالقة الكلية

$$P_{xv \text{ gross}} = P_{xv} / 0.9$$

وتكون انتاجية المواد الصلبة العالقة الثابتة

$$P_{xi} = P_{x \text{ gross}} - P_{xv \text{ gross}}$$

ليست كل المواد الصلبة العالقة المنتجة قابلة للتكسير ؛ بعد انتاج المواد الصلبة مباشرة في المفاعل يكون عمر الحمأة $\theta_c = 0$. ويكون حمل المواد الصلبة العالقة القابلة للتكسير مساويا للمواد الصلبة الطيارة P_{XV} مضروبا في الجزء القابل للتكسير المخلق حديثا f_b وكما أوضحنا أعلاه قيمة f_b تتراوح عند 0.8 وعمليا لأن المواد الصلبة العالقة المخلقة حديثا تتأثر بعمر الحمأة أو زمن بقاء المواد الصلبة في المفاعل فإن حمل هذه المواد يكون أقل قليلا من هذه القيمة ويعطى بالعلاقة

$$P_{xb \text{ recently formed}} = P_{xv \text{ gross}} \cdot f_b$$

ونتيجة لبقاء المواد الصلبة في المفاعل لفترة زمنية هي عمر الحمأة θ_c فإن الجزء القابل للتكسير f_b يتناقص وبالتالي الانتاجية الكلية للمواد الصلبة العالقة القابلة للتكسير والتي تتأثر بعمر الحمأة هي :

$$P_{xb \text{ gross}} = P_{xv \text{ gross}} \cdot f_b$$

وانتاجية المواد الصلبة العالقة الطيارة الغير قابلة للتكسير هي :

$$P_{xnb} = P_{xv \text{ gross}} - P_{xb \text{ gross}}$$

وانتاجية الجزء النشط من المواد الصلبة العالقة الطيارة

$$P_{xa} = P_{xv \text{ gross}} \cdot f_b / f'_b$$

وبسبب التنفس الذاتي يتكسر جزء من المواد الصلبة القابل للتكسير في المفاعل ويكون حمل

هذا الجزء دالة في عمر الحمأة

$$P_{xb \text{ destroyed}} = P_{xb \text{ gross}} \frac{K_d \cdot \theta_c}{1 + f_b \cdot K_d \cdot \theta_c}$$

وبالتالي الانتاجية الصافية للمواد العضوية الصلبة العالقة القابلة للتكسير هي :

$$P \text{ xb net} = P \text{ xb gross} - P \text{ xb destroyed}$$

الانتاجية الصافية للمواد الصلبة العالقة الطيارة يساوي الانتاجية الصافية للمواد الصلبة القابلة للتكسير + انتاجية المواد الصلبة العضوية الغير قابلة للتكسير

$$P \text{ xv net} = P \text{ xb net} + P \text{ xnb}$$

يمكن الحصول أيضا على الانتاجية الصافية للمواد الصلبة العالقة الطيارة من معامل الانتاجية الملاحظ Y_{obs} والذي يأخذ بالاعتبار تكسير المواد الصلبة القابلة للتكسير

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + f_b \cdot K_d \cdot \theta_c}$$

ومن ثم الانتاجية الصافية للمواد الصلبة المتطايرة VSS يمكن الحصول عليها من العلاقة :

$$P \text{ xvnet} = Y_{obs} \cdot Q \cdot (S_0 - S)$$

الانتاجية الصافية للمواد الصلبة العالقة الكلية يساوي الانتاجية الكلية للمواد الصلبة المتطايرة + الانتاجية الصافية للمواد الغير عضوية

$$P \text{ xnet} = P \text{ xv net} + P \text{ xi}$$

وتكون النسبة النهائية VSS/TSS (التي ترجع للمواد البيولوجية الصلبة) في المفاعل هي:

$$= \frac{P \text{ xv net} \cdot VSS}{P \text{ x net} \cdot TSS}$$

نسبة المواد الصلبة العالقة القابلة للتكسير والتي تتكسر نتيجة التنفس الذاتي هي:

$$\% \text{ destruction } X_b = 100 \times \frac{P_{xb} \text{ destroyed}}{P_{xv} \text{ gross}}$$

وإذا كان من الأفضل أخذ المواد الصلبة للمياه الخام في الاعتبار ؛ فإن حمل المواد الصلبة الداخل (المواد الغير عضوية والمواد الغير قابلة للتكسير) يجب اضافته لحمال المواد الصلبة البيولوجية الناتجة الا انه لس هناك حاجة لذلك لأنها ستكون مدرجة ضمناً في BOD للمياه الخام الداخلة للمفاعل والذي يشمل BOD الذائب والحبيبات (للمواد الصلبة) أيضاً لحساب توزيع المواد الصلبة العالقة في حوض تهوية عند عمر حمأة 8 أيام مع إهمال المواد الصلبة في المياه الخام وبفرض أن BOD=300 mg/l للمياه الخام و BOD=15mg/l للمياه المعالجة ثانوياً ومتوسط التدفق 60000 m³/d ومعامل الانتاجية لكل جرام يتم ازالته من الاكسيجين الحيوي الممتص Y= 0.6 gmVSS/gmBOD و Kd=0.09d⁻¹ و fb=0.8gmSSb/gmVSS و VSS/SS=0.9

أولاً نحسب حمل الاكسيجين العضوي الممتص الذي يجب ان تتم ازالته يوميا طبقا للمعايير المطلوبة

$$BOD_{5\text{removed}} = S_0 (BOD_{5\text{inf}}) - S (BOD_{5\text{eff.}}) = 300\text{mg/l} - 15\text{mg/l} = 285\text{mg/l}$$

ثم نحسب الحمل حسب متوسط التدفق اليومي

$$\text{Load } BOD_{5\text{removed}} \text{ kg/d} = Q \text{ m}^3/\text{d} (S_0 - S)$$

$$\text{Load } BOD_{5\text{removed}} \text{ kg/d} = 60000 \times 0.285 = 17100 \text{ kg/d}$$

$$f_b = f_b / 1 + (1 - f_b) \cdot K_d \cdot \theta_c$$

$$f_b = \frac{0.8}{1 + (1 - 0.8) \times 0.09 \times 8} = 0.699$$

ثم نحسب الانتاجية الكلية للمواد الصلبة العالقة المتطايرة

$$P_{xv \text{ gross}} = Y \cdot Q (S_0 - S) = 0.6 \times 17100 = 10260 \text{ kg VSS/d}$$

الانتاجية الكلية للمواد الصلبة العالقة الكلية

$$P_{x \text{ gross}} = P_{xv} / \text{SSV} / \text{SS} = 10260 / 0.9 = 11400 \text{ kg TSS/d}$$

انتاجية المواد الصلبة الغير عضوية

$$P_{xi} = P_{x \text{ gross}} - P_{xv \text{ gross}} = 11400 - 10260 = 1140 \text{ kg SSi/d}$$

إنتاجية المواد الصلبة العالقة القابلة للتكسير البيولوجي والتي تعزى لعمر الحمأة θ_c .

$$P_{xb \text{ gross}} = P_{xv \text{ gross}} \cdot f_b = 10260 \times 0.699 = 7171.74 \text{ kg SSb/d}$$

حمل المواد الصلبة العالقة الكلية القابلة للتكسير التي تم تكسيرها

$$P_{xb \text{ destroyed}} = P_{xb \text{ gross}} \frac{K_d \cdot \theta_c}{1 + f_b \cdot K_d \cdot \theta_c}$$

$$P_{xb \text{ destroyed}} = 7171.74 \text{ kg SSb/d} \frac{0.09 \times 8}{1 + 0.699 \times 0.09 \times 8} = 3442.44 \text{ kg SSb/d}$$

الانتاجية الصافية للمواد الصلبة العالقة القابلة للتكسير

$$P_{xb \text{ net}} = P_{xb \text{ gross}} - P_{xb \text{ destroyed}}$$

$$P_{xb\ net} = 7171.74 \text{ kg SS}_b/d - 3442.44 \text{ kg SS}_b/d = 3729.3 \text{ kg SS}_b/d$$

انتاجية المواد الصلبة العالقة الطيارة الغير قابلة للتكسير

$$P_{xnb} = P_{xv\ gross} - P_{xb\ gross}$$

$$P_{xnb} = 10260 \text{ kg VSS}/d - 7171.74 \text{ kg SS}_b/d = 3088.26 \text{ kg SS}_b/d$$

الانتاجية الصافية للمواد الصلبة العالقة الطيارة

$$P_{xvnet} = P_{xb\ net} + P_{xnb}$$

$$P_{xvnet} = 3729.3 \text{ kg SS}_b/d + 3088.26 \text{ kg SS}_b/d = 6817.56 \text{ kg VSS}/d$$

الانتاجية الصافية للمواد الصلبة العالقة

$$P_{xnet} = P_{xv\ net} + P_{xi}$$

$$P_{xvnet} = Y_{obs} \cdot Q \cdot (S_0 - S)$$

$$P_{xnet} = Y_{obs} \cdot Q \cdot (S_0 - S) + P_{xi}$$

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + f_b \cdot K_d \cdot \theta_c}$$

$$P_{xnet} = \frac{Y}{1 + f_b \cdot K_d \cdot \theta_c} \cdot Q \cdot (S_0 - S) + P_{xi}$$

$$P_{xnet} = \frac{10260 \text{ kg VSS}/d}{1 + 0.699 \times 0.09 \times 8} + 1140 \text{ kg SS}_i/d = 7980 \text{ kg TSS}/d$$

نسبة المواد الصلبة الطيارة للمواد الصلبة العالقة الكلية VSS/TSS

$$= \frac{P \times v \text{ net VSS}}{P \times \text{net TSS}}$$

$$= \frac{6817.56 \text{ kg VSS/d}}{7980 \text{ kg TSS/d}} = 0.854 (85\%) \frac{\text{VSS}}{\text{TSS}}$$

نسبة تكسير المواد الصلبة العالقة القابلة للتكسير

$$\% \text{ destruction } X_b = 100 \times \frac{P_{xb} \text{ destroyed}}{P_{xb} \text{ gross}}$$

$$\% \text{ destruction } X_b = 100 \times \frac{3442.44 \text{ kg SS}_b/\text{d}}{7171.74 \text{ kg SS}_b/\text{d}} = 48\%$$

نسبة تكسير المواد الصلبة العالقة الطيارة القابلة للتكسير

$$\% \text{ destruction } X_b = 100 \times \frac{3442.44 \text{ kg SS}_b/\text{d}}{10260 \text{ kg VSS/d}} = 34\%$$

من النتائج يمكن ملاحظة أنه كلما قل عمر الحمأة زادت انتاجية المواد الصلبة (كما في عمليات الحمأة النشطة التقليدية) عكس عمليات الحمأة النشطة في نظام التهوية المطولة والتي يكون عمر الحمأة فيها كبير حيث يحدث تثبيت للمواد الصلبة كما انه اذا تم الاخذ قي الاعتبار قيمة المواد الصلبة للمياه الخام فإن الانتاجية سوف تختلف ونسبة VSS/TSS أيضا وهذا هو الحاصل عمليا

1-15 التهوية aeration

بصفة عامة عندما يكون الغاز نسبته صغيرة جدا أو منعدمة في السائل يكون هناك ميل للغاز بالانتشار في السائل وهي ظاهرة طبيعية لانتقال الغاز من الوسط الاعلى تركيز للوسط الاقل تركيز ؛ لسوء الحظ ان الاكسيجين غاز شحيح الذوبان في الماء ولذلك يجب تسريع عملية انتشار الغاز في الماء وتسريع معدل انتشاره ليعادل معدل استهلاكه بواسطة الكتلة الحيوية التي تتكون من الكائنات الحية اللازمة للقيام بعملية المعالجة .

توجد وسيلتين لتحقيق هذا الهدف هما طريقة الانتشار وتستخدم فيها ناشرات الهواء والطريقة الثانية هي طريقة الهويات الميكانيكية

1-15-1 تركيزات تشبع الغاز saturation concentration of the gas

الغازات الذائبة في الماء تتحول من الوسط الغازي للوسط السائل والعكس طبقا لدرجة ذوبانها ودرجة الحرارة والروابط الكيميائية التي ترتبط بها مع الماء ؛ يعتمد الاتزان الديناميكي بين الوسط الغازي والمائي على تركيز التشبع للغاز بالسائل .

في ظروف الاتزان تكون سرعة امتصاص الغاز Vg وسرعة تحرر الغاز Vl متساوية $Vg = Vl$ وتركيزات التشبع في كل من الطور الغازي والسائل تتناسب مع هذه السرعات

$$Kg.Cg = Kl.Cs$$

حيث Kg و Kl ثوابت التناسب و Cg تركيز الغاز في الطور الغازي و Cs تركيز الغاز في الطور السائل ملجم/ل

$$Cs = \frac{Kg}{Kl} Cg$$

$$C_s = K_D \cdot C_g$$

وبالتالي تركيز التشبع يتناسب طرديا مع التركيز في الحالة الغازية طبقا لقانون هنري ويسمى K_D معامل التوزيع وهو يعتمد على طبيعة الغاز والسائل ودرجة الحرارة وقيم هذا العامل للاكسيجين والماء هي كما بالجدول عند درجات الحرارة المختلفة

Temperature C ⁰	K _D
0	0.0493
10	0.0398
20	0.0337
30	0.0296

كلما زادت درجة الحرارة قل ذوبان الغاز في الماء ويمكن الحصول على التركيز C_g من القانون العام للغازات

$$PV = nRT$$

حيث P الضغط الجزئي للغاز Pa في الطور الغازي و V حجمه الذي يشغله و n وهو عدد مولات الغاز في نفس الحجم و R الثابت العام للغازات ويساوي 8.3143 J/K.mole و T درجة الحرارة .

بدمج هذه المعادلة مع السابقة وتصحيحها للضغط البخاري للماء نحصل على معادلة تمكنا من حساب تركيز التشبع للاكسيجين في الماء كدالة في درجة الحرارة والضغط

$$C_s = K_D \, dv \, (P_a - P_v) \frac{MW}{RT}$$

حيث dv التوزيع الحجمي للاكسجين في الهواء الجوي (يعادل 0.21 أو 21%) و MW الوزن الجزيئي للاكسجين وهو 32 gm/mole ؛ و P_a الضغط الجوي وهو 101 و 325 pa عند درجة الحرارة القياسية والضغط و P_v الضغط البخاري للماء وهو كما بالجدول عند درجات الحرارة المختلفة

Temperature C ⁰	Pv(Pa)
0	611
10	1230
20	2330
30	4240

توجد معادلات أبسط تعطي مباشرة قيمة $C_s \text{ mg/l}$ كدالة في درجة الحرارة

$$C_s = 14.652 - 4.1022 \times 10^{-1} \cdot T + 7.9910 \times 10^{-3} \cdot T^2 - 7.7774 \times 10^{-5} \cdot T^3$$

تؤثر المرتفعات على تؤثر على درجة ذوبان الغاز حيث تقل ذوبانية الغاز بزيادة الارتفاع عن سطح البحر بسبب انخفاض الضغط الجوي ومن ثم انخفاض ضغط الغاز الذي يجب اذابته وهذا التأثير يتم حسابه من العلاقة التالي :

$$f_H = C/s / C_s = \left(1 - \frac{H}{9450} \right)$$

حيث fH عامل التصحيح لتركيز تشبع الاكسيجين و C/s تركيز التشبع عند ارتفاع H ملجم/ل و H الارتفاع بالمتر

كما أن الملوحة تؤثر أيضا على ذوبان الاكسيجين ويمكن حساب تأثير الملوحة من العلاقة

$$\gamma = 1 - 9 \times 10^{-6} Csal$$

حيث γ عامل انخفاض الذوبان وهو يساوي (1) صحيح للمياه النقية و $Csal$ هو تركيز الاملاح معبرا عنه $Cl^- \text{ mg/l}$

ميكانيكية انتقال الغاز gas transfer mechanism

توجد طريقتين الاولى الانتشار الجزيئي diffusion transfer والثانية الانتشار بالتهيج turbulent diffusion ؛ يمكن التعبير عن معدل انتشار الكتلة بالانتشار طبقا لقانون فيكس

$$= D \cdot A \frac{\partial C}{\partial X} \frac{dM}{dt}$$

حيث D معامل الانتشار الجزيئي م²/ث و A مساحة السطح م² و X المسافة من سطح التلامس و $\frac{\partial C}{\partial X}$ تركيز الانحدار والاشارة السالبة تشير لاتجاه الانتشار المعاكس لتركيز الانحدار وقيم معامل الانتشار عند درجات الحرارة المختلفة كما بالجدول

Temperature C ⁰	D (10 ⁻⁹ m ² /s)
10	1.39
20	1.80
30	2.42

وطبقا لنظرية الاختراق توجد صيغتين أحدهما لامتنصاص الغاز والثانية لعمق اختراق الغاز

معدل امتصاص الغاز هو :

$$= A (C_s - C_0) \sqrt{\frac{D}{\pi t}} \frac{dM}{dt}$$

ومعدل عمق اختراق الغاز بالعلاقة :

$$X_p = \sqrt{\pi D \cdot t}$$

حيث m كتلة الغاز الممتص بالجرام عبر مساحة سطح A م² في زمن t ثانية

و C_0 التركيز الابتدائي للغاز في عمق المياه جم/م³ ؛ و X_p عمق اختراق الغاز لكتلة من

الماء .

انتقال الاكسجين بالانتشار الجزيئي بطيء ويعتبر الانتشار بالتهيج الميكانيكي أكثر فاعلية

1-15-2 حركية التهوية kinetic of aeration

عيب الصيغتين السابقتين للانتشار هو ان معامل الانتشار D وزمن التعرض لمنطقة التماس

t_c ومساحة السطح A يجب أن تكون معلومة لكي نتمكن من تقدير معدل انتقال الغاز وبالتالي

يعتمد الخبراء صيغة أخرى ؛ في حالة الثبات steady state يكون معامل الانتشار D وزمن

التعرض لمنطقة التماس t_c ثابت ويمكن استبدالهما بمعامل انتقال الغاز K_L بجانب أن مساحة

السطح A والمساحة الخاصة a والتي تساوي مساحة السطح على الحجم A/V يمكن اعتبارهما

ثوابت وعند هذه الظروف يمكن تقدير معامل انتقال الغاز كالتالي :

$$K_L a = 2\sqrt{D/\pi t_c} \cdot A/V$$

حيث $K_L a$ معامل كتلة انتقال الاكسيجين الكلي وبالتالي يمكن التعبير عن كتلة الاكسيجين الكلي الذي يتم نقله عبر وحدة الزمن والحجم بإعادة ترتيب المعادلة السابقة ودمجها مع معادلة معدل امتصاص الغاز

$$= K_L a (C_s - C) \frac{M}{V}$$

أو بالشكل التالي

$$= K_L a (C_s - C) \frac{dC}{dt}$$

حيث dC/dt معدل التغير في تركيز الاكسيجين جم/م³ ث و C تركيزه عند زمن t جم/م³ من المعادلة الاخيرة يمكن ان نرى أنه كلما قل تركيز الاكسيجين C أو كلما زاد عجز أو نقص الاكسيجين $(C_s - C)$ كلما زاد معدل انتقال الاكسيجين dC/dt ؛ وبتكامل المعادلة بين نهايتين $t=0$ و $t=t$ و $C=0$ و $C=C$ نحصل على المعادلة التالية :

$$= e^{-K_L a (t-t_0)} \frac{C_s - C}{C_s - C_0}$$

إذا لم يكن هناك أي استهلاك للاكسيجين في الوسط المائي تحت ظروف التهوية كما هو الحال في المياه النقية فسوف يزداد تركيز C طبقاً لمعدل النقص الاسي ويميل التركيز لقيمة حالة الاستقرار وهو تركيز التشبع C_s ؛ و بإعادة ترتيب المعادلة السابقة نجد

$$C = C_s - (C_s - C_0) \cdot e^{-K_L a (t-t_0)}$$

وعندما يوجد استهلاك للاكسيجين في الوسط المائي كما هو الحال في أحواض التهوية أو المفاعلات أثناء عملية المعالجة ستكون أعلى قيمة لتركيز الاكسيجين يمكن الوصول إليها أقل من قيمة التشبع

فإذا فرضنا أن معدل استهلاك الاكسيجين $r \text{ gm/m}^3$ وأعلى قيمة يمكن الوصول لها للتركيز $C = C_{\infty}$ فإن معادلة مسار الاكسيجين الذائب في حوض التهوية مع استهلاك الاكسيجين ستكون كالتالي

$$C = C_{\infty} - (C_{\infty} - C_0) \cdot e^{-K_{L.a}(t-t_0)}$$

في حالة الاستقرار لحوض تهوية أو مفاعل قيد التشغيل يكون معدل استهلاك الاكسيجين عن طريق البكتيريا يساوي معدل انتاج الاكسيجين عن طريق نظام التهوية الخاص بالمفاعل أو حوض التهوية

$$K_{L.a}(C_s - C) = r$$

$$C = C_s - \frac{r}{K_{L.a}}$$

قيمة C في المعادلة الاخيرة تناظر C_{∞} في المعادلة التي تسبقها ؛ يتأثر معدل انتقال الاكسيجين بدرجة الحرارة والضغط الجوي أو الارتفاع وتركيز الاكسيجين الذائب .

يحدث تأثير درجة الحرارة في معدل الانتقال بطريقتين متضادتين هما الاولى تأثير درجة الحرارة على تركيز التشبع C_s فكلما زادت درجة الحرارة انخفض تركيز التشبع C_s ومن ثم معدل الانتقال dC/dt ؛ والثاني تأثير الحرارة على معامل انتقال الكتلة $K_{L.a}$ والذي يزيد بزيادة درجة الحرارة ومن ثم معدل الانتقال dC/dt ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة التالية :

$$K_{L.a}(T) = K_{L.a}(20C^0) \cdot \theta^{(T-20)}$$

حيث $K_{L.a}(T)$ هو المعامل $K_{L.a}$ عند أي درجة حرارة و $K_{L.a}(20C^0)$ المعامل عند درجة حرارة 20 درجة مئوية و θ هو معامل الحرارة وعادة يساوي 1.024

أما تأثير الضغط الجوي كلما زاد الارتفاع قل الضغط الجوي وبالتالي قل تركيز التشبع .

بالنسبة لتأثير الاكسيجين الذائب ؛ عند ظروف حالة الاستقرار كلما زاد تركيز الاكسيجين

الذائب C كلما قل قيمة $C_s - C$ وبالتالي يقل معدل انتقال الاكسيجين وعلى سبيل المثال في

عمليات الحمأة النشطة خصوصا الحالة التي نحن بصدها يتم الحفاظ على نسبة أكسيجين

تتراوح بين 1.5 – 3 mg/l ويمكن الحصول على عامل تصحيح الاكسيجين الذائب من

المعادلة التالية

$$\text{Correction factor for D.O concentration} = \frac{C_{sw} - C_L}{C_s(20c)}$$

حيث C_{sw} هو تركيز التشبع للاكسيجين الذائب في حوض التهوية ملجم/ل ؛ و C_L تركيز

الاكسيجين الذائب الذي يتم الحفاظ عليه في حوض التهوية ملجم/ل و $C_s(20c)$ تركيز

التشبع للاكسيجين الذائب للمياه النقية عند 20 درجة مئوية ملجم/ل.

تؤثر خواص مياه الصرف الخام وشكل وتصميم المفاعل أو حوض التهوية على معدل انتقال

الاكسيجين بطريقتين ؛ الطريقة الاولى هو تأثيرها على تركيز تشبع الاكسيجن في

المفاعل C_{sw} والثانية تأثيرها على معامل انتقال الاكسيجين $K_{L.a}$.

بالنسبة تأثيرها على تركيز تشبع الاكسيجن في المفاعل C_{sw} ؛ وجود الاملاح والمنظفات

تؤثر على تركيز التشبع في المفاعل او حوض التهوية ويمكن تقدير هذا التأثير من العلاقة

التالية :

$$\beta = \frac{C_{sw}(\text{wastewater})}{C_s(\text{clean water})}$$

تتراوح قيمة بين $\beta = 0.70 - 0.98$ ويتم اعتماد قيمتها $\beta = 0.95$ عالميا .

بالنسبة لتأثيرها على معامل انتقال الاكسجين $K_{L.a}$ فمعامل انتقال الاكسجين يتأثر بخواص مياه الصرف وهندسة أو شكل المفاعل أو حوض التهوية ومستوى الخلط به ويمكن الحصول على عامل التصحيح من العلاقة التالية :

$$\alpha = \frac{K_{L.a}(\text{wastewater})}{K_{L.a}(\text{clean water})}$$

والقيمة النموذجية للعامل $\alpha = 0.6 - 1.2$ للهوايات الميكانيكية و $\alpha = 0.4 - 0.8$ لناشرات الهواء التي تعمل بالهواء المضغوط عبر نوافخ الهواء .

معدل انتقال الاكسجين يختلف من مكان لآخر لنفس المعدات المستخدمة وبالتالي يفضل التعبير عن معدل الانتقال في ظل الظروف القياسية للحصول على قيم متماثلة ويوجد طريقتين لمعدل انتقال الاكسجين (سعة الاكسجين oxygenation capacity) وهما الأول الظروف القياسية بالنسبة للمياه النظيفة عند درجة حرارة 20 درجة مئوية وارتفاع يساوي صفر عن سطح البحر ونظام تهوية في حوض اختبار ؛ والثاني لمياه الصرف الخام ودرجة حرارة مياه الصرف الخام والارتفاع الحقيقي عن سطح البحر ونظام تهوية في المفاعل أو حوض التهوية الحقيقي المراد انشاؤه للمعالجة ؛ ولتحويل أحد هذه الصور للاخرى يتم من خلال عوامل تصحيح يعبر عنها بالمعادلة التالية :

$$OTR_{\text{standard}} = OTR_{\text{field}} / \frac{\beta \cdot f_H \cdot C_s - C_L}{C_s(20c)} \cdot \alpha \cdot \theta^{T-20}$$

حيث OTR standard هو معدل انتقال الاكسيجين القياسي ويرمز له أيضا SORT
 kgO2/h ؛ ومعدل انتقال و OTR field هو معدل انتقال الاكسيجين في ظل ظروف التشغيل
 kgO2/h و Cs تركيز تشبع الاكسيجين في المياه النقية جم للمتر المكعب و CL متوسط
 تركيز الاكسيجين الذي يجب الحفاظ عليه بحوض التهوية أو المفاعل و Cs (20c) تركيز
 نشبع الاكسيجين في المياه النقية عند الظروف القياسية ودرجة حرارة 20 درجة مئوية جم للمتر
 المكعب و fH معامل التصحيح Cs للمرتفعات وهو يساوي (1-altitude/9450).

العلاقة بين معدل انتقال اللاكسيجين القياسي أو العياري SORT أو OTR standard ومعامل
 انتقال الاكسيجين KLa يمكن الحصول عليه بإعادة ترتيب العلاقة :

$$\text{OTR standard} = \frac{K_{L.a} \cdot C_s(20C) \cdot V}{1000}$$

وبسبب العوامل الكثيرة المؤثرة على OTR field فإنه يكون أقل OTR standard من وبالتالي في
 التصميم يتم تقدير OTR field كدالة في احتياجات الاكسيجين وبالتبعية يتم حسابه من OTR
 standard المعادلة :

$$\text{OTR standard} = \text{OTR field} / \frac{\beta \cdot f_H \cdot C_s - C_L}{C_s(20c)} \cdot \alpha \cdot \theta^{T-20}$$

1-15-3 كفاءة الاكسيجين oxygenation efficiency OE

وهي تمثل معدل انتقال الاكسيجين kgO2/h لكل وحدة من الطاقة P يتم استهلاكها kW

$$\text{OE} = \frac{\text{OTR standard}}{P} \text{ kgO2/kWh}$$

حيث ترتبط الطاقة بالفولتية والامبيرية بالعلاقة التالية :

$$OE = \frac{\sqrt{3} \text{ volt.i.cos}\phi}{1000}$$

حيث volt هي الفولتية V و i شدة التيار A و $\cos\phi$ عامل الطاقة أو القوى power factor .

في حالة الهوايات الميكانيكية يجب أن يكون واضح أن الطاقة التي تستهلك لا تشمل كفاءة الموتور والمخفض وفي حالة ناشرات الهواء احتياج الطاقة للنوافخ يتم التعبير عنه بمصطلح تدفق الهواء والضغط الذي يجب التغلب عليه ويعطى بالعلاقة التالية :

$$P = \frac{Qg.\rho.g (di .\Delta H)}{\eta}$$

حيث p الطاقة W اللازمة و ρ . كثافة السائل (المياه أو المزيغ المتخمر بالحواض)
1000kg/m³ و g عجلة الجاذبية 9.81m/s² و ΔH . فاقد الارتفاع أو العمود في نظام توزيع الهواء و η كفاءة الموتور ونافخ الهواء

كفاءة انتقال الاكسيجين oxygen transfer efficiency

في نظام التهوية بلانتشار يكون نسبة استغلال الاكسيجين أو استهلاكه ROU يعبر عنه بكمية الاكسيجين التي تمتص لكل متر مكعب من الهواء الذي يتم تطبيقه على النظام

$$ROU = \frac{OTR \text{ standard}}{Qg}$$

حيث ROU نسبة الاكسيجين الذي يتم استغلاله كجم O2 يمتص / متر مكعب من الهواء يطبق على النظام و Qg تدفق الهواء بالمتر المكعب/ساعة .

كفاءة انتقال الاكسيجين العيارية أو القياسية SOTE تمثل النسبة المئوية لكفاءة الاكسيجين الممتص ؛ وحيث أن الهواء الجاف يحتوي على %20.95 أكسيجين بناء على وحدة الحجم والوزن الجزيئي للاكسيجين هو 32 gm/mole ويشغل 0.0224 m³/mole بالتالي يكون تركيز الاكسيجين في الهواء :

$$\text{O2 concentration in air} = 0.2095 \times \frac{32}{0.0224} = 299 \text{ gm O2/m}^3$$

وبالتالي يمكن حساب SOTE من العلاقة التالية مباشرة

$$\text{SOTE} = 100 \times \text{ROU} = \frac{\text{ROU gm/m}^3}{\text{Cg gm/m}^3} = \frac{\text{ROU gm/m}^3}{299/\text{m}^3} = 0.334\text{ROU} (\%)$$

حيث SOTE كفاءة انتقال الاكسيجين القياسي (%) ؛ ولكي نأخذ في الاعتبار عمق ناشرات الهواء di يمكن ربط نسبة استغلال الاكسيجين بها ويعبر عنها بنسبة استغلال الاكسيجين لكل وحدة غمس ROU/di ويعبر عنها g O2/m³.m

مستوى الطاقة power level

المهمة الرئيسية لأي نظام تهوية هو تهوية مياه الصرف الخام وامداد المياه الخاضعة للمعالجة بالاكسيجين اللازم وخط الخليط المتخمر MLSS في المفاعل أو حوض التهوية ولكي يتم تحقيق الهدفين يجب ان تكون الطاقة لوحدة الحجم كافية لتجنب ترسيب المواد الصلبة وهذه العلاقة يمكن تمثيلها عبر مفهوم مستوى الطاقة Power level ويرمز لها PL أو ϕ

$$\text{PL} = \frac{P}{V}$$

حيث PL مستوى الطاقة W/m^3 و P الطاقة الداخلة W و حجم حوض التهوية أو المفاعل m^3 .

كلما كان مستوى الطاقة كبير كلما كانت كمية المواد الصلبة العالقة التي تبقى مشنته و عالقة كبير والجدول التالي يوضح هذه العلاقة التقديرية

Power level W/m^3	SS mg/l
0.75	50
1.75	175
2.75	300

التهوية بالانتشار تنقسم فيها نوع التهوية الى فقعات هواء صغيرة وهي الاكثر فاعلية لأنه كلما صغر حجم الفقاعات كلما زادت مساحة السطح اللازم لانتشار الاكسجين وبالتالي تزيد كفاءة الاكسجين ويبلغ قطرها 3 مم ؛ والفقاعات الوسط مقطرها 3-6 مم والكبيرة أكبر من 6 مم . وناشرات الهواء قد تكون أقراص أو أطباق أو شكل قبة أو انبوبة وتصنع من البلاستيك أو السيراميك أو أغشية مرنة .

في محطة ينبع نستخدم ناشرات الهواء البلاستيكية وهي عبارة عن قرص قطر الفقاقيع الهوائية التي ينشرها 3 مم

(في حالة الهوايات الميكانيكية تعتمد شدة الخلط على عدد وتوزيع الهوايات وعلى حجم وشكل الحوض ؛ بسبب التركيز العالي للمواد الصلبة العالقة في عمليات المعالجة بالحمأة النشطة يجب أن يكون مستوى الطاقة أكبر من $10 W/m^3$ ويوجد نوعين من الهوايات رأسية تعمل

على سرعات عالية ومنخفضة وأفقية تعمل على سرعات منخفضة كما يوجد منها الثابت والعائم ويعتمد فاعلية الثابتة على عمق الهوائية في الحوض)

1-15-4 اختبارات التهوية aeration tests

يم تصميم محطات معالجة مياه الصرف الصحي بناء على معدل انتقال الاكسيجين المرغوب فيه من نظام التهوية ؛ يمكن اجراء اختبارات التهوية للمحطات التي تعمل بنظام الحمأة النشطة بملئ حوض التهوية بالماء النقي ويتم ازالة الاكسيجين الذائب من الماء بإضافة كبريتيد الصوديوم مع توقيف عمل الهوايات أو ناشرات الهواء ويتم حساب سعة التهوية طبقا للزيادة في معدل تركيز الاكسيجين الذائب بعد توقيف الهوايات او النوافخ وهذه الطريقة مكلفة وغالية وبدلا منها يمكن العمل مباشرة على الحمأة النشطة بالحوض حيث يتم استهلاك الاكسيجين من خلال الكتلة الحيوية المكونة للمزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة MLSS وبالرغم من ان هذه الطريقة أقل دقة من السابقة الا انها تعطي مؤشر على معدل انتقال الاكسيجين في النظام ؛ في حالة الاستقرار يكون كمية الاكسيجين المستهلك مساويا للنتاج ويمكن حساب معامل انتقال الاكسيجين

$$K_{L.a} = \frac{r}{C_s - C}$$

في حالة عدم الاستقرار يتم تعيين معدل انتاج الاكسيجين عن طريق تقدير العجز في الاكسيجين الذائب بعد وقف عمل النوافخ أو الهوايات ويحسب معامل انتقال الاكسيجين من العلاقة :

$$C = C_{\infty} - (C_{\infty} - C_0) \cdot e^{-K_{L.a}(t-t_0)}$$

$$C_{\infty} = C_s - (r/K_L a)$$

يؤثر النظام الهيدروليكي على تعيين معامل انتقال الاكسجين

16-1 عملية الحمأة النشطة والمتغيرات الرئيسية

Activated sludge process and main variants

تستخدم الحمأة النشطة في المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي والصناعي على نطاق واسع وحيث أن المحطة التي سوف نتناول المعالجة فيها وهي محطة الصرف الصحي بمحافظه ينبع تعمل بهذه الطريقة سوف نتعرف على هذه العملية بشئ من التفصيل .

تستخدم عملية الحمأة النشطة للحصول على منتج عالي الجودة وأيضاً لتقليل مساحة المحطة إلا أن هذه الطريقة تحتاج إلى استخدام الكثير من المعدات الميكانيكية أيضاً وبالتالي نظام تشغيل متطور واستهلاك قدر كبير من الطاقة (حديثاً يتم استخدام نظام الحمأة النشطة في معالجة المنتج النهائي لعمليات المعالجة اللاهوائية وهذا يخفف تكلفة الطاقة وتقليل انتاجية الحمأة المنتجة وهي تعطي منتج نهائي عالي الجودة ينافس أنظمة معالجة الحمأة التقليدية).

أي نظام للحمأة النشطة يعمل بنظام التدفق المستمر يحتاج بصورة أساسية حوض تهوية وحوض ترسيب ثانوي ونظام لإعادة تدوير الحمأة وأيضاً التخلص من جزء من الحمأة وتسمى الحمأة الزائدة (محطة مضخات الحمأة الراجعة والزائدة) .

التفاعلات الكيموحيوية التي تؤدي إلى التخلص من أو إزالة المواد العضوية نتيجة النشاط البكتيري تحدث في حوض التهوية (مثل إزالة المواد العضوية الكربونية BOD والنيتروجين العضوي والغير عضوي مثل NH₃... الخ) ؛ تنمو الكتلة الحيوية أو الحمأة نتيجة استهلاك مادة التفاعل S أو الكربون العضوي BOD وتتكون في صورة ندف كثافتها أعلى قليلاً من

الماء تترسب في حوض الترسيب النهائي أو الثانوي ويرجع قدرة الحمأة على الترسيب الى تكوين الندف بحجم كبير نتيجة خاصية اللاتصاق حيث تفرز البكتيريا مواد سكرية تلتصق بها البكتيريا (بكتيريا المعالجة وبعض البكتيريا الخيطية) والبروتوزوا وغيرها من المواد الصلبة مما يزيد من وزن وكثافة الندف ويجعلها سهلة الترسيب ؛ جزء من هذه الحمأة يتم إعادة تدويره الى حوض التهوية للحفاظ على تركيز مناسب من الكائنات الحية المكون الرئيسي للحمأة وللأهم لجودة عملية المعالجة ويسمى الحمأة الراجعة RAS والجزء الآخر وهو قليل نسبيا بالنسبة للجزء المعاد تدويره يتم التخلص منه من النظام ويسمى الحمأة الزائدة WAS للحفاظ على ائزان الكتلة ومنع تراكم الحمأة بالنظام وهذا الجزء يناظر انتاجية الحمأة في اليوم نتيجة النشاط الحيوي .

نتيجة لعملية التدوير يكون تركيز الحمأة (المواد الصلبة العالقة أو المزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة MLSS) في حوض التهوية عالي جدا .

زمن الاحتجاز الهيدروليكي في حوض التهوية في نظام المعالجة بالحمأة النشطة بطريقة التهوية المطولة يكون قصير وهو عدة ساعات لا تتجاوز اليوم الواحد مما يجعل حوض التهوية اللازم صغير الحجم وهي أحد مميزات هذا النظام .

يكون زمن المكث أو عمر الحمأة θ_c أو ما يعرف متوسط زمن بقاء الخلية MCRT أو زمن مكث المواد الصلب SRT طويل في أنظمة المعالجة بالحمأة النشطة للتهوية المطولة (18-30 d) للتهوية المطولة و (4-10d) في أنظمة المعالجة التقليدية ويتأثر بشكل كبير بدرجة الحرارة ويتم تقديره بالنسبة بين كتلة الحمأة في حوض التهوية الى كتلة الحمأة التي يتم التخلص منها يوميا وقد تم اختيار عمر حمأة يتناسب مع درجة حرارة منطقة ينبع وهو قريب من عمر الحمأة في نظام المعالجة بالحمأة التقليدية 8 أيام نظرا لارتفاع درجة الحرارة وطول

أحواض التهوية التي يجعلها أقرب الى نظام الخلط الكامل وسوف نتعرض لهذه المفاهيم وكيفية حسابها للمحطة بالتفصيل في الجزء الثاني من هذا الكتاب

الدوام على بقاء كمية مناسبة من الحمأة في النظام هو الضمان الرئيسي لكفاءة العملية حيث يتوفر للكتلة الحيوية أو الحمأة المحتوية على بكتيريا المعالجة الوقت الكافي لعملية التمثيل الغذائي الذي يؤدي الى استهلاك المواد العضوية الموجودة في المياه الخام المراد معالجتها .

من المعايير الهامة أيضا في عملية المعالجة بالحمأة النشطة نسبة الغذاء للكائنات الحية F/M وهي نسبة حمل الغذاء أو BOD الذي يدخل النظام في اليوم الى الكتلة الحيوية في حوض التهوية معبرا عنها بكتلة المواد الصلبة العالقة الطيارة للمزيج المتخمر $MLVSS$ ويعبر عنها $kgBOD/kg MLVSS.d$ وهي تساوي $0.07-0.15$ في نظام التهوية المطولة (نتيجة عمر الحمأة الطويل تستهلك المواد العضوية وتتغذى البكتيريا على خلاياها فتتخفف النسبة) وزمن الحجز الهيدروليكي $16-24 h$ ساعة ($0.67 - 1 D$) بينما يساوي $0.25-0.50$ في أنظمة المعالجة التقليدية بالحمأة النشطة (عمر الحمأة قصير ويبقى تركيز المواد العضوية نسبيا مرتفع) ويكون فيها ايضا زمن الاحتجاز الهيدروليكي $6-8 h$ ساعة ؛ وحيث أن للكائنات الحية سماحية أو سعة محددة لاستهلاك المواد العضوية BOD في وحدة الزمن فإن النسبة العالية من F/M توفر كمية أكبر من المواد العضوية تزيد عن قدرة البكتيريا على استهلاكها في وحدة الزمن ومن ثم تخرج هذه الزيادة دون معالجة مع مياه المنتج النهائي ؛ وعلى النقيض اذا كانت نسبة F/M صغيرة معنى ذلك ان نسبة الغذاء أقل من الكمية التي تستطيع البكتيريا باستغلالها والتغذية عليها ومن ثم سوف تستهلك البكتيريا كل المواد العضوية BOD المتوفرة وتتنخفض تركيزاتها في المنتج النهائي لدرجة كبيرة كما ستبدأ البكتيريا باستهلاك

المواد العضوية الموجودة في خلاياها هي نفسها وهذا ما يعرف بعملية تثبيت الحمأة بأحواض التهوية وينتج عن ذلك موت كمية كبيرة منها ؛ لذا يجب التوازن في نسبة F/M .

ترتبط النسبة المنخفضة F/M مع عمر الحمأة الكبير والعكس وسوف نفصل هذه المعايير في بعد قليل وايضا في الجزء الثاني من هذا الكتاب .

باستمرار تدفق المواد العضوية BOD لحوض التهوية يستمر تكاثر البكتيريا بدون حدود وبالتالي يزيد تركيز MLSS بالحوض الى درجة كبيرة يصعب معها انتقال الاكسجين الى كل الخلايا البكتيرية هذا بالاضافة الى ان حوض الترسيب الثانوي سوف يتعرض الى حمل زائد وكبير جدا يؤدي خروج الحمأة من فوق هدار الحوض لعدم قدرة الحمأة على الترسيب وتصبح جودة المياه المنتجة منخفضة .

لكي يتم الحفاظ على ائزان الكتلة في النظام لتقادي ذلك يجب تخريج كمية من الحمأة تعادل كمية الحمأة التي يتم انتاجها يوميا نتيجة التكاثر البكتيري .

في عملية الحمأة النشطة التي يتم فيها معالجة لاهوائية تسبق حوض التهوية كما هو الحال هنا في في المحطة يتم ازالة جزء كبير من المواد العضوية في المرحلة اللاهوائية وبالتالي سوف يقل نمو الكتلة الحيوية في المرحلة الهوائية وسوف تكون عملية المعالجة بسيطة حيث يتم تدوير الحمأة من حوض الترسيب الى المنطقة اللاهوائية مرة أخرى حيث تخضع لعملية

هضم digestion وتثخين thickening ثم تدخل حوض التهوية وتخضع لعمر حمأة طويل حيث يتم تثبيتها (تتغذى البكتيريا على المواد العضوية في خلاياها) وهذا هو السبب في عدم حاجة هذا النظام لهواضم ولا الى أحواض ترسيب ابتدائي كما تكون انتاجية الحمأة لهذا النظام صغيرة بالمقارنة بعمليات الحمأة التقليدية وأيضا سيكون العدد البكتيري في الحمأة أقل)

عمليات الحمأة النشطة التقليدية مثل الخلط الكامل تحتاج الى هواضم لتثبيت الحمأة لتقليل

كمية المواد العضوية القابلة للتكسير الحيوي سواء كانت مواد عضوية أو خلايا بكتيرية لأن زيادة تركيز هذه المواد والخلايا يجعل الحمأة عفنة نتيجة النشاط البكتيري عليها ؛ كما تحتاج الى مخنات للحمأة لتغليظ الحمأة وأحواض ترسيب ابتدائية ؛ كما ان انتاجية الحمأة لهذا النظام كبيرة والعدد البكتيري كبير) .

يكون عدد البكتيريا الممرضة الناتجة في نظام التهوية المطولة المستخدم في المحطة قيد التشغيل وهي محطة ينبع والتي تعمل بنظام التهوية المطولة وتحديدًا نظام الكاروسيل يكون العدد البكتيري أقل من طرق المعالجة التقليدية بالحمأة النشطة ومن ثم سيكون كمية الكلور المستخدم لتعقيم المنتج النهائي أقل ؛ وحيث أن جودة المنتج النهائي عالية ونسبة المواد الصلبة العالقة في المنتج النهائي منخفضة كما سوف نفضل في الجزء الثاني من الكتاب فإنه تم استخدام نظام التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية في هذه المحطة (في المناطق معتدلة الحرارة يتم تصميم المحطات ليكون عمر الحمأة أبر من 10 أيام حتى تحقق نترجة كاملة) .

تبلغ كفاءة ازالة الكربون العضوي BOD في نظام التهوية المطولة %98-93 و COD%90-%90 والمواد الصلبة SS 85-95 والكوليفورم %95-70 وقد تكون المعايير أكبر من ذلك طبقا للمعايير التصميمية ووف نفضل ذلك لاحقا لهذه المحطة

1-16-1 تركيز المواد الصلبة العالقة في حوض التهوية Suspended solids concentration in aeration tank

لتبسيط المعادلات المستخدمة سوف نرزم هنا مؤقتا للمعايير برموز مبسطة ثم سوف نستخدمها بشكلها الطبيعي في أثناء الشرح خصوصا الجزء الثاني .

دعنا نرسم للاكسيجين الحيوي الممتص $BOD = S_0$ للمياه الخام ؛ و $BOD = S$ للمياه المعالجة ؛ و $Q = Q_{inff}$ لتدفق المياه الخام و $Q_r = Q_{RAS}$ لتدفق الحمأة الراجعة و $Q_{WAS} = Q_{ex}$ تدفق الحمأة الزائدة و الخليط المتخمر للمواد الصلبة العالقة الكلية $X = MLSS$ و المواد الصلبة العالقة للمياه الخام $X_0 = SS$ or TSS والخليط المتخمر للمواد الصلبة العالقة الطيارة $MLVSS$ و تركيز المواد الصلبة العالقة للحمأة الراجعة $X_r = MLSS$ Q_{RAS} و حجم حوض التهوية V .

يمكن حساب المواد الصلبة الطيارة VSS في حوض التهوية أو المواد الصلبة العالقة الطيارة في النظام من العلاقة التالية :

$$X_v = \frac{Y(S_0 - S)}{1 + f_b \cdot K_d \cdot \theta_c} \cdot \frac{\theta_c}{t}$$

القيم النموذجية لكل من Y و K_d هي :

$$Y = 0.5 - 0.7 \text{ gm VSS/gm BOD}_5 \text{ removed}$$

$$K_d = 0.06 - 1.0 \text{ gm VSS/gm VSS.d}$$

بإدخال مفهوم f_b من العلاقة

$$f_b = \frac{\theta_c}{1 + (1 - f_b) \cdot K_d \cdot \theta_c}$$

$$X_v = \frac{Y(S_0 - S)}{1 + f_b \cdot K_d \cdot t}$$

لاحظ الفرق بين المعادلتين هو $\frac{\theta_c}{t}$ الذي له تأثير متضاعف على تركيز المواد الصلبة العالقة في حوض التهوية وكما أشرنا سابقاً أي زيادة في X_v في أي تصميم لحوض التهوية سوف

يُناظره نقص في حجم حوض التهوية وتكون القيم النموذجية لتركيز الخليط المتخمر للمواد الصلبة العالقة الطيارة VSS بحوض التهوية في التهوية المطولة 2500-4000 mg VSS/L للتهوية المطولة وتختلف القيم حسب المعايير التصميمية من محطة لأخرى وقد تم تصميم محطة المعالجة بمدينة ينبع على قيمة 4704-5880 mg VSS/L = MLSS (3524 -5880 mg/l) بينما تكون القيمة النموذجية لأنظمة المعالجة التقليدية بالحماة النشطة 1500-35000 mgVSS/L

نسبة VSS/SS ترتبط بعمر الحماة وتتراوح في التهوية المطولة بين 0.60-0.75 وفي نظام المعالجة التقليدية بالحماة النشطة بين 0.70-0.85

حساب حجم حوض التهوية Calculation of aeration tank

باستبدال قيمة $t=V/Q$ في العلاقة التالية يمكن حساب حجم حوض التهوية

$$X_v = \frac{Y(S_0 - S)}{1 + f_b \cdot K_d \cdot t}$$

$$V = \frac{Y \cdot \theta_c \cdot Q \cdot (S_0 - S)}{X_v (1 + f_b \cdot K_d \cdot \theta_c)}$$

يمكن حساب حجم الحوض بشرط معرفة معدل التدفق Q وتركيز الكربون العضوي أو مادة التفاعل أو الاكسيجين الحيوي الممتص (المطلوب) $S_0 = BOD$ للمياه الخام كما يمكن فرض تركيز BOD للمياه المعالجة وأيضا افتراض قيم لكل من Y و K_d وحساب قيمة f_b وقيم مناسبة لعمر الحماة θ_c وتركيز الخليط المتخمر للمواد الصلبة العالقة X_v وهذه العلاقة تستخدم سواء كان نظام المعالجة به اعادة تدوير للحماة أو بدون (اذا كان بدون يكون $t \theta_c =$ وفي هذه الحالة يتم حساب حجم الحوض من العلاقة $V = tQ$)

المعادلة توضح ان حجم حوض التهوية دالة في عمر الحمأة θ_c أو زمن مكث المواد الصلبة SRT أو زمن مكث الخلية في النظام MCRT وليس في زمن الاحتجاز الهيدروليكي

السبب في استخدام عمر الحمأة بدلا من الزمن t هو بفرض ان المياه الخام ذات تدفق كبير جدا وحمل عضوي BOD منخفض جدا فإنها تحتاج نفس حجم حوض التهوية للمياه الخام ذات التدفق المنخفض جدا مع حمل عضوي عالي جدا بشرط ان يكون الحمل العضوي واحد في الحالتين وبمجرد الحصول على نفس الحجم فإن زمن الحجز الهيدروليكي سيكون مختلف لأن التدفقات مختلفة .

لاحظ أيضا انه في المناطق الحارة وشديدة الحرارة يكون تأثير درجة الحرارة على عمر الحمأة وانتاجية المواد الصلبة كبير ويقترب عمر الحمأة في نظام المعالجة بالحمأة النشطة من عمر الحمأة في نظام المعالجة البيولوجية بالحمأة النشطة التلقيدية حيث يقل عمر الحمأة والعكس في المناطق الباردة وشديدة البرودة حيث يكون من الضروري زيادة عمر الحمأة

2-16-1 إزالة مادة التفاعل أو الكربون العضوي (Substrate (S or BOD) removal

طبقا لمعادلة موند يمكن الحصول على معدل النمو البكتيري

$$= \mu_{\max} \cdot \left(\frac{S}{K_s + S} \right) X_v - f_b \cdot K_d \cdot X_v \frac{dX}{dt}$$

بقسمة طرفي المعادلة على X_v وحيث أن $\theta_c = dX_v/dt$ تصبح المعادلة :

$$= \mu_{\max} \cdot \left(\frac{S}{K_s + S} \right) - f_b \cdot K_d \frac{1}{\theta_c}$$

وبإعادة ترتيب المعادلة لجعل S هي قيمة BOD الذائب للمنتج

$$S = \frac{K_s \left[\frac{1}{\theta_c} + f_b \cdot K_d \right]}{\mu_{\max} - \left[\frac{1}{\theta_c} + f_b \cdot K_d \right]}$$

وهذه المعادلة يمكن منها تقدير قيمة تركيز BOD الذائب في المياه المعالجة لحوض تهوية يعمل بالخلط الكامل وحيث أنه في هذه الحالة تكون قيمة S تكون اصغر بكثير من قيمة Ks يمكن فإنه يستعاض في معادلة موند بقيمة S بدلا من Ks+S وتصبح المعادلة أبسط

$$S = \frac{K_s}{\mu_{\max}} \cdot \left(\frac{1}{\theta_c} + K_d \cdot f_b \right)$$

أهمية هذه المعادلة ترجع الى أنه في نظام الخلط الكامل وفي حالة الاستقرار لا يعتمد تركيز BOD للمياه المعالجة على تركيز BOD للمياه الخام وهذا لأن كل من Kd, و fb و μ_{\max} ثابت و بالتالي يعتمد تركيز S على عمر الحمأة θ_c ؛ كلما زاد حمل S للمياه الخام كلما كانت كمية الغذاء المتاحة كبيرة مع الاخذ بالاعتبار ان ذلك خاص فقط بحالة الاستقرار ولكن في الحالة الديناميكية وهي الموجودة عمليا أي زيادة في حمل BOD لا يستلزم زيادة فورية تتبع ذلك في الكتلة الحيوية لأن ذلك يحدث ببطئ وبالتالي حتى نصل لحالة جديدة من الاتزان سوف تتأثر جودة المياه المعالجة .

يمكن ان يصل تركيز S لاصغر قيمة لها عندما يكون عمر الحمأة لانها في وبالتالي في هذه الظروف قيمة $\frac{1}{\theta_c}$ تساوي صفر

$$S_{\min} = \frac{K_s \cdot K_d \cdot f_b}{\mu_{\max} - K_d \cdot f_b}$$

في أنظمة معالجة مياه الصرف الصحي المنزلي تكون قيمة S للمياه المعالجة صغيرة جدا بالمقارنة مع S0 بصفة عامة ما عدا الانظمة التي يكون فيها عمر الحمأة أقل من 4 أيام

Soluble and total BOD in the effluent الأكسجين الحيوي المطلوب الذائب والكلي في المياه المعالجة

عند تصميم حوض التهوية تكون كل الحسابات الخاصة بتقدير قيمة BOD يتم افتراض أن S هي قيمة BOD الذائب هذا الأكسجين الذائب يمكن اعتباره تركيز الأكسجين الحيوي الكلي المطلوب في حالة واحدة فقط وهي افتراض أن حوض الترسيب النهائي قادر على إزالة 100% من المواد الصلبة العالقة ؛ وحيث أن تركيز المواد الصلبة العالقة التي تصل لحوض الترسيب تكون في حدود 3000-6000 ملجم/ل فإنه من المستحيل إزالة 100% منها وسيبقى جزء منها يحتوي على مواد عضوية وعند وصوله الى مجاري المياه من الانهار أو البحار أو غيرها التي يتم تفريغ المياه المعالجة فيها سيحتاج الى أكسجين حيوي مطلوب وهو ما يعرف بالأكسجين الحيوي المعلق المطلوب suspended BOD أو الأكسجين الحيوي للحبيبات particulate BOD المطلوب

$$\text{Total effluent BOD5} = \text{soluble effl. BOD5} + \text{particulate eff. BOD5}$$

يتم تعيين قيمة الأكسجين الحيوي المطلوب الذائب من المعادلة

$$S = \frac{Ks}{\mu_{\max}} \cdot \left(\frac{1}{\theta c} + Kd \cdot fb \right)$$

كما يمكن تعيين قيمة الأكسجين الحيوي العالق أو للحبيبات عن طريق تعيين fb ومن ثم تحديد الجزء العضوي من المواد الصلبة في المياه المعالجة VSS وهو الذي يمثل BOD وبمجرد معرفته يمكن تقديره حساب الأكسجين اللازم لتثبيته من العلاقة التالية





وطبقا لهذه العلاقة فإن 113 جم من المواد الصلبة العالقة القابلة للتكسير تحتاج 160 جم من الاكسيجين وبالتالي :

$$\frac{160}{113} = 1.42 \text{ gm } O_2/\text{gm biodegradable solids} \frac{O_2}{Xb}$$

الاكسيجين الحيوي النهائي المطلوب BODu يحتاج هذه الكمية من الاكسيجين

$$BODu (Xb) = 1.42 \text{ mg BODu/mg}(Xb)$$

في مياه الصرف الصحي النموذجية العلاقة بين BODu و BOD5 تقريبا ثابتة والنسبة بينهم BODu/BOD5= 1.46 ؛ واذا عكسنا النسبة تكون 0.68 BOD5/BODU= أي أنه بعد خمسة أيام في اختبار BOD5 سوف يستهلك 68% فقط من المواد العضوية الموجودة في العينة أو بمعنى آخر تم استهلاك 68% من الاكسيجين في نهاية اليوم الخامس وبالتالي

$$BOD \text{ of SS biodegradable} = 68 \text{ mg BOD5/BODU} \times 1.42 \text{ mg BODu/mg}(Xb)$$

أي أن :

$$BOD \text{ of SS biodegradable} = 1 \text{ mg BOD5/mg}(Xb)$$

وللتعبير عن الاكسيجين المطلوب في صورة مواد صلبة عالقة طيارة VSS

$$BOD \text{ of VSS} = 1 \text{ mg BOD5/mg} (Xb) \times f_b(\text{mg } Xb/\text{mg VSS})$$

$$BOD \text{ of VSS} = f_b(\text{mg BOD5/mg VSS})$$

ولجعل هذه المعادلة أكثر مرونة وعملية يتم التعبير عن المواد الصلبة للمياه المعالجة ليس كمواد صلبة عالقة طيارة ولكن كمواد صلبة عالقة كلية وذلك لأنه في عملية التحكم الروتيني في التشغيل وفي تعيين كفاءة نظام المعالجة يكون الاجراء المعتاد هو قياس كفاءة حوض الترسيب النهائي من خلال تركيز المواد الصلبة العالقة الكلية وكما ذكرنا سابقا تكون نسبة VSS/TSS في الخلط الكامل 0.70-0.85 والتهوية المطولة 0.60-0.75 ويكون الاكسجين الحيوي المطلوب BOD5 للمواد الصلبة العالقة الكلية :

$$\text{BOD5 eff. SS (mg BOD5/mg SS)} = \frac{VSS}{TSS} \cdot fb$$

ومن هذه العلاقة والعلاقات السابقة يمكن استنتاج قيمة BOD5 للمواد الصلبة العالقة أو للحبيبات ويكون :

في عمليات المعالجة التقليدية بالحماة النشطة 0.45-0.65 mg BOD5/mg TSS

في التهوية المطولة 0.25-0.50 mg BOD5/mg TSS

والتجارب العملية على نظام التهوية المطولة أثبتت قيم قريبة من الحد الأدنى للقيم الحسابية السابقة وهي :

في التهوية المطولة 0.21-0.24 mg BOD5/mg TSS

في حسابات حجم حوض التهوية وازالة BOD يأخذ في الاعتبار تركيز BOD للمياه المعالجة S وتركيز الاكسجين الحيوي للحبيبات للمياه الخام S0 وهذا بسبب أن المواد الصلبة العالقة العضوية المسئولة الاكسجين الحيوي للحبيبات للمياه الخام S0 يتم امتصاصها في ندف الحماة ومع الوقت يتم تحويلها الى مواد أبسط حيث تتحول الى مواد عضوية ذائبة ويتم ازلتها

بنفس ميكانيكية ازالة BOD الذائب وبالتالي فإن الاكسيجين الحيوي للحبيبات للمياه الخام سوف يتولد منه نمو بكتيري واحتياج للاكسيجين لكن في وقت متأخر عن الاكسيجين الحيوي الذائب وهذا هو السبب في اعتبار أن S0 هو BOS الكلي للمياه الخام الداخلة للنظام (يجب التذكر أنه في عمليات الحمأة النشطة التقليدية التي تستلزم أحواض ترسيب ابتدائي يتم التخلص من نسبة 25% - 35% من BOD5 أي أنه يكون تركيز S0 الذي يصل لحوض التهوية 65%-75%)

1-16-3 هضم الحمأة في حوض التهوية Sludge digestion in the aeration tank

في نظام المعالجة بطريقة التهوية المطولة للمحطة الحالية في محافظة ينبع (نظام الكاروسيل) يكون وظيفة حوض التهوية ليس فقط ازالة المواد الكربونية والنيتروجينية بل أيضا هضم الحمأة نظرا لطول عمر الحمأة لذلك لا يلزم انشاء هواضم لهذا النوع من المحطات ويكون الهضم جزئي أو كامل طبقا لعمر الحمأة فكلما كان عمر الحمأة طويل كلما كان الهضم أكبر ؛ نظريا فإن عمر الحمأة الذي يؤدي الى الهضم الكامل أو التكسير الكامل للمواد العضوية القابلة للتكسير يمكن تعيينه كالتالي :

الانتاجية للمواد الصلبة العالقة الطيارة هي

$$P_{xv \text{ gross}} = Y_{obs} \cdot Q \cdot (S_0 - S)$$

و الانتاجية للمواد الصلبة العالقة الطيارة القابلة للتكسير

$$P_{xv \text{ gross}} = f_b \cdot Y_{obs} \cdot Q \cdot (S_0 - S)$$

والمواد الصلبة القابلة للتكسير والتي تم تكسيرها

$$P_{xb \text{ destroyed}} = P_{xb \text{ gross}} \frac{Kd \cdot \theta c}{1 + fb \cdot Kd \cdot \theta c}$$

ولتحقيق تكسير كامل للمواد الصلبة القابلة للتكسير يجب ان تكون انتاجية المواد الصلبة مساوية لتكسيرها

$$Xb \text{ production} = Xb \text{ destruction}$$

$$fb \cdot Y_{obs} \cdot Q \cdot (S_0 - S) = P_{xb \text{ gross}} \frac{Kd \cdot \theta c}{1 + fb \cdot Kd \cdot \theta c}$$

$$= \frac{1}{Kd \cdot (1 - fb)} \theta c$$

وحيث أن fb دالة في θc

$$fb = f/b / 1 + [(1 - f/b) Kd \cdot \theta c]$$

$$= \frac{1}{Kd \sqrt{1 - f/b}} \theta c$$

وبالتعويض عن قيمة $f/b=0.80$

$$= \frac{2.24}{Kd} \theta c$$

وهذه المعادلة تعطي نظريا عمر الحمأة اللازم لتكسير كل المواد الصلبة العضوية التي تتولد في النظام وبالتالي الوصول الى هضم كامل في حوض التهوية ويبقى الجزء الخامل فقط)

المواد الغير عضوية والمواد العضوية الغير قابلة للتكسير) في المواد الصلبة العالقة الكلية وبالتالي ليست هناك حاجة لوجود هواضم في هذه الظروف ؛ سوف تستمر أكسدة المواد الصلبة العضوية الكربونية في المياه الخام لأن المواد الصلبة النشطة تتواجد بتركيز أعلى من المواد الصلبة القابلة للتكسير الحيوي ؛ وطبقا لقيمة Kd يمكن حساب عمر الحمأة اللازم للهضم الكامل من المعادلة السابقة وكما هو متوقع كلما زاد معمل الانحلال او التحلل البكتيري كلما قل عمر الحمأة اللازم لحدوث هضم كامل وتثبيت المواد الصلبة القابلة للتكسير وللتفصيل الأكثر يمكن استخدام معدل استهلاك المادة U من العلاقة

$$U = \frac{Kd}{Y}$$

إذا كان عمر الحمأة تحت القيمة المحددة يكون الهضم غير كامل وفوق القيمة يكون الهضم كامل .

عند عمر ما للحمأة يمكن حساب نسبة إزالة المئوية للمواد الصلبة القابلة للتكسير % destruction SSb من العلاقة

$$\% \text{ destruction SSb} = \frac{Kd \cdot \theta_c}{1 + fb \cdot Kd \cdot \theta_c} \times 100$$

و حساب نسبة إزالة المئوية للمواد الصلبة الطيارة % destruction VSS من العلاقة

$$\% \text{ destruction VSS} = \frac{fb \cdot Kd \cdot \theta_c}{1 + fb \cdot Kd \cdot \theta_c} \times 100$$

يستخدم مفهوم نسبة المواد الصلبة الطيارة destruction VSS % للتعبير عن كفاءة هضم الحمأة ؛ الكفاءة النموذجية لتخفيض نسبة المواد الصلبة الطيارة لعملية الهضم اللاهوائية للحمأة تتراوح بين 45%-60% والهوائية 40%-50%

الجدولين التاليين يوضحان القيم المحسوبة لنسبة ازالة كل من destruction SSb % و %

VSS destruction عند قيم مختلفة θ_c و K_d



% destruction SSb				
θ_c (day)	$K_d=0.05 \text{ d}^{-1}$	$K_d=0.07 \text{ d}^{-1}$	$K_d=0.09 \text{ d}^{-1}$	$K_d=0.11 \text{ d}^{-1}$
4	17	23	28	33
8	31	40	48	55
12	42	53	63	72
16	52	65	76	86
20	60	75	87	99
24	68	84	98	-

28	75	92	-	-
32	81	100	-	-

% destruction VSS				
θ_c (day)	Kd=0.05 d ⁻¹	Kd=0.07 d ⁻¹	Kd=0.09 d ⁻¹	Kd=0.11 d ⁻¹
4	13	18	21	24
8	23	29	33	37
12	30	37	42	46
16	36	42	47	51
20	40	47	51	55
24	44	50	55	-
28	47	53	-	-
32	49	55	-	-

17-1 إعادة تدوير الحمأة النشطة

Recirculation of activated sludge

للحصول على تركيز عالي من المواد الصلبة في حوض التهوية وللحصول أيضا على عمر حمأة أعلى من زمن الاحتجاز الهيدروليكي HDT or HRT بمعنى ($t_{\theta c} >$) يتم تدوير الحمأة بعد الترسيب في حوض الترسيب الى حوض التهوية باستخدام مضخات الحمأة الراجعة كما سوف نشرح بالتفصيل في الجزء الثاني وتعتمد كمية الحمأة التي يتم رجوعها واعادة تدويرها على جودة الحمأة المترسبة في حوض الترسيب فكلما كانت الحمأة أكثر تركيز كلما قل التدفق

اللازم لتحقيق التركيز المطلوب للخليط المتخمر MLSS في حوض التهوية بمعنى آخر الترسيب والتغليظ الجيد للحمأة في حوض الترسيب النهائي ينتج عنه تركيز عالي للمواد الصلبة العالقة SS مما يقلل تدفق إعادة التدوير ؛ الا أن هذا الامر معقد أيضا حيث يكون التدفق عند قاع حوض الترسيب (والذي يساوي عادة تدفق الحمأة الراجعة $Q_w + Q_r$) يؤثر هو نفسه في تركيز الحمأة المترسبة في قاع الحوض ؛ تعرف نسبة الحمأة الراجعة R بأنها :

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

ويكون اتزان الكتلة في حالة الاستقرار للخط الكامل :

التراكم = الداخل - الخارج + الناتج - المستهلك

لا يوجد تراكم في حالة الاستقرار ويكون التراكم = صفر

والناتج = المستهلك في حالة اذا كان النمو البكتيري مساويا للحمأة الزائدة في حالة الاستقرار

والداخل = حمل المواد الصلبة SS للمياه الخام + حمل المواد الصلبة للحمأة الراجعة

والخارج = حمل المزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة الكلية بحوض التهوية MLSS

حمل المواد الصلبة للمياه الخام $SS = Q \cdot X_0$ أقل بكثير بالمقارنة مع حمل الحمأة الراجعة (

$Q_r \cdot X_r$) وبالتالي يتم اهمال حمل المواد الصلبة للمياه الخام وبالتالي اتزان الكتلة في حوض

التهوية

Input = output

$$Q_r \cdot X_r = (Q + Q_r) \cdot X$$

وبترتيب المعادلة :

$$R = \frac{Q_r}{Q} = \frac{X - X_r}{X}$$

هذه المعادلة تقتض أنه لا يوجد انتاج للكتلة الحيوية ولا استهلاك أيضا في حوض الترسيب وكمية المواد الصلبة التي تخرج منه مع المياه الراكدة ضئيلة جدا أي أن $Q_r = Q_u$ (أي أن تدفق الحمأة الزائدة Q_{ex} ضئيلة بالنسبة للراجعة Q_r)

$$X_r = X \cdot \frac{R+1}{R}$$

ويكون اتران الكتلة لحوض الترسيب الثانوي :

$$Q_r \cdot X_r = (Q + Q_r) \cdot X$$

تركيز المواد الصلبة للمواد الصلبة في الحمأة الراجعة RASS يعتمد على خواص الترسيب والتغليظ لحوض الترسيب وتكون القيمة النموذجية لها بين $8000 \text{ mg/l} - 12000 \text{ mg/l}$ ؛ الا ان تركيزها يختلف على مدار اليوم بسبب اختلاف معدل التدفق الوارد للحوض نتيجة اختلاف تدفق المياه الخام على مدار اليوم أيضا .

العوامل التي تؤثر على جودة الحمأة متعلقة بعدة معايير تصميمية وتشغيلية

* عمر الحمأة الصغير جدا يؤدي الى نمو بكتيري مشنت بدلا من تكوينه ندف

* عمر الحمأة الكبير جدا يؤدي الى تكوين ندف بها نسبة معادن كبيرة مع سعة تندف ضعيفة

* انخفاض نسبة الاكسيجين الذائب بحوض التهوية يؤدي الى تكاثر الخيطيات التي لها مساحة

سطح كبيرة بالنسبة لوحدة الحجموم تعوق ترسيب الندف وتؤدي الى تكتل الحمأة

*أحواض التهوية المصممة بطريقة التدفق الدفق تنتج حمأة بمواصفات ترسيب أفضل بسبب أن بكتريا تكوين الندف تكون سائدة على البكتيريا الخيطية عن الخلط الكامل

الحفاظ على عمر الحمأة ضمن الحدود التصميمية للمحطة مع وجود تهوية كافية وبعض مكونات مياه الصرف الخام الداخلة للمحطة في الحدود المرغوب فيها أو الحدود التصميمية فإنه سيكون من السهل تكوين ندف مناسبة من الحملة ذات جودة ترسيب جيدة ونتيجة لذلك يمكن خفض نسبة التدوير (خفض معدل رجوع الحمأة الراجعة) ؛ يتم التعبير عن خواص الترسيب عن طريق معايير مثل مؤشر حجم الحمأة SVI sludge volume index وسرعة الترسيب عند سطح التلامس بين غطاء الحمأة والمياه المروقة .

نسبة التدوير (معدل رجوع الحمأة الراجعة) يكون في حدود 0.5 في الاجواء المعتدلة والتي يكون فيها تماسك ندف الحمأة جيد في حوض الترسيب بينما في المناطق الحارة يكون معدل رجوع الحمأة أعلى والسبب في ذلك أنه مع زيادة درجة الحرارة يكون من السهل حدوث عمليات النترتة أو النترجة في حوض التهوية واحتمالية حدوث نزع نترتة يكون كبير اذا زاد سمك غطاء الحمأة بحوض الترسيب مما يتيح للبكتيريا بيئة لاهوائية مناسبة لحدوث عملية نزع النترتة وينتج غاز النيتروجين ذو كثافة أقل من الماء والذي يتخلل الندف حاملا هذه الندف الى سطح الحوض هو ما يعرف بظاهرة الحمأة الصاعدة rising sludge مما يزيد نسبة المواد الصلبة العالقة في المياه المعالجة ثانويا SS وكذلك يزيد تركيز BOD للحبيبات ويقلل جودتها ولتقليل هذا التأثير يجب زيادة معدل رجوع الحمأة لتقليل فرصة حدوث نزع النترتة ؛ لكن بسبب زيادة معدل رجوع الحمأة سنجد أن الحمأة الراجعة سوف تكون أقل عرضة للتغليظ أو التخثين في حوض الترسيب وسيكون تركيز المواد الصلبة الحمأة الراجعة للتدفق السفلي Qu منخفض .

القيم النموذجية المتعمدة والمناسبة لعملية التشغيل الروتيني للمحطات في الأجواء الحارة كما

هنا في محطة ينبع التي سوف نقدمها بالتفصيل في الجزء الثاني من هذا الكتاب $R =$

$QRAS = 0.70-1.20$ وبالتالي نتوقع أن عند التصميم سيكون معدل الرجوع الذي يجب

تصميم مضخات الحمأة الراجعة علىية يصل الى 1.5 وذلك في الحالات التي نحتاج في رفع

Qr يمكن زيادة سعة المحطة من خلال زيادة سعة تدوير الحمأة الراجعة بدلا من زيادة حجم

حوض التهوية وهذا حقيقي خصوصا اذا كانت نسبة المواد الصلبة العالقة الطيارة VSS

منخفض في حوض التهوية .

من خلال زيادة قيمة R ونقص معدل تدفق الحمأة الزائدة أو كليهما معا يحدث زيادة في تركيز

VSS بشرط توفير تهوية كافية للزيادة المطردة لتنفس الكتلة الحيوية ؛ والقيمة الجديدة من R

لا يمكن تعيينها من العلاقة

$$R = \frac{Qr}{Q} = \frac{X - Xr}{X}$$

باستخدام القيمة الجديدة وذلك يرجع الى حقيقة وهي أن زيادة معدل R يمكن أن يؤدي الى

نقص تركيز Xr .

اتضح تماما لنا أن إعادة تدوير الحمأة يؤثر فقط على عمر الحمأة بينما يظل زمن الاحتجاز

الهيدروليكي غير متأثر بها ويبقى اتران الكتلة للسائل ثابت (الداخل = الخارج) على عكس

الحمأة التي يتم حجزها في النظام .

في الانظمة التي يكون فيها معدل رجوع الحمأة ($Q=Qr$) $R=1$ يكون كل جزئ من المياه له

في المتوسط احتمالية المرور مرتين من خلال حوض التهوية (مرة في مروره مع المياه الخام

والمرة الثانية مع اعادة التدوير) .

لأن معدل التدفق تضاعف ($Q+Q_r=2Q$) فإن زمن الحجز في كل مرور يتناقص الى النصف $t/2$ ؛ الا انه مع الاتزان الكلي والمرور مرتين يكون سيكون زمن الحجز الكلي هو نفسه t ومن ثم لا يعتمد على نسبة تدوير الحمأة .

موضوع آخر يجب أن يكون واضحا وهو التداخل بين معدل تدفق الحمأة الراجعة Q_r ومعدل تدفق الحمأة الزائدة Q_{ex} وعمر الحمأة θ_c ؛ كل من معدل تدفق الحمأة الراجعة Q_r ومعدل تدفق الحمأة الزائدة Q_{ex} مرتبطين ببعضهما البعض لأنهما معا يكونان التدفق السفلي لحوض الترسيب Q_u وبالتالي :

$$Q_u = Q_r + Q_{ex}$$

وبغض النظر كيف يتم التخلص من الحمأة الزائدة (سواء من حوض التهوية أو من حوض الترسيب) سيكون معدل تدوير الحمأة

$$Q_r = Q_u - Q_{ex}$$

ويحدث حالتين هما :

*تدفق سفلي ثابت Q_u underflow : وفي هذه الحالة زيادة تدفق Q_r سوف يتبعه أوتوماتيكيا نقص في تدفق الحمأة الزائدة Q_{ex} كما يتضح من المعادلة السابقة ؛ عندما ينخفض معدل الحمأة الزائدة سوف يزيد عمر الحمأة في النظام سيقبل مقام العلاقة التي تعبر عن عمر الحمأة

$$\theta_c = \frac{\text{mass of solids in the system}}{\text{mass of solids produced per unit time}}$$

*زيادة التدفق السفلي Q_U ؛ بزيادة Q_r والمحافظة على Q_{ex} ثابت سيزيد التدفق السفلي Q_U بينما تظل كتلة المواد الصلبة في النظام ثابتة حيث أن Q_{ex} ثابت ؛ ويوجد فقط زيادة كبيرة في نقل المواد الصلبة من حوض الترسيب الى حوض التهوية بسبب زيادة Q_r ومن ثم تزيد كتلة المواد الصلبة في حوض التهوية بينما تبقى الكتلة في النظام عموما (حوض التهوية +حوض الترسيب) ثابتة لا تتغير ؛ اذا تم حساب عمر الحمأة بصيغة كتلة الحمأة الموجودة في حوض التهوية سوف يكون هناك زيادة ظاهرية في عمر الحمأة (زيادة في بسط المعادلة السابقة) ؛ ومن ناحية أخرى اذا تم حساب عمر الحمأة بصيغة كتلة المواد الصلبة للنظام (حوض التهوية + حوض الترسيب) سوف لا يحدث له أي تغيير (لن يتأثر بسط ومقام المعادلة السابقة).

يمكن فهم دور كل من معدل الحمل الزائدة والحمأة الراجعة في نقطتين

*يؤثر معدل تدفق الحمأة الراجعة في ائزان المواد الصلبة بين حوض التهوية وحوض الترسيب الثانوي

*يؤثر معدل تدفق الحمأة الزائدة على الكتلة الكلية للمواد الصلبة في النظام كله (حوض التهوية وحوض الترسيب الثانوي)

يجب ان نفهم ان عملية تصميم وتشغيل نظام يعمل بالحمأة النشطة يجب أن يكون لدينا نظرة شاملة لحوض التهوية وحوض الترسيب وما يحدث بهما حيث تعتمد المرحلة البيولوجية بصورة قوية على مرحلة ازالة المواد الصلبة-السائل ولذلك يجب فهم ظاهرة الترسيب والتخين أو التخليط جيدا في حوض الترسيب .

1-18 انتاجية الحمأة وازالة الحمأة الزائدة

Production and removal of excess sludge

1-18-1 إنتاجية الحمأة sludge production

1-1-18-1 إنتاجية المواد الصلبة البيولوجية production of biological solids

كما ذكرنا أنفا يجب إزالة كمية المواد الصلبة العالقة الطيارة VSS يكافئ التكاثر الحاصل للخلايا البكتيرية التي تتغذى على الكربون العضوي أو مادة التفاعل $S=BOD$ يوميا من النظام للحفاظ على ائزان الكتلة ؛ جزء صغير من هذه الحمأة يخرج من النظام مع المياه الرائقة من حوض الترسيب .

الإنتاجية الصافية للمواد الصلبة البيولوجية P_{Xv} (معبرا عنها VSS) كما شرحنا سابقا يمكن حسابها بطريقة ثانية من معادلات الإنتاجية الصافي ومعادلة حجم حوض التهوية :

$$P_{Xv \text{ net}} = \text{gross production of } X_v - \text{destruction of } X_b$$

$$P_{Xv} = Y \cdot Q \cdot (S_0 - S) - K_d \cdot f_b \cdot X_v \cdot V$$

ونفس القيمة يمكن الحصول عليها باستخدام مفهوم معامل الإنتاجية الملاحظة Y_{obs}

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + K_d \cdot f_b \cdot \theta_C}$$

$$P_{Xv} = Y_{obs} \cdot Q \cdot (S_0 - S)$$

وللحصول على إنتاجية المواد الصلبة البيولوجية P_{Xv} في صورة (P_x) TSS يجب قسمتها على نسبة VSS/TSS والتي أوضحناها سابقا

2-1-18-1 إنتاجية الحمأة الزائدة production of excess sludge

تتضمن الحمأة الزائدة أيضا المواد الصلبة الموجودة في المياه الخام (المواد الصلبة الغير عضوية والمواد الصلبة الغير قابلة للتكسير البيولوجي).

محطات معالجة مياه الصرف الصحي المنزلي والتي تحتوي على المواد الصلبة العالقة والتي تشمل حوض ترسيب ابتدائي ومصممة لعمر حمأة 6 أيام من المتوقع ان تكون نسبة $VSS/TSS=0.76$ و انتاجية الحمأة $0.75-0.95 \text{ kg SS/kgBOD5}$ كيلو جرام من المواد الصلبة العالقة لكل كجم من الاكسيجن الحيوي المطلوب يتم ازالته (حسب قيم Y و Kd) بالنسبة لنظام التهوية المطولة التي تحتوي على مواد صلبة في المياه الخام وليس بها احواض ترسيب ابتدائي ومصممة على عمر حمأة 26 يوم يتوقع ان تكون نسبة $VSS/TSS=0.68$ و انتاجية الحمأة $0.88-0.1.0 \text{ kg SS/kgBOD5}$ كيلو جرام من المواد الصلبة العالقة لكل كجم من الاكسيجن الحيوي المطلوب يتم ازالته (في تصميمات المعالجة بالحمأة النشطة التقليدية يتم أخذ الحمأة الابتدائية في الاعتبار).

وطبقا للدراسات والتجارب التي أجريت في ألمانيا على نظام الحمأة النشطة التقليدية والذي يكون فيه نسبة $SS/BOD5=0.70$ والذي يحتوي على حوض ترسيب ابتدائي يكون انتاجية الحمأة $0.82-0.92 \text{ kg SS/kgBOD5}$ (لعمر حمأة 4-10 أيام على التوالي) وبالنسبة للتهوية المطولة والتي لا تحتوي على حوض ترسيب ابتدائي والتي تكون المياه الخام فيه $SS/BOD5=1.20$ ابتدائي يكون انتاجية الحمأة 1.0 kg SS/kgBOD5 (لعمر حمأة 25 يوم)

3-1-18-1 إزالة الحمأة الزائدة removal of excess sludge

يوجد طريقتين لحسابات ازالة الحمأة الزائدة هما الاخذ في الاعتبار المواد الصلبة للمياه الخام والثانية عدم اعتبارها

1-الأخذ في الاعتبار المواد الصلبة للمياه الخام :يتم التخلص من الحمأة الزائدة اما من حوض التهوية أو من خط الحمأة الراجعة والأخير هو المفضل نظرا لتركيز الحمأة وسهولة تخريجها ؛ بإهمال المواد الصلبة في المياه الخام (وهذا الامر غير محبب في عمليات معالجة مياه الصرف المنزلي) فيمكن تقدير تركيز ومعدل تدفق الحمأة الزائدة كالتالي :

*إذا تم السحب مباشرة من حوض التهوية يسمى هذا الاجراء التحكم الهيدروليكي في النظام وتركيز الحمأة الزائدة في هذه الحالة هو نفس تركيز المواد الصلبة العالقة SS في الخليط المتخمر للمواد الصلبة العالقة الكلية MLSS وإذا اردنا الحفاظ على عمر حمأة ثابت يكون معدل تدفق الحمأة الزائدة هو :

$$Q_{ex}/ = \frac{V}{\theta C}$$

$$SS \text{ conc.} = MLSS = X$$

حيث $Q_{ex}/$ هو معدل تدفق الحمأة الزائدة من حوض التهوية م³/يوم و V حجم حوض التهوية م³ و θC عمر الحمأة و $MLSS = X$ تركيز المواد الصلبة في حوض التهوية

*سحب الحمأة الزائدة من خط الحمأة الراجعة : ويكون تركيز الحمأة الزائدة هو نفسه تركيز

المواد الصلبة SS في الحمأة الراجعة RASS

$$Q_{ex} // = \frac{V}{\theta C} \cdot \frac{X}{X_r}$$

$$SS \text{ conc.} = RASS = X_r$$

حيث Q_{ex} هو معدل تدفق الحمأة الزائدة من خط الحمأة الراجعة م³/يوم و V حجم حوض التهوية م³ و C_0 عمر الحمأة و $R_{ASS}=Xr$ تركيز المواد الصلبة في الحمأة الراجعة.

ازالة الحمأة الزائدة من حوض التهوية يحتاج تدفق للحمأة الزائدة Q_{ex} أكبر من خط رجوع الحمأة حيث أن تركيز المواد الصلبة في الحمأة الراجعة يكون على الأقل ضعف تركيزها في الخليط المتخمر لحوض التهوية ولكن سيكون حمل المواد الصلبة فيهما متساوي .

طريقة التخلص من الحمأة الزائدة من حوض التهوية (التحكم الهيدروليكي) أسهل حيث انها لا تحتاج لحساب تركيز المواد الصلبة في حوض التهوية ولا خط الحمأة الراجعة فمثلا اذا أردنا الحفاظ على عمر حمأة ثابت 20 يوم فإننا ببساطة نيل $1/20$ من حجم حوض التهوية

2-الأخذ في الاعتبار المواد الصلبة الداخلة مع المياه الخام : في هذه الحالة تتم الحسابات

طبقا لإنتاجية الحمأة الزائدة الكلية P_x

*سحب الحمأة الزائدة مباشرة من حوض التهوية

$$Q_{ex} = \frac{P_x \times 1000}{X}$$

$$SS \text{ conc.} = MLSS = X$$

حيث P_x انتاجية الحمأة الزائدة كجم مواد صلبة عالقة SS/يوم

*سحب الحمأة الزائدة من خط رجوع الحمأة

$$Q_{ex} = \frac{P_x \times 1000}{X_r}$$

$$SS \text{ conc.} = RASS = Xr$$

عند تقدير حمل الحمأة الزائد المطلوب ازالته لا يتم حساب حمل المواد الصلبة في المياه المروقة لحوض الترسيب النهائي لصغر حجمها مقارنة بانتاجية الحمأة .



19-1 الاكسيجين المطلوب

Oxygen requirements

في أنظمة المعالجة الهوائية يكون دور الاكسيجين كالتالي :

*أكسدة المواد العضوية الكربونية (وذلك بهدف الحصول على الطاقة للتخليق البكتيري والتنفس الذاتي (الداخلي) للخلايا البكتيرية) ؛ وأكسدة المركبات النيتروجينية (النترجة أو

النترة) وفي الانظمة التي يتم ازالة النيتروجين فيه (نزع النترة) يتم توفير الاكسيجن لأن العملية ينتج منها أكسيجن .

توجد طريقتين لحساب الاكسيجن الازم لأكسدة المواد العضوية الكربونية وكلاهما يعطي نفس النتائج ويرتبط ببعضهما البعض

1-الأولى مبنية على المواد الكربونية المطلوبة أو الاحتياج الكربوني الكلي carbonaceous demand وازالة الحمأة الزائدة

2-الثانية مبنية على الاكسيجن المطلوب oxygen demand للتخليق و التنفس الذاتي

الأكسيجن المطلوب للنترة مبني على المعادلة الكيميائية التي يتم فيها أكسدة الامونيا ويجب أخذه في الاعتبار حتى في المحطات التي تصمم فقط لازالة الكربون في المناطق الحارة حيث تتم عملية النترة بطريقة اتوماتيكية ونظامية نتيجة ارتفاع درجة الحرارة والتي تزيد من النشاط البكتيري وتسرع من تكاثر بكتيريا النترة .

1-19-1 الاكسيجن المطلوب للمواد الكربونية carbonaceous oxygen demand

1-الأولى مبنية على المواد الكربونية المطلوبة أو الاحتياج الكربوني الكلي carbonaceous demand وازالة الحمأة الزائدة

الاكسيجن المطلوب للمواد الكربونية يجب أن يساوي الاكسيجن الحيوي المطلوب النهائي BODu الذي يتم ازالته من النظام وهو يناظر الاكسيجن الكلي المطلوب لأكسدة مادة التفاعل

S والتنفس الذاتي للكتلة الحيوية وهو أيضا بطريقة أخرى يساوي BOD5 مضروبا في عامل التحويل بالنسبة لمياه الصرف الصحي المنزلي والذي يتراوح بين 1.20 - 1.60 والقيمة المعتمدة دائما لمياه الصرف الصحي المنزلي $BOD_u/BOD_5=1.46$ ؛ وبالتالي يمكننا حساب كتلة الاكسيجين التي يحتاج لها النظام في اليوم عن طريق تعيينها كدالة في حمل BOD5

$$OUR \text{ kg/d} = \frac{1.46 Q \cdot (S_0 - S)}{1000}$$

حيث OUR معدل استغلال الاكسيجين أو الاكسيجين المطلوب kgO₂/d و Q متوسط معدل التدفق اليومي للمياه الخام م³/يوم و S₀ تركيز الاكسيجين الحيوي المطلوب BOD₅) الاكسيجين الحيوي الكلي total BOD للمياه الخام و S الاكسيجين الحيوي المطلوب للمياه المعالجة جم/م³

وحيث أنه يتم تحويل جزء من الكربون العضوي الداخل الى خلايا حية فيجب التخلص من كتلة مناظره له من هذه الخلايا ولهذا السبب فإن الجزء المناظر للاكسيجين المستهلك بواسطة هذه الخلايا والتي لا تكتمل في داخل النظام يجب خصمة من معدل استهلاك الاكسيجين ؛ وحيث أنه 1 جم من الخلايا يستهلك 1.42 جم من الاكسيجين لعملية التثبيت فإننا يمكننا توسيع المعادلة السابقة لتصبح كالتالي :

$$OUR(\text{ kg/d}) = \text{removed BOD}_u \text{ kg/d} - [1.42 \times (\text{solids produced}) \text{ kg/d}]$$

كتلة المواد الصلبة العالقة الطيارة التي تنتج في اليوم P_{xv}

$$P_{xv} = Y \cdot Q \cdot (S_0 - S) - K_d \cdot f_b \cdot X_v \cdot V$$

وبالتالي الاكسيجين المستهلك لتثبيت المواد الكربونية العضوية هو :

$$\text{OUR (kg/d)} = 1.46 Q.(S_0 - S) - 1.42 P_{xv}$$

ومن المعادلة :

$$Y_{\text{obs}} = \frac{Y}{1 + K_d \cdot f_b \cdot \theta C}$$

باستبدال P_{xv} بالجانب الايمن من المعادلة السابقة

$$\text{OUR (kg/d)} = 1.46 Q.(S_0 - S) - 1.42 \frac{Y}{1 + K_d \cdot f_b \cdot \theta C}$$

$$\text{OUR (kg/d)} = Q.(S_0 - S) \left[1.46 - \frac{1.42Y}{1 + K_d \cdot f_b \cdot \theta C} \right]$$

2- الثانية مبنية على الاكسيجين المطلوب oxygen demand للتخليق و التنفس الذاتي

الاكسيجين المطلوب لأكسدة المواد العضوية الكربونية يمكن تقسيمه لجزئين

*أكسيجين مطلوب للتخليق

*أكسيجين مطلوب للتنفس

باستبدال الشق الأيمن للمعادلة :

$$\text{OUR (kg/d)} = 1.46 Q.(S_0 - S) - 1.42 P_{xv}$$

بقيمة P_{xv} من المعادلة

$$P_{xv} = Y \cdot Q.(S_0 - S) - K_d \cdot f_b \cdot X_v \cdot V$$

نحصل على المعادلة

$$\text{OUR (kg/d)} = 1.46 Q.(S_0 - S) - 1.42 [Y.Q.(S_0 - S) - K_d.f_b.X_v.V]$$

أو

$$\text{OUR (kg/d)} = (1.46 - 1.42Y).Q. [(S_0 - S) + 1.42 K_d.f_b.X_v.V]$$

وحيث أن كل من: $(1.46 - 1.42Y)$ و $1.42 K_d.f_b$ ثابت يمكن استبدالهما بثوابت $a/$ و $b/$ على التوالي ويمكن تبسيط هذه المعادلة كالتالي:

$$\text{OUR (kg/d)} = a/Q. [(S_0 - S) + b/.X_v.V]$$

وهذه المعادلة تعطينا طريقة مقنعة للتعبير عن استهلاك الاكسجين بشقيه ؛ التخليق (يعبر عنه بالجزء الاول من الطرف الأيمن) والتنفس الذاتي (الجزء الثاني من الطرف الأيمن). يجب أن نتذكر دائما أن $b/$ دالة في f_b وبطريقة غير مباشر في θ_c وبالتبعية أنظمة التهوية المطولة ذات قيم صغيرة من $b/$ وحيث أن حجم حوض التهوية يكون كبير في هذا النظام فإن الجزء الخاص بتنفس الكتلة الحيوية من الطرف الأيمن للمعادلة سوف يكون أكبر من نظيرة في أنظمة المعالجة التقليدية بالحماة النشطة .

الجدول التالي يوضح الاكسجين المطلوب للمواد العضوية الكربونية عند قيم مختلفة لكل من Y و K_d و θ_c

Coefficients		Sludge age day							
Yg/g	Kdd ⁻¹	2	6	10	14	18	22	26	30
0.5	0.09	0.8	0.95	1.02	1.07	1.10	1.13	1.14	1.14

0.6	0.08	0.70	0.83	0.91	0.97	1.01	1.05	1.07	1.07
0.7	0.07	0.57	0.70	0.80	0.86	0.91	0.95	0.98	1.01

من الجدول نلاحظ زيادة الاكسجين المطلوب كلما زاد عمر الحمأة كما أن عمر الحمأة المنخفض أكثر حساسية لقيم Y و K_d كما نلاحظ أنه في نظام التهوية المطولة يكون التغيير في كمية الاكسجين المطلوب بالنسبة للتغيير في قيم Y و K_d صغير .

نلاحظ أيضا ان الاكسجين المطلوب لا يعتمد على المواد الصلبة في المياه الخام كما أنه يأخذ في الاعتبار متوسط التدفق اليومي والحمل العضوي وليس أعلى تدفق يومي ؛ في ساعات الذروة يكون أعلى تدفق عادة موافقا لأعلى تركيز أو حمل من BOD_5 وبالتالي إذا تطابعا يكون ساعة الذروة أعلى بنسبة $Q_{max}/Q_{ave} \times BOD_{5max}/BOD_{5ave}$ مرة عن متوسط الحمل ؛ الا أنه ليس من الضروري أن يتطابق أعلى استهلاك للاكسجين مع أعلى حمل ل BOD_5 والذي يكون بضع ساعات والسبب في ذلك أن BOD الذائب يستهلك بسرعة عن الحبيبات (الموجود في المواد الصلبة) الذي يأخذ وقت في عملية التحلل (لا يستهلك أكسجين) ؛ عند حساب الاكسجين الكلي المستهلك لابد من وضع عامل أمان والذي يرتبط بساعات الذروة للحمل العضوي الداخل أو أعلى معدل تدفق .

1-19-2 الاكسجين المطلوب للنترة oxygen demand for nitrification

عملية النترة هي عملية أكسدة الامونيا الى نيتريت NO_2^- ثم الى نترات NO_3^- ؛ يوجد أيضا مواد نيتروجينية في مياه الصرف الخام لا يحدث لها نترة مباشرة بل يتم تحويلها أو الى أمونيا ثم يحدث لها نترة وبالتالي يكون هناك استهلاك للاكسجين عن طريق الأمونيا

والمركبات العضوية النيتروجينية (انيتروجين العضوي) ؛ مجموع النيتروجين العضوي
والأمونيا يعبر عنه بنيتروجين كداهل الكلي total nitrogen Kjeldahl TNK

$$\text{TNK} = \text{NH}_3\text{-N} + \text{organic-N}$$

سوف نشرح عملية النترة لاحقا بالتفصيل

من المعادلات الكيميائية المتزنة سنجد كما سنشرح لاحقا أن 1kg TNK يستهلك 4.57 km
O₂ لتحويله الى نترات NO₃⁻

$$\text{OUR (kg/d)} = 4.57 \cdot \text{Q} \cdot \text{TNK}/1000$$

نيتروجين كداهل يمثل النيتروجين الكلي في مياه الصرف الخام حيث يكون تركيز النترات
والنيتريت منخفض جدا فيها .

تنمو بكتيريا النترة ببطء شديد كما تكون حساسة للتغيرات البيئية (مثل الحرارة ودرجة
الحموضة ... الخ) ولذلك فرصة حدوث نترة في المناطق الحارة عالي حتى في المحطات
التي لا يستهدف منها النترة لذلك يتم اعتبار كمية الاكسيجين المستهلكة في الحسابات
التصميمية للمحطات وتكون هذه الظاهرة أكثر حدوثا في أنظمة المعالجة بالتهوية المطولة
لطول عمر الحمأة حيث تتوافر كل الظروف الملائمة للنمو البكتيري للبكتيريا الخاصة بالنترة .

*احتياجات المغذيات nutrients requirements

تحتاج البكتيريا المسؤولة عن ازالة المواد العضوية من مياه الصرف الى المغذيات (النيتروجين
والفوسفور والحديد) بجانب الكربون للقيام بمهام الأيض أو التمثيل الغذائي والنشاط الحيوي .

هذه المغذيات تكون متوفرة في مياه الصرف الصحي المنزلي بينما تنقص في كثير من الأحيان في مياه الصرف الصناعي لذلك يفضل في كثير من الأحيان خلط مياه الصرف الصناعي مع مياه الصرف المنزلي للتعويض ؛ تعتمد نسبة الفوسفور والنيتروجين المطلوبة على تكوين الكتلة الحيوية ؛ يعبر عن تركيب الخلية البكتيرية بالصيغة العامة $C_5H_7O_2N$ بدون فوسفور أو $C_60H_87O_{23}N_{12}P$ بالفوسفور ؛ الكتلة الحيوية التي تتكون أثناء المعالجة بالمحطات تتكون من 12.30% نيتروجين و 2.60% فوسفور وبعد التنفس الذاتي تحتوي بقايا الخلايا على 7% نيتروجين و 1% فوسفور ؛ كمية النيتروجين اللازمة (النيتروجين المطلوب) يكافئ كمية النيتروجين التي يتم ازلتها من النظام مع الحمأة الزائدة .

من النسب التي تم التعبير عنها بتركيب الخلية يمكن حساب النيتروجين المطلوب حيث يكون :

النيتروجين المطلوب = النيتروجين الموجود في الخلايا النشطة الموجودة في الحمأة الزائدة + النيتروجين في الخلايا الغير نشطة في الحمأة الزائدة

$$N \text{ required} = (0.123 \text{ fb}/\text{fb}').P_{xv} + 0.07 (1 - \text{fb}/\text{fb}').P_{xv}$$

والفسفور أيضا كالتالي :

$$P \text{ required} = (0.026 \text{ fb}/\text{fb}').P_{xv} + 0.01 (1 - \text{fb}/\text{fb}').P_{xv}$$

الجدول التالي يوضح المغذيات المطلوبة في عمليات الحمأة النشطة التقليدية والتهوية المطولة

الحمأة النشطة	Øc . d	النسبة بين المغذيات بالكتلة		
		BOD5	N	P
الحمأة التقليدية	4-10	100	4-6	0.90-1.20
التهوية المطولة	20-30	100	2.50-3.50	0.50-0.60

من الجدول يكون احتياج المذيات منخفض لنظام التهوية المطولة نتيجة انخفاض انتاجية الكتلة الحيوية أو الحمأة ؛ النسبة المتوازنة بين الغذاء (الكربون العضوي BOD5) والمغذيات N,P تكون كالتالي BOD5:N:P= 100:5:1 وهذه النسبة خاصة فقط بالحمأة النشطة التقليدية ولا تنطبق على التهوية المطولة كما هو واضح من الجدول السابق كلما زاد عمر الحمأة قل الاحتياج للمغذيات .

*تأثير درجة الحرارة temperature effect

تتأثر عملية التمثيل الغذائي للبكتيريا بدرجة كبيرة بدرجة الحرارة وبالتالي تتأثر معدلات أكسدة المركبات الكربونية والنيتروجينية وبصفة عامة تزيد سرعة التفاعلات الكيميوحيوية بزيادة درجة الحرارة ضمن حدود معينة وفوق هذه الحدود تتناقص بسبب تكسر اللانزيمات المسؤولة عن تنشيط هذه التفاعلات والعلاقة بين درجة الحرارة ومعامل التفاعل يعبر عنه بالمعادلة :

$$K_T = K_{20} \cdot \phi^{(T-20)}$$

حيث K_T هو معامل التفاعل عند درجة حرارة T بوحدة d^{-1} و K_{20} هو معامل التفاعل عند درجة حرارة 20 درجة مئوية و معامل درجة الحرارة ϕ وهذه المعادلة صحيحة في معدل درجة حرارة بين 4-30 درجة مئوية وهو ما يعرف بالمعدل متوسط الحرارة mesophilic والتي يقع فيه معظم أنظمة المعالجة الهوائية ؛ يوجد نشاط بكتيري أيضا في المعدل المحب للحرارة أو thermophilic وهي عند حرارة أعلى مثل الانظمة اللاهوائية وبعض أنظمة الهضم الهوائية .

يمكن شرح معامل درجة الحرارة ϕ ببساطة فمثلا لو فرضنا أنه يساوي 1.02 معناه أن ($1.02 - 1.0 = 0.02$ أي أن معدل التفاعل يزيد 2% لكل زيادة درجة واحدة من الحرارة ويقل تأثير الحرارة كلما زاد عمر الحمأة ويصبح ليس له تأثير في الانظمة التي تعمل بعمر حمأة طويل وبالمقارنة مع عمليات الحمأة الأخرى تكون عمليات المعالجة بالحمأة النشطة عموما أقل تأثرا بدرجة الحرارة وهذا يرجع الى أن جزء كبير من BOD موجود في صورة حبيبات يتم امتصاصه بالندف فزيائيا ولا يعتمد على درجة الحرارة.



يقصد بالازالة البيولوجية للمغذيات العمليات الحيوية التي يمكن من خلالها إزالة أو تخفيض تركيز كل من النيتروجين والفوسفور في مياه الصرف الصحي المعالجة .

يوجد النيتروجين في صورة أمونيا ومركبات عضوية نيتروجينية كما ذكرنا ويتم ازالته عبر عملية النترة/نزع النترة وسوف نفصل هنا الأسس التي تبنى عليها هذه العملية ثم نطبق هذه

الأسس بطريقة عملية في الجزء الثاني من خلال نمذجة محطة معالجة مياه الصرف الصحي
بمحافظة ينبع وشرح كيف تتم هذه العملية في الواقع .

توجد الأمونيا NH_3 في الصورة الحرة في حالة إتران مع أيون الامونيوم NH_4^+ في مياه
الصرف الخام كما ذكرنا سابقا في بداية هذا الجزء وتختلف تركيزات الامونيا والامونيوم طبقا
لدرجات الحرارة .

الامونيا هي الصورة الغير عضوية للنيتروجين ؛ أما بالنسبة للنيتروجين العضوي ينقسم مثل
الكربون العضوي الى مركبات خاملة ومركبات قابلة للتكسير البيولوجي ؛ الجزء الخامل ينقسم
الى مركبات ذائبة وهي قليلة وحببباتوهو يرتبط بالكربون العضوي الغير قابل للتكسير ويتم
التخلص منه مع الحمأة الزائدة أما الجزء الثاني القابل للتكسير الحيوي وهو ينقسم الى مركبات
سريعة التكسير الحيوي وهي ذائبة وتتحول بواسطة البكتيريا غير ذاتية التغذية الى أمونيا
وبطيئة التكسير الحيوي وهذه وهي حبيبات بطيئة التكسير الحيوي تتحلل بالتزامن مع المواد
العضوية الكربونية الى الصورة الذائبة .

تنقسم الكتلة الحيوية النشطة (الحمأة النشطة) الى:

* كتلة حيوية نشطة غير ذاتية التغذية ويكون مصدر الكربون العضوي للبكتيريا غير ذاتية
التغذية فيها هو الكربون العضوي الذائب ويحدث نمو هذه البكتيريا في البيئة الهوائية أو
أحواض التهوية حيث يتوافر الاكسجين الجزيئي أو في المنطقة الهوائية من الحوض anoxic
zone أو في الحوض اللاهوائي anoxic tank حيث يتوفر الاكسجين المرتبط في صورة
جزيئي مثل النترات ويكون نموها ضعيف جدا في البيئة اللاهوائية anaerobic zone .

تستخدم البكتيريا غير ذاتية التغذية النيتروجين في صورة الامونيا للتخليق (في البيئة الهوائية) وفي صورة النترات (البيئة اللاهوائية anoxic) وينتج من تحلل هذه البكتيريا مواد خاملة وكربونية ونيتروجينية عضوية

*كتلة حيوية نشطة ذاتية التغذية وهي تستخدم ثاني أكسيد الكربون كمصدر للكربون والامونيا كمصدر للطاقة وف الظروف الهوائية تستخدم الامونيا في عملية النترية كما سنفصل لاحقا .

يجب أن نتذكر جيدا أننا معنيين بإزالة النيتروجين والذي يتم التعبير عن تركيزه بطريقتين ؛ إما كجزئ أمونيا NH_4^+ أو كنيتروجين أمونيا NH_4-N والفرق بين الاثنين أن الوزن الجزيئي لأيون الأمونيوم 18 بينما لنيتروجين أيون الامونيوم 14 وحيث أننا معنيون بالنيتروجين فقط فإن صيغة نيتروجين الأمونيا هي الاكثر دقة في التعبير عن تركيز النيتروجين .

1-21 حركية النترية أو النترجة

Nitrification kinetics

يمكن التعبير عن معدل نمو بكتيريا النترية بمعادلة موند كالتالي :

$$\mu = \mu_{max} \cdot \left[\frac{NH_4^+}{K_N + NH_4^+} \right]$$

حيث KN ثابت نصف التشبع ؛ لاحظ ان الامونيا سيتم استبدالها بنيتروجين كداهل الكلي حيث أن النيتروجين العضوي يتحول الى أمونيا والتي توجد في حالة توازن مع أيون الامونيوم . تتأثر النترة بدرجة الحرارة ودرجة حموضة الوسط وتركيز الاكسيجين الذائب والعناصر الثقيلة وغيرها من المركبات السامة .

*وطبقا لمعادلة دواننج يكون تأثير الحرارة على العملية كما في المعادلة :

$$\mu \max.(T) = \mu \max.(20^{\circ}\text{C}) \phi^{(T-20)}$$

ويتراوح معامل درجة الحرارة ϕ بين 1.08-1.13 ويستخدم متوسط 1.10 بصورة شائعة للتعبير عنه وبالتالي من المعادلة لكل زيادة في درجة الحرارة 7 درجات مئوية يتضاعف معدل النمو للبكتيريا المسؤولة عن النترة وكل انخفاض في درجة الحرارة 7 درجات يؤدي الى انخفاض معدل النمو الى النصف كما أن معامل نصف التشبع K_0 , K_N يزيد بزيادة درجة الحرارة ؛ تحدث النترة بين درجتى حرارة 5-50 درجة مئوية ولكن درجة الحرارة المثالية لها بين 25-36 درجة مئوية .

*وطبقا لدواننج أيضا تتأثر الترتة بدرجة الحموضة ودرجة الحموضة المثالية بين 7.2-8.0 وينخفض معدل النمو الاعلى طبقا للمعادلة التالية :

$$\mu \max.(pH) = \mu \max [1-0.83 (7.2 - pH)]$$

ينتج من عملية النترة أيون الهيدروجين الذي يخفض درجة الحموضة والتي تكون دالة في قلوية الوسط مما يستلزم توافر قلوية مناسبة لمعادلة الحموضة الناتجة في الحدود اللازمة للنمو البكتيري .

*إذا قل الأكسجين عن 0.2 ملجم/ل سوف لا تحدث نترتة مطلقا الا أنه يجب أيضا الحفاظ على تركيز الأكسجين المناسب سواء للنمو البكتيري وايضا في تكوين الندف بالحجم المناسب وطبق لوكالة حماية البيئة الاميرية يفضل الا يقل الأكسجين الذائب عن 2 ملجم/ل لاستيعاب كمية الامونيا التي يمكن ان تتدفق وقت الدورة وبصفة عامة يكون تركيز الأكسجين الذائب المثالي للنمو البكتيري والازم لأكسدة الأمونيا والمركبات العضوية النيتروجينية والكربونية في عمليات الحمأة النشطة بين 2-3 ملجم/ل .

يمكن التعبير عن معدل نمو بكتيريا النترتة وفقا لتركيز الأكسجين بمعادلة موند كالتالي :

$$\mu = \mu_{max} \cdot \left[\frac{D.O}{K_O + D.O} \right]$$

حيث K_O ثابت نصف التشبع للأكسجين .

*تؤثر المواد السامة على نمو بكتيريا النترتة خصوصا النيتروزوموناس

1-21-1 عمر الحمأة اللازم للنترتة Sludge age required for nitrification

كما أشرنا سابقا معدل نمو بكتيريا النترتة صغير جدا بالمقارنة بمعدل نمو بكتيريا تثبيت المركبات العضوية الكربونية بسبب بطئ نمو هذه البكتيريا وبالتالي يكون لعمر الحمأة تأثير كبير على العملية وبالتالي ستحدث النترتة اذا كان عمر الحمأة يسمح بنمو بكتيريا النترتة

بشكل كافي قبل أن يتم التخلص منها أثناء تخريج الحمأة الزائدة من النظام ؛ وحيث أن عمر الحمأة هو معكوس معدل النمو كما راينا سابقا $\theta_c = 1/\mu$ فكلما كان معدل نمو بكتيريا النترة أقل من معدل نمو البكتيريا غير ذاتية التغذية سيكون عمر الحمأة مساويا أو أكبر من معكوس معدل النمو ليسمح لبكتيريا النترة بالنمو أي أن :

$$\theta_c \geq \frac{1}{\mu_N}$$

وبالتالي اذا كان معدل النمو النوعي لبكتيريا النترة معروف فيمكن تعيين عمر الحمأة المناسب لنمو من هذه البكتيريا كافي لعملية النترة كما يتم وضع عامل أمان 1.5-2.5 لاستيعاب الامونيا المتدفقة وقت الدورة .

1-21 معدل النترة nitrification rate

بمجرد معرفة عمر الحمأة المناسب لمعدل النمو الكافي لبكتيريا النترة يمكن حساب معدل النترة كالتالي

$$= \frac{\mu_N \Delta TNK}{YN \Delta t}$$

ويكون معدل النترة دالة في كتلة بكتيريا النترة في المنطقة الهوائية من حوض التهوية

حيث $\frac{\Delta TNK}{\Delta t}$ هو معدل النترة معبرا عنه بالجرام الذي تم أكسدته من TNK /م³ في اليوم

و μ_N هو معدل النمو النوعي لبكتيريا النترة و YN معامل الانتاجية لبكتيريا النترة جم بكتيريا نترتة/جم من TNK و XN تركيز بكتيريا النترة في المنطقة الهوائية جم/م³ .

يتم التعبير عن تركيز بكتيريا النترة في حوض التهوية بتركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة وبالتالي من الضروري تقدير تركيز VSS الذي يمثل بكتيريا النترة ويعبر عنه f_N ويعين من العلاقة التالية :

$$f_N = \frac{\text{growth rate of nitrifying bacteris } \frac{gmXN}{M^3} \cdot d}{\text{growth rate of total biomass (heterotrophs and nitrifiers) } gm \frac{VSS}{m^3}}$$

$$f_N = \frac{\frac{\Delta X_N}{\Delta t}}{\Delta X_V / \Delta t}$$

وحيث أن مقام المعادلة هو انتاجية $VSS = P \cdot X_V$ ويمكن حسابها من العلاقة :

$$= \frac{V \Delta X_N}{\emptyset_c \Delta t}$$

وحيث أن بسط نفس المعادلة يخص انتاجية كتلة بكتيريا النترة فيمكن التعبير عنه بالعلاقة :

$$= Y_N \cdot [\text{TNK removed} - \text{TNK incorporated in excess sludge}] = Y_N \cdot \text{TNK oxidized} \frac{\Delta X_N}{\Delta t}$$

نيتروجين كداهل الكلي المؤكسد TNK oxidized يساوي 12% من الكتلة المنتجة في اليوم من

VSS (لأن النيتروجين يمثل 12% من كتلة الخلية البكتيرية حسب الصيغة الجزيئية للخلية

$C_5H_7NO_2$ والوزن الجيئي للنيتروجين 14 جم/مول

والوزن الجزيئي للخلية = $5 \times 12 + 7 \times 1 + 1 \times 14 + 2 \times 16 = 113 \text{ gm/mole}$ وبالتالي

. $14/113 = 0.12 = 12\%$ من الكتلة الحيوية المنتجة يوميا .

نيتروجين كداهل الكلي المزال TNK removed يناظر حاصل ضرب التدفق في الفرق بين نيتروجين كداهل الكلي الداخل - الخارج

$$fN = \frac{Y_N \cdot [Q \cdot (TNK_0 - TNK_e) - 0.12V \left(\frac{\Delta X_v}{\Delta x} \right)]}{V \cdot \Delta X_v / \Delta t}$$

وبمجرد معرفة يمكن fN التعبير عن كتلة بكتيريا النترة في صورة Xv ويمكن التعبير عن معدل النترة كالتالي :

$$= fN \cdot \frac{X_v \cdot \mu_N}{Y_N} \text{ gm/m}^3 \cdot d \frac{\Delta TNK}{\Delta t}$$

ويكون حمل نيتروجين كداهل الكلي المؤكسد هو:

$$L_{TKN} = \frac{V_{aeration}}{1000} \cdot \frac{\Delta TKN}{\Delta t} \text{ kg/d}$$

1-21-3 الاكسيجين اللازم للنترة oxygen requirements for nitrification

في التفاعل الكلي للنترة مول واحد من نيتروجين الامونيا NH₃-N يحتاج 2 مول من الاكسيجين لأكسدته أي كل 4.57 kg من الاكسيجين يلزم لأكسدة 1 kg من نيتروجين الامونيا (الوزن الجزيئي للنيتروجين 14 جم/مول والوزن الجزيئي للأكسيجين 64 جم / مول بمعنى 64/14= 4.57) .

بالتالي الاكسيجين اللازم لأكسدة النيتروجين في عملية الحمأة النشطة يمكن حسابه من العلاقة التالية:

$$O_{2\text{required}} \text{ (kgO}_2\text{/d)} = 4.57 \text{ (kgO}_2\text{/kgTNK)} \times \text{TNK oxidized (kg TNK/d)}$$

1-21-4 القلوية اللازمة للنترة alkalinity requirements for nitrification

أكسدة واحد مول من نيتروجين الأمونيوم $4\text{NH}_4\text{-N}^+$ ينتج منه 2 مول من البروتونات أو أيون الهيدروجين H^+ وبما أن مياه الصرف الصحي المنزلي قلوية فإن تولد أيون الهيدروجين لن يجعل الوسط حامض مباشرة وبدلاً من ذلك سيتولد بيئة ذات محلول منظم لدرجة الحموضة بين ثاني أكسيد الكربون-البكربونات مع أيون الهيدروجين



كل مول من أيون الهيدروجين يستهلك واحد مول من البكربونات وبالتالي سوف تستهلك 2 مول الناتجة من أيون الهيدروجين نتيجة النترتة 2 مول من البكربونات نتيجة أكسدة واحد مول من الامونيوم وهو يتضمن استهلاك 2 مول من البكربونات أو يمكن التعبير عنها كالتالي :



أو

يتم حساب القلوية من معادلة شيبير - ملل مول كالتالي :

$$\text{Alkalinity} = 100 \{ [\text{CO}_3^{2-}] + 1/2 [\text{HCO}_3^-] + 1/2[\text{OH}^-] \}$$

وبمصطلح مدى درجة الحموضة pH يتم إهمال CO_3^{2-} و OH^- المناظرة ومن ثم بعد تحويل القلوية ملجم/ل تعطى بالعلاقة التالية :

$$\text{Alkalinity} = \frac{\text{HCO}_3^-}{1.2}$$

وبالتالي 8.7 من البيكربونات / لتر تناظر $7.10 \text{ mg/L} = 8.70/1.2$ من القلوية

بمعنى آخر أكسدة 1 ملجم من $\text{NH}_4\text{-N}^+/\text{L}$ يستهلك 7.10 ملجم/ل من القلوية ؛ النقص في القلوية واذي يؤدي لنقص سعة المحلول المنظم للمزيج المتخمر بحوض التهوية يؤدي الى خفض درجة الحموضة pH واذا لزم الامر يجب اضافة مواد قلوية ويرجع ذلك الى تركيز القلوية للمياه الخام فهو الذي يحدد ذلك (100-250 ملجم /ل من كربونات الكالسيوم)

1-21-5 مبادئ نزع النترة البيولوجية Biological denitrification principles

كما ذكرنا يلزم لعملية النترة بيئة هوائية يتوفر فيها الاكسجين الجزيئي oxic zone حيث يعمل كمكتسب للإلكترونات في عملية التنفس أثناء أكسدة المواد العضوية الكربونية والامونيا



في غياب الاكسجين توجد البكتيريا التي يمكنها استخدام المركبات التي تحتوي على الاكسجين مثل النترات والكبريتات .. الخ وتستخدمها كمكتسب للإلكترونات وهذه تسمى البيئة اللاهوائية anoxic zone كلا التفاعلين يحدث في المعالجة البيولوجية الهوائية لمياه الصرف وينتج منه كمية كبيرة من الطاقة كما سنفصل لاحقا ؛ في غياب الاكسجين الجزيئي تضطر البكتيريا لاستخدام النترات في عملية التنفس .

ونتيجة للتنفس البكتيري للبكتيريا الاختيارية غير ذاتية التغذية والتي تحتاج مصدر للكربون تحدث عملية نزع النترة



وفي المعادلة جزيئ $C_5H_7NO_2$ هو التركيب الجزيئي للخلية البكتيرية حيث يتم استهلاك 3 ملجم $C_5H_7NO_2$ لكل ملجم NO_3-N أو تقريبا $4.5 \text{ mg BOD}_5/\text{mgNO}_3-N$ ؛ في معظم مياه الصرف الصحي المنزلي تكون النسبة $BOD_5:N$ أكبر من ذلك مما يسهل عملية نزع النترية .

وفي أي نظام يتم تصميمه لحدوث نترية (حتى في انظمة المعالجة في البيئة الحارة التي تحدث فيها النترية بصورة تلقائية لتوافر الظروف لحدوثها) يفضل تصميم النظام ليقوم بمهمة نزع النترية أيضا عدة أسباب هي

*توفر العملية أكسجين مما يقل استهلاك الطاقة من أجل توفير مزيد من الاكسجين للنترية حيث ينتج من كل 2 مول من النترات يتم اختزالها ينتج 2.5 مول من الأوكسجين



وكما ذكرنا أنه أكسدة 1 جرام مول من النيتروجين في صورة أمونيا يستهلك 4.57 جرام من الاكسجين ؛ فإذا تم نزع نترية كامل يكون نسبة الاكسجين الذي تم توفيره من العملية 62.5% ($2.50/4.0 \times 100$ أو $2.86/4.57 \times 100$) .

أثناء التصميم يتم حساب تخفيض هذه النسبة بشرط الحفاظ على تركيز الاكسجين الذائب في الأحواض 2-3 ملجم/ل .

*توفر قلوية تعادل الحموضة الناتجة من النترية وبالتالي تقلل التكلفة وعدم الحاجة لإضافة مواد كيميائية لرفع تركيز القلوية ومنع انخفاض درجة الحموضة والتي اذا انخفضت كثيرا ستؤدي الى فشل عملية المعالجة حيث تكون درجة الحموضة غير مناسبة للنمو البكتيري .

الحفاظ على قلوية MLSS مهم جدا للحفاظ على درجة الحموضة في المدى الملائم لعملية النترية ومن المعادلة الكيميائية السابقة لنزع النترية نجد أن اختزال 1 مول من النترات يحتاج 1 مول من أيون الهيدروجين بينما في عملية النترية تكوين 1 مول من النترات ينتج منه 2 مول من أيون الهيدروجين وبالتالي نظريا عملية نزع النترية تتضمن تخفيض أيون الهيدروجين بنسبة 50% أو بمعنى آخر توفير 50% من القلوية وبالتالي لو أن 7.1 ملجم من القلوية سوف يتم استهلاكها في نترية 1 ملجم من نيتروجين الأمونيوم فإنه فقط 3.50 ملجم من القلوية سوف تستهلك تم إدخال عملية النترية للنظام (وجد عمليا ان النسبة التي يتم توفيرها 3 ملجم قلوية لكل 1 ملجم نيتروجين أمونيوم أي أن القلوية المستهلكة ستكون 4.10 ملجم قلوية في عملية النترية المصحوبة بنزع نترية)

*تمنع تصاعد الحمأة في أحواض الترسيب الثانوي ؛ في الانظمة التي يتم فيها نترية عندما تصل الحمأة لحوض الترسيب الثانوي يكون لها زمن حجز في حوض الترسيب وبسبب ارتفاع درجة الحرارة تكون الظروف مهيأة لحدوث نزع نترية ؛ وحيث ان نزع النترية تم في أحوض التهوية أو قبل انتقال MLSS الى حوض الترسيب فإن النترات قد اختزلت الى غاز النيتروجين قبل وصولها لحوض الترسيب ولكن يكون هناك فرصة لحدوث نترية في الحوض والتي ان حدثت يحتبس الغاز بين الندف وحيث انه كثافة الغاز أقل من الماء يتصاعد حاملا معه ندف الحمأة فيما يعرف بظاهرة الحمأة المتصاعدة rising sludge .

*التحكم في المغذيات : يتم إزالة النيتروجين والفوسفور من المياه المعالجة لمنع حدوث eutrophication للمياه التي ستستقبل مياه الصرف المعالجة حتى لا يتسبب ذلك في أضرار للبيئة المائية المستقبلية .

1-22 حركية نزع النترية

Kinetics of denitrification

يتم الحصول على معدل نزع النترية من معدل نمو بكتيريا نزع النترية من خلال معادلة موند كما في عملية النترية :

$$\mu = \mu_{max} \cdot \left[\frac{S}{K_s + S} \right] \cdot \left[\frac{NO_3^-}{KNO_3 + NO_3^-} \right]$$

حيث KNO_3 معامل نصف التشبع للنيتروجين ملجم نيتروجين لكل لتر وعادة يكون

$KNO_3 \gg NO_3^-$ وبالتالي تكون قيمة

$$\frac{NO_3^-}{KNO_3 + NO_3^-}$$

صغيرة جدا ويمكن اهمالها ومن ثم نجد أن معدل نمو بكتيريا نزع النترية لا يعتمد على تركيز النترات وإنما على مادة التفاعل S أو BOD وبالتالي فهو تفاعل من الرتبة صفر.

تعتمد K_s بالأساس على نوع الكربون العضوي والذي يعتمد على خواص العملية مثل عمر الحماة وطبقا لقيمة K_s يكون معدل النمو من الرتبة (صفر) أو الرتبة (1) للكربون العضوي والتعبير الأبسط عن معدل نزع النترية يكون عبر العلاقة مع المواد الصلبة الطيارة في حوض التهوية

$$\text{Denitrification rate} = \frac{\mu_{denit}}{Y_{denit}}$$

تكون عملية نزع النترية عند مدخل حوض التهوية في المنطقة اللاهوائية *anoxic zone*

أعلى منها عند مخرج الحوض ويرجع ذلك الى أن الماء الخام يحتوي على مواد عضوية كربونية بتركيز عالي تحتاجها بكتيريا نزع النترية بينما في الجهة الأخرى من المنطقة اللاهوائية

anoxic تنخفض تركيزات الكربون العضوي وتسود عمليات الأيض الذاتي للبكتيريا ويقل معدل نزع النترة .

يتناقص معدل نزع النترة مع زيادة عمر الحمأة (أو تناقص نسبة F/M) والمعادلات التالية توضح العلاقة بين نزع النترة و نسبة F/M

* عند مدخل حوض التهوية في المنطقة اللاهوائية anoxic zone

$$SDR = 0.03 \times (F/M_{\text{anoxic}}) + 0.029$$

* عند مدخل حوض التهوية في المنطقة اللاهوائية anoxic zone

$$SDR = 0.12 \times \theta_c^{-0.706}$$

حيث SDR هو معدل نزع النترة النوعي ملجم .d / gm VSS -N / NO₃⁻

و (F/M anoxic) نسبة الغذاء للكائنات الحية في الجزء الأول من المنطقة اللاهوائية (وليس في حوض التهوية كاملا) كجم BOD لكل كجم MLSS في الجزء الأول من المنطقة اللاهوائية في اليوم و θ_c عمر الحمأة .

1-22-1 العوامل البيئية التي تؤثر على نزع النترة environmental factors that effect on the denitrification

تتأثر نزع النترة بكل من :

*الأكسجين الذائب : غياب الأكسجين الذائب ضروري لحدوث العملية لكن يمكن ان تحدث العملية أيضا بدرجة ما في وجود الأكسجين بتركيز منخفض ويحدث ذلك داخل الندف حيث ينخفض تركيز الأكسجين الذائب أو ينعدم وقد وجد ان العملية تتناقص مع زيادة الأكسجين الذائب خطيا وتتوقف عندما يصل التركيز الى 1 ملجم/ل من الأكسجين الذائب والمعادلة التالية نعطي تصحيحا لمعدل نزع النترة النوعي بالنسبة للاكسجين الذائب :

$$SDR_{DO} = SDR_{20C} (1 - D.O)$$

حيث SDR_{20C} هو لمعدل نزع النترة النوعي في حال تبيط العملية بسبب وجود الأكسجين ملجم $NO_3^- - N / gm VSS . d$

معدل نزع النترة يمكن الحصول عليه من معادلة موند للحركية بعد ادخال تصحيح الأكسجين الذائب

$$\mu = \mu_{max} . \left[\frac{S}{K_s + S} \right] . \left[\frac{NO_3^-}{K_{NO_3} + NO_3^-} \right] . \frac{K_o}{K_o + D.O}$$

حيث K_o معامل نصف التشبع للاكسجين الذائب ملجم/ل ؛ في التصميم والتشغيل الدقيق يجب أن يقترب تركيز الأكسجين الذائب من الصفر .

*درجة الحرارة : تتم عملية نزع النترة بين $0-50^{\circ}C$ وتكون درجة الحرارة المثالية لها بين $35-50^{\circ}C$ وتأثير درجة الحرارة يعبر عنه بمعادلة أرهينوس :

$$SDR_T = SDR_{20^{\circ}C} \times \phi^c (T-20)$$

حيث SDR هو معدل نزع النترتة النوعي ملجم $\text{NO}_3^- - \text{N} / \text{gm VSS} \cdot \text{d}$ و 20°C SDR هو لمعدل نزع النترتة النوعي عند درجة حرارة 20 درجة مئوية و ϕ معامل درجة الحرارة وهو بين 1.15-1.20 والقيمة الكثر استخداما له 1.08 أو 1.09 عادة .

*درجة الحموضة : المعدل امثالي للعملية في مدى درجة حموضة $\text{PH} = 7.50-9.20$ بينما تنفض العملية الى 70% اذا كانت درجة الحوضة $\text{PH} = 6.50-7.50$

*المواد السامة : المركبات والعناصر الثقيلة التي يمكن ان تكون سامة للبكتيريا تقلل من كفاءة العملية لأنها تؤثر على معدل النمو .

1-23 ميكانيكية إزالة الفوسفور

Mechanism of phosphorus removal

سوف نشرح بالتفصيل هذه العملية أثناء شرح تصميم وتشغيل الأحواض اللاهوائية anaerobic tanks (حوض الانتقاء وحوض ازالة الفوسفور) .

بعض البكتيريا قادرة على تجميع الفوسفور بكميات كبيرة في صورة عديد الفوسفات polyphosphates وتسمى البكتيريا المجمعة للفوسفات ومن أهم أنواعها بكتيريا

الاتشيينيتوباكتر حيث تقوم هذه البكتيريا بإزالة المواد المتخمرة من الأحواض اللاهوائية وتخزينها في صورة مركبات معقدة تستخدمها كمصدر للطاقة في حوض التهوية ؛ وفي المنطقة

اللاهوائية يتحرر الفوسفور ثم تقوم بتجميعه بصورة أكبر في حوض التهوية مستخدمة الطاقة التي تتحرر من تكسير المركبات العضوية المخزنة كما سنشرح بالتفصيل لاحقا .

تتأثر عملية إزالة الفوسفور بعدة عوامل هي :

*الاكسيجين الذائب : تعتمد عملية ازالة الفوسفور البيولوجية على التبدل بين بيئة لاهوائية anaerobic zone وبيئة هوائية oxic zone ومن الطبيعي أن الاحواض اللاهوائية يجب أن تكون خالية من الاكسيجين الذائب لأن وجوده يقلل إزالة الفوسفور ويزيد من نمو البكتيريا الخيطية ؛ يمكن ان يوجد بعض الاكسيجين الذائب في المياه الخام نتيجة عمل المضخات الحلزونية في المدخل أو التهيج أو التسريب أو صعود ونزول المياه أثناء نقلها من المدخل الى الاحواض اللاهوائية .

يتم استخدام مضخات الرفع بالهواء air lifting pump في غرفة ترسيب المال وازالة الشحوم والزيوت بمحطة ينبع حيث يتم ضخ هواء يجعل الماء الخام يسير في مسار حلزوني وسيتم رشح ذلك لاحقا بالتفصيل ولكن ننوه هنا أنه يتم استخدام هذه المضخات وفق معايير بحيث يتم الحفاظ على نسبة تركيز الاكسيجين الذائب بما لا يضر بعملية المعالجة اللاهوائية والتي تتضمن ازالة الفوسفور .

تأثير الاكسيجن الذائب عل عملية ازالة الفوسفور ليس هناك دراسات حتى الآن توضح مدى تأثيره على العملية ودرجة ازالة الفوسفور وفقا للاكسيجين الذائب الا أن الثابت عمليا أن العملية يجب أن تتم في بيئة لاهوائية ثم بيئة هوائية ويجب أن يكون الاكسيجين بين 3-1.5 ملجم/ل وإذا قل تركيز الاكسيجين عن ذلك (أو كان منخفضا جدا) تقل كفاءة العملية وتقل نسبة الفوسفور التي يجب ازلتها وستكون ايضا عملية النترتة محدودة وستكون الحمأة المتكونة ضعيفة الترسيب ؛ أما اذا كان تركيز الاكسيجين عالي جدا فإنه سوف يصل الى المنطقة اللاهوائية من حوض التهوية anoxic zone ويحدث زيادة في تركيز النترات والتي تؤدي الى التأثير على تحرر الفوسفات في الاحواض اللاهوائية anaerobic zone.

*درجة الحرارة : تحدث العملية على مدى واسع من درجات الحرارة ولا تتأثر كثيرا بانخفاض الحرارة الا انه توجد مؤشرات تؤكد ان معدل ازالة الفوسفور ينخفض بانخفاض درجة الحرارة كما يحتاج وقت طويل حتى يحدث تخمر للمركبات العضوية لانتاج الاحماض الدهنية القصيرة الازمة للعملية (زمن مكث) ولاستهلاك جزء من الكربون العضوي .

*تأثير درجة الحموضة : تكون العملية فعالة عند $pH=7-8$ وتنخفض عند $pH < 6.50$ وتتوقف نهائيا عندما تقترب درجة الحموضة من $pH=5$

*النترات في المنطقة اللاهوائية anaerobic zone :تنخفض كفاءة العملية بوجود النترات في في الأحواض اللاهوائية وذلك لأن عملية اختزال النترات تستلزم استهلاك BOD والتي تلزم لنمو وتكاثر بكتيريا جميع الفوسفات بعد تخمرها في الحوض وبالتالي تتأثر نسبة BOD/P ويعتمد التأثير على تركيز BOD في المياه الخام الداخلة للأحواض اللاهوائية وعمر الحمأة (في الحمأة الراجعة للحوض) حيث يفترض انخفاض تركيز النترات في الحمأة الراجعة للحوض حتى لا تتأثر كفاءة ازالة الفوسفور .

*عمر الحمأة : الانظمة التي تعمل عند عمر حمأة كبير تنتج كمية حمأة زائدة أقل حيث أن الفوسفور يتجمع بتركيزات عالية في الخلايا البكتيرية وبالتالي كلما زاد عمر الحمأة قل انتاج الحمأة وكلما قلت كمية الحمأة الزائدة التي يجب تخريجها وبالتالي تقل نسبة الفوسفور التي تخرج من النظام وبالتالي أنظمة التهوية المطولة أقل كفاءة في إزالة الفوسفور عن أنظمة الحمأة النشطة التقليدية .

الانظمة ذات عمر الحمأة الكبير تحتاج الى نسبة BOD/P عالية في المياه الخام لكي يصل تركيز الفوسفور الذائب في المياه الى 1 ملجم/ل ولتعظيم نسبة الفوسفور التي يجب ازلتها يجب عدم تشغيل العملية مع عمر حمأة أكبر من المطلوب لعملية المعالجة وهنا يجب التنويه

أنه تم تصميم محطة معالجة ينبع والتي سوف نقدمها كمثال ونموذج في الجزء الثاني من هذا الكتاب عند عمر حمأة 8 أيام وهو يعتبر عمر حمأة يكافئ عمليات الخلط التام لهذا السبب .

*زمن الاحتجاز وشكل وتوزيع الاحواض اللاهوائية : زمن الاحتجاز في الاحواض الهوائية المناسب يكون 1-2 ساعة وهذا الزمن ضروري لتخمير المواد العضوية وتحويلها الى احماض دهنية خفيفة طيارة والتي يتم استهلاكها بواسطة بكتيريا تجميع الفوسفات وبعد هذا الزمن يكون قد تم ازالة معظم الكربون العضوي الذائب BOD ؛ واطالة الزمن في الاحواض غير مطلوب لأنه سوف يؤدي الى تحرر الفوسفات بدون استهلاك الاحماض الدهنية الطيارة وبدون هذه الاحماض لن تستطيع البكتيريا تخزين المواد العضوية المركبة في خلاياها والتي تكون مصدر الطاقة في الاحواض الهوائية لهذه البكتيريا في مرحلة تجميع الفوسفور .

شكل وتوزيع الاحواض اللاهوائية أيضا يؤثر في العملية حيث وجد ان تقسيم الحوض الى أكثر من حوض أو مرحلة يسحن من كفاءة العملية وان كانت التكلفة سوف تزيد .

*زمن الاحتجاز في احواض التهوية : اذا كان زمن الحجز الهيدروليكي في حوض التهوية كافي لاستهلاك الكربون العضوي BOD وعملية النترة فإنه سيكون هناك زمن كافي لامتصاص الفوسفور الحر وتجميعه بواسطة البكتيريا المجمعة للفوسفور مرة أخرى بكميات أكبر من التي تحرر بها في الاحواض اللاهوائية ؛ الزمن اللازم لهذه العملية يكفيها 1-2 ساعة أيضا .

*طرق معالجة الحمأة الزائدة : يجب مراعاة عدم توفر بيئة لاهوائية anaerobic والتي تؤدي

الى تحرر الفوسفات من البكتيريا ويعود مرة أخرى مع مياه التصريف الى مدخل المحطة) لذلك تم تزويد حوض تخزين الحمأة أو المكثف thickener بنوافخ هواء وخلطات لمنع توافر هذه الظروف في محطة ينبع كما سنرى لاحقا) .

لذلك عملية تغليظ أو تكثيف الحمأة بطريقة التعويم الهوائي هي الانسب في هذه الحالة كما انه في المحطات التي تستخدم هواضم يكون الهاضم الهوائي افضل من اللاهوائي (لاحظ ان عملية الهضم في محطة ينبع تتم اصلا في أحواض التهوية حيث يتم تثبيت الحمأة بالحوض لذلك تم الاستغناء عن الهواضم) ؛ كما ان عملية نزع المياه من الحمأة بشكل سريع ومتواصل هو الافضل .

*خواص المياه الخام : تستلزم العملية تركيز مناسب من BOD الذائب في المياه الخام حتى تتم عملية التخمر في الاحواض اللاهوائية وتكون النسبة المثالية 1:15 BOD/P للحصول على تركيز منخفض من الفوسفور الذائب في المياه المعالجة في نظام ذو عمر حمأة قصير ؛ اذا كان تركيز COD سريع التكسير البيولوجي (مساويا COD الذائب) أقل من 60 ملجم/ل بغض النظر عن تركيز COD الكلي لن تتم عملية ازالة الفوسفور أما اذا كان أكبر من 60 ملجم/ل سوف يتم ازالة الفوسفور بشرط عدم وجود نترات في الاحواض اللاهوائية وتزيد نسبة ازالة الفوسفور بزيادة تركيز COD القابل للتكسير البيولوجي ؛ المقدرة على منع النترات من التواجد في الاحواض اللاهوائية يعتمد على نسب TNK/COD في المياه الخام الداخلة لاحواض التهوية فإذا كانت $TNK/COD > 13 \text{ mg/l COD/mg N}$ سيتم ازالة كاملة للنترات من الاحواض اللاهوائية ويفضل هنا استخدام نظام phoredox ؛ أما اذا كانت $TNK/COD 9-13 \text{ mg/l COD/mg N}$ لا يمكن ازالة النترات بشكل كامل ولكن لكي يتم ذلك يمكن استخدام طريقة UCT جامعة كيب تاون ؛ أما اذا كانت $TNK/COD 7-9 \text{ mg/l COD/mg N}$ لا تستطيع طريقة UCT ازالة النترات من الاحواض اللاهوائية ولكن يمكن استخدامها بشرط عمل خط تدوير من أحواض التهوية الى الاحواض اللاهوائية ؛ واذا كان $TNK/COD < 7 \text{ mg/l COD/mg N}$ ازالة لفوسفور في نظام لا يستحب حدوث نترتة فيه .

إذا اعتمدنا تركيز BOD بدلا من COD وكانت النسبة المفترضة $COD/BOD5=2$ فإن قيم العلاقات السابقة سوف تنخفض الى النصف (بمعنى انه اذا كانت $TNK/COD=10$ فإن $TNK/BOD5=5$) .

في المحطات التي يكون الهدف منها ازالة النيتروجين والفوسفور لا يستحب وجود أحواض ترسيب ابتدائية لأنها تزيد من نسبة TNK/COD ونسبة P/COD وذلك بسبب نقص تركيز COD الذي سيدخل لأحواض المعالجة البيولوجية

*المواد الصلبة العالقة في المياه المعالجة : حيث ان ازالة الفوسفور تأتي نتيجة تخريج الحمأة الزائدة فإن وجود ندف هذه الحمأة كمادة صلبة عالقة في مياه المنتج النهائي يزيد من تركيز الفوسفور فيه ؛ تركيز الفوسفور في MLSS يتراوح 2-7% فإذا كانت المياه المعالجة تحتوي على 20 ملجم/ل فوسفور مثلا فهو يحتوي على 4% وبالتالي فإن تركيز الفوسفور الذي يتم تفرغته مع المياه المعالجة $20 \times 0.04 = 8 \text{ mg/l}$ وهذه النسبة عالية بإعتبار ان تركيز الفوسفور في المحطات التي تزيل الفوسفور بيولوجيا تستهدف تركيز فوسفور 1 ملجم/ل وبالتالي فإن الفوسفور الذائب يجب الا يزيد عن 0.2 mg/l ($1.0 - 0.80 = 0.20$) وهي قيمة منخفضة جدا يصعب تحقيقها لذلك في مثل هذه الحالات يجب تزويد المحطة بمرحلة ترشيح لحجز وإزالة المواد الصلبة العالقة .

1-23-1 تقدير جزء الفوسفور في المواد الصلبة العالقة determination of P fraction in suspended solids

ازالة الفوسفور تأتي نتيجة تخريج الحمأة الزائدة فمن المهم تعيين هذه الكمية من الفوسفور في الحمأة الزائدة ملجم فوسفور /ملجم مواد صلبة عالقة ؛ هذه النسبة تتراوح بين 2%-7% في انظمة ازالة الفوسفور بيولوجيا ؛ معامل الميل لازالة الفوسفور الزائد Pf هو معيار يعكس كفاءة النظام على ازالة الفوسفور ويتم حسابه من المعادلة التالية :

$$Pf=[f_{rb} \times (\text{COD} - 25)] \times f_{an}$$

حيث f_{rb} جزء COD سريع التكسير البيولوجي في المياه الخام و f_{an} جزء كتلة الحمأة في الاحواض اللاهوائية و COD تركيز الاكسيجين الكيميائي الكلي في المياه الخام .
يمثل f_{rb} حوالي 15%-30% من COD الكلي في مياه الصرف المنزلي و 20%-35% بعد الترسيب الابتدائي ؛ يمكن تحويل COD الى BOD وذلك باستخدام النسبة $\text{COD/BOD}=1.7-2.4$ وذلك بقسمة COD على المتوسط 2.1 ؛ وبالاخذ في الاعتبار كمية الحمأة f_{an} اذا كان تركيز المواد الصلبة متساو في كل حوض التهوية فيمكن اعتبار f_{an} مساوية للنسبة بين حجم المنطقة اللاهوائية والحجم الكلي لاحواض التهوية (V_{anaer}/V_{aerob}) وقيمة هذا الجزء اللاهوائي تتراوح بين 0.1-0.25 (أي أن حجم المنطقة اللاهوائية يتراوح بين 10%-25% من حجم احواض التهوية) .

*يمكن التعبير عن جزء الفوسفور في الحمأة النشطة بالمعادلة :

$$P/Xa = 0.35 - 0.29 e^{-0.242Pf}$$

والجزء النشط للمواد الصلبة العالقة الطيارة Xa/Xv بالمعادلة :

$$f_a = \frac{1}{1+0.2 K_d \cdot \theta_c}$$

وكما ذكرنا من قبل يمكن الحصول على النسبة بين المواد الصلبة العالقة الطيارة والمواد الصلبة العالقة الكلية X_v/X وهي تتراوح بين 0.60-0.75 للتهوية المطولة و 0.70-0.85 في الحمأة النشطة التقليدية .

نحصل على النسبة بين المواد الصلبة العالقة الطيارة والمواد الصلبة العالقة الكلية X_v/X لنظام يوجد فيه احواض ترسيب ابتدائية من العلاقة :

$$X_v/X = 0.817 \theta_c^{-0.043}$$

و النسبة بين المواد الصلبة العالقة الطيارة والمواد الصلبة العالقة الكلية X_v/X لنظام لا يوجد فيه احواض ترسيب ابتدائية من العلاقة :

$$X_v/X = 0.774 \theta_c^{-0.038}$$

جزء الفوسفور في المواد الصلبة العالقة الطيارة في الحمأة الزائدة من العلاقة :

$$P/X_v = f_a (P/X_a)$$

جزء الفوسفور في المواد الصلبة العالقة الكلية في الحمأة الزائدة من العلاقة :

$$P/X = (VSS/SS) \cdot f_a (P/X_a)$$

طبقا لتركيز COD للمياه الخام و معدلات الثوابت يمكن الحصول على نسبة P/X أكبر من 7% التي تعتمد عليها وكالة البيئة الاميريكية ولحدود المان يقترح نسبة أعلى لأعراض التصميم

*ازالة الفوسفور مع الحمأة الزائدة

نسبة الفوسفور المزالة الى وحدة BOD المزالة تعطى بالعلاقة :

$$P/BOD = Y_{obs} (P/X_v)$$

أو بالتعويض عن Y_{obs}

$$P/BOD = \frac{Y}{1+fb.K_d.\theta_c} (P/X_v)$$

ويمكن حساب fb من العلاقة :

$$F_b = \frac{0.80}{1+0.2 K_d.\theta_c}$$

القيمة المثالية fb هي 0.55-0.70 للحماة النشطة التقليدية و 0.40-0.65 للتهوية المطولة

كمية الفوسفور التي يتم ازلتها في الحمأة الزائدة تأخذ في الاعتبار كمية BOD المزالة S₀-S ويتم الحصول عليها بضرب هذه الكمية في المعادلة السابقة

$$P_{rem} = \frac{Y}{1+fb.K_d.\theta_c} (P/X_v) . (S_0 - S)$$

حيث P_{rem} هو تركيز الفوسفور في الحمأة الزائدة

*تركيز الفوسفور في المياه المعالجة :تركيز الفوسفور في المياه المعالجة الذائب يعطى بالفرق بين تركيز الفوسفور في المياه المعالجة الكلي والفوسفور المزال من المعادلة الأخيرة

$$P_{sol} = P_{tot\ eff} - P_{rem}$$

تركيز الفوسفور للحبيبات للمياه المعالجة (فوسفور SS) يعطى بالعلاقة :

$$P_{part.\ eff} = SS (P/X)$$

وتركيز الفوسفور الكلي في المياه المعالجة بالعلاقة :

$$P_{\text{tot eff}} = P_{\text{sol eff}} + P_{\text{part. eff}}$$

1-24 تصميم أحواض الترسيب لعملية الحماة النشطة

Design of activated sludge Sedimentation tanks

أحواض الترسيب إما مربعة ذات تدفق أفقي أو دائرية ذات تدفق من منتصف الحوض وقد تكون أحواض ترسيب ابتدائية أو ثانوية (نهائية) ؛ ونحن هنا في هذا الكتاب سنتناول الاحواض الدائرية والثانوية حسب تصميم محطة معالجة مياه الصرف الصحي بمحافظة ينبع والتي نأخذها كمثال للمنذجة والتصميم والتشغيل لمحطات المعالجة التي تعمل بطريقة التهوية المطولة - نظام الكاروسيل 2000

تقدير مساحة سطح الحوض طبقا لمعدلات الحمل الهيدروليكي وحمل المواد الصلبة

*معدل الحمل الهيدروليكي HLR هو النسبة بين معدل تدفق المياه الخام ومساحة سطح الحوض Q/A

*معدل حمل المواد الصلبة هو النسبة بين حمل المواد الصلبة $(Q + Q_r) \times$ ومساحة سطح الحوض ومساحة سطح الحوض A ؛ $(Q + Q_r) \cdot x / A$

يجب ان نتذكر دائما أن معدل الحمل الهيدروليكي HLR مبني فقط على معدل التدفق للمياه للحوض Q وليس على معدل التدفق الكلي للحوض $(Q + Q_r)$ لأن Q فقط هو الذي يتدفق من فوق الهدار (بينما تتدفق الحماة الراجعة Q_r من أسفل الحوض) وترجع أهمية التدفق العلوي Q الى ان هذا التدفق اذا كان اكبر من سرعة الترسيب للمواد الصلبة في قاع

الحوض فسوف تكون المواد الصلبة غير قادرة على الترسيب الى قاع الحوض وستخرج مع المياه من فوق الهدار .

بصيغة معدل حمل المواد الصلبة لوحدة المساحة من المهم الا يكون معدل تحميل المواد الصلبة أكبر من Solids flux وفي هذه الحالة سيكون الحمل المطبق هو الحمل الداخل للحوض $x \cdot (Q + Q_r)$.

لكي لا يحدث فقد من المواد الصلبة مع المياه المروقه يجب عدم تحميل حوض الترسيب بحمل زائد من المواد الصلبة ولتحقيق ذلك يجب تحقيق هذين الشرطين

*بصيغة الترويق يجب الا يزيد معدل الحمل الهيدروليكي عن سرعة ترسيب الحمأة أي أن :

$$Q/A \leq V$$

$$Q/A \leq V_0 \cdot e^{-K \cdot C}$$

*بصيغة التثخين او تغليظ الحمأة لا يجب أن يزيد Solids flux المطبق عن المحدود

$$Ga \leq GL$$

$$(Q + Q_r) C_0/A \leq m \cdot (Q_r/A)^n$$

حيث v هي سرعة الترسيب عند سطح التماس وتركيز C م/ساعة و v_0 معامل سرعة الترسيب و K معامل الترسيب و C_0 تركيز المواد الصلبة الداخلة للحوض $MLSS \text{ g/m}^3$ و A مساحة السطح بالمتر المربع .

من المعادلات السابقة يمكن التعبير عن أعلى معدل حمل للمواد الصلبة بالمعادلة :

$$SRL = m.[RV_0 e^{(-K.C)}]^n$$

ومن المعادلة يمكن حساب معايير الترويق والتثخين

يتم حساب مساحة السطح من العلاقة التالية :

$$A = (Q + Q_r) C_0 / SRL$$

مدى تركيز MLSS في الحمأة النشطة التقليدية 2.5-4.5 gm/L وللتهوية المطولة وللتهوية المطولة 3.5-5.5 gm/L

يتم الحصول على قيمة Q/A اللازمة لحدوث ترويق جيد من المعادلة :

$$Q/A = V_0 \cdot e^{-K.C}$$

وقيمة Q/A لتحقيق أفضل تثخين لحمأة :

$$\begin{aligned} SRL &= \frac{(Q + Q_r) C_0}{A} = \frac{Q}{A} (R+1) \cdot C_0 \\ &= \frac{SRL}{(R+1) \cdot C_0} \frac{Q}{A} \\ &= \frac{m.[RV_0 e^{(-K.C)}]^n}{(R+1) \cdot C_0} \frac{Q}{A} \end{aligned}$$

سوف نتناول تفاصيل تصميمية مفصلة في الجزء الثاني تخص المحطة التي اعتبرناها نموذجاً لنا في هذا الكتاب .

النمذجة والتصميم والتشغيل الأمثل لمحطات معالجة مياه الصرف
الصحي التي تعمل بطريقة التهوية المطولة - نظام الكاروسيل



الجزء الأول

2017

كيميائي / إبراهيم سعدالله الشامي

192 ----- الفصل الأول مراحل معالجة مياه الصرف الصحي

193 ----- 1-1 المعدات ونماذج التشغيل

193----- 2-1-1 الضاغط الثابت

193----- 3-1-1 ضاغط السرعة

194----- 4-1-1 ضواغط الفواقد

194----- 5-1-1 الضاغط الكلي للنظام أو الضاغط الديناميكي الكلي

195----- 6-1-1 أداء المضخة

195----- 7-1-1 منحنى اداء المضخة

197----- 8-1-1 المضخة وقوة الموتور والكفاءة

197----- 9-1-1 الكفاءة

198----- 10-1-1 قوانين قابلية المضخة

198----- 11-1-1 سرعة دوران المضخة

198----- 12-1-1 قطر بكرة أو دافع المضخة

199----- 13-1-1 سرعة البكرة أو الدافع النوعية

204----- 2-1 تصنيف المضخات بالمحطة

204----- 1-2-1 المضخات الطاردة المركزية

204----- 2-2-1 المضخات المروحية

204----- 3-2-1 مضخات الإزاحة الموجبة

- 205 ----- 4-2-1 المضخات المحورية
- 206 ----- 5-2-1 محددات الأداء
- 206 ----- 6-2-1 تقسيم الطلبات طبقاً لمحددات الأداء
- 206 ----- 7-2-1 الخطوات الضرورية عند بداية تشغيل الضلمبة لأول مرة:
- 210 ----- 8-2-1 المحركات الكهربائية
- 216 ----- 9-2-1 مسؤوليات وواجبات القائمين على تشغيل معدات محطات المعالجة
- 217 ----- 1-9-2-1 تقارير التشغيل الميكانيكي للمحطة
- 234 ----- 2-9-2-1 نماذج التشغيل الكيميائي
- 252 ----- 10-2-1 ضخ مياه الصرف والحماة
- 253 ----- 11-2-1 خطوات بدء تشغيل المحطة
- 263 ----- 12-2-1 المواصفات التصميمية لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي بمحافظه ينبع ومكوناتها
- 265 ----- 3-1 المدخل والمصافي الميكانيكية الأوتوماتيكية
- 272 ----- 1-3-1 مدخل المحطة
- 274 ----- 1-3-1 (أ) مبنى المصافي الميكانيكية
- 77 ----- 1-3-1 (ب) غرفة إزالة الرمال والزيوت والشحوم
- 78 ----- 4-1 الأحواض اللاهوائية
- 280 ----- 1-4-1-1 (أ) حوض الانتقاء
- 283 ----- 1-4-1 إزالة البيولوجية للفوسفور والتحكم في الخيطيات
- 300 ----- 1-4-1 (أ) حوض إزالة الفوسفور
- 300 ----- 5-1 أحواض التهوية

302 ----- 1-5-1 إزالة المواد العضوية

305 ----- 1-5-2 إزالة البيولوجية للنيتروجين

312 ----- 1-5-2 (أ) عملية النترة أو النتجة

322 ----- 1-5-2 (ب) نزع النترة

326 ----- 1-5-2 التشغيل بنظام النترة/نزع النترة المتزامن

327 ----- 1-5-3 التشغيل بنظام النترة/نزع النترة المسبق

330 ----- 1-5-3 (أ) عمر الحمأة

333 ----- 1-5-4 أحواض الترسيب النهائي

334 ----- 1-5-4 (أ) تركيز الخليط المتخمر للمواد الصلبة المعقدة بأحواض التهوية وبالحمأة الراجعة

338 ----- 1-5-4 (ب) حساب معدل تدفق الحمأة الزائدة

340 ----- 1-5-4 (ج) حساب نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M

342 ----- 1-5-4 (د) ترسيب الحمأة

344 ----- 1-5-4 (هـ) حمل الحمأة وعمر

347 ----- 1-5-4 (و) استهلاك المغذيات بواسطة ندف الحمأة

1-6 الترشيح الثلاث 165

353 ----- 1-6-1 وصف المرشحات والوسط الترشيحي

354 ----- 1-6-2 مكونات خلية الترشيح

360 ----- 1-6-3 إجراءات تشغيل المرشحات

- 361 ----- 7-1 تطهير المياه المعالجة
- 367 ----- 1-7-1 وحدة التطهير بالكلور السائل
- 367 ----- 1-7-1 (أ) التطهير و متطلب الكلور والكلور الحر
- 369 ----- 2-7-1 وحدة حقن البوليمر للمرشحات
- 370 ----- 8-1 وحدة التطهير بالأشعة فوق البنفسجية
- 371 ----- 9-1 خزان المياه الرائقة
- 373 ----- 10-1 محطة مضخات الري
- 376 ----- الفصل الثاني مراحل معالجة الحمأة
- 377 ----- 1-2 ضخ الحمأة الزائدة
- 380 ----- 2-2 خزان تجميع الحمأة والمثخن بالجاذبية
- 383 ----- 3-2 نزع المياه من الحمأة (المواد الصلبة العضوية) - الحزام الضاغط
- 391 ----- 1-3-2 حسابات الأحزمة الضاغطة (أحزمة العصر)
- 392 ----- 2-3-2 مضخات تغذية الأحزمة الضاغطة
- 395 ----- 3-3-2 وحدة تجهيز وتجريع البوليمر
- 400 ----- 4-3-2 السيور الناقلة
- 400 ----- 5-3-2 إجراءات التشغيل
- 401 ----- الفصل الثالث إجراءات بدء التشغيل في الظروف الإستثنائية والظروف القياسية طبقا للمعايير التصميمية
- 402 ----- 1-3 تشغيل المحطة بمعدل تدفق أقل من التصميمي ومعايير مياه تختلف عن المعايير التصميمية
- 402 ----- 2-3 تكوين الحمأة النشطة

- 404 ----- 3-3 التجهيز لبدء التشغيل
- 404 ----- 1-3-3 مراجعة المنشورات والكتيبات
- 405 ----- 2-3-3 مقابلة كل من فريق المهندسين الإستشاريين وخبراء التشغيل
- 405 ----- 3-3-3 تقدير الظروف الواقعية أثناء بدء التشغيل
- 406 ----- 4-3-3 تقدير تركيز المواد الصلبة بحوض التهوية
- 406 ----- 4-3 خطوات بدء التشغيل
- 408 ----- 1-4-3 باستخدام طريقة حمأة التلقيح
- 410 ----- 2-4-3 باستخدام تدفق مياه الصرف الخام
- 410 ----- 5-3 متابعة العملية أثناء بدء التشغيل
- 412 ----- 1-5-3 التشغيل الطبيعي
- 414 ----- 6-3 إجراءات بدء تشغيل محطة معالجة مياه الصرف بمحاظفة ينبع والعمليات الحسابية لها
- 415 ----- 7-3 حساب نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M
- 417 ----- 8-3 إستراتيجيات التحكم في عملية المعالجة
- 419 ----- 9-3 إختيار استراتيجية التحكم
- 420 ----- 1-9-3 التحكم في معدل تدفق الحمأة الراجعة
- 422 ----- 10-3 طرق التحكم في معدل تدفق الحمأة الراجعة
- 424 ----- 1-10-3 قياس غطاء الحمأة

424 ----- 2-10-3 إيزان الكتلة

424 ---- 3-10-3 يتم تقدير معدل تدفق الحمأة الراجعة طبقاً لنسبة MLSS الى RAS كالتالي

425 - 4-10-3 التحكم في غطاء الحمأة الراجعة عن طريق بيانات إختبار الترسيب خلال 30 دقيقة-

425----- 5-10-3 تقدير معدل رجوع الحمأة عن طريق معرفة تركيز الخليط المتخمر

426 ----- 6-10-3 تقدير معدل تدفق رجوع الحمأة بأسلوب جودة الحمأة

429 ----- 11-3 التحكم في تخريج الحمأة الزائدة

433 ----- 1-11-3 طرق تخريج الحمأة الزائدة

435 ----- 2-11-3 التحكم في ثبات تركيز المواد الصلبة العاقة الطيارة

437 ----- 3-11-3 التحكم في ثبات عمر الحمأة

439 ----- 4-11-3 التحكم في نسبة الغذاء الى الكائنات الحية

441 ----- 5-11-3 التحكم في ثبات متوسط زمن مكث الخلية

445 ----- 12-3 التحكم في جودة الحمأة

445 ----- 1-12-3 حجم الحمأة المترسب

446 ----- 2-12-3 مؤشر حجم الحمأة

447 ----- 13-3 إنتاج المواد الصلبة العضوية وحسابات الضخ

447 ----- 1-13-3 تقييم كمية الحمأة المنتجة في اليوم

447 ----- 2-13-3 زمن تشغيل المضخة

449 ----- 3-13-3 النيتروجين المتاح

451 ----- 4-13-3 النيتروجين طبقا لإحتياج المحاصيل له

451 ----- 5-13-3 حمل المعادن

452 ----- الفصل الرابع إختبارات مراقبة الجودة والتشغيل

453 ----- 1-4 الإختبارات الضرورية للمياه الخام والمعالجة والحماة

456 ----- 1-1-4 الاختبارات الكيميائية والكميوقبوية والخواص الفيزيائية

456 ----- 2-1-4 اختبار الترسيب

461 ----- 3-1-4 الترسيب ومقياس الترسيب

463 ----- 2-4 الملاحظات البصرية على الأحواض

471 ----- 3-4 الفحص المجهرى للحماة

473 ----- 1-3-4 البروتوزوا

474 ----- 2-3-4 الهدبيات

477 ----- 3-3-4 الأميبات

492 ----- 5-4-4 الميتوزوا

495 ----- 4-4 الفحص المجهرى للحماة النشطة واستخدامه في التحكم في عملية التشغيل

498 ----- 5-4 وصف أنواع البكتريا الخيطية

527 ----- 5-4 مشاكل عملية تشغيل الحماة النشطة وحلولها

529 ----- 1-5-4 حمل الحماة العالي ونقص الأكسجين

530 ----- 2-5-4 تسمم الحمأة

531 ----- 3-5-4 تفكك الندف (ندف صغيرة كثيرة)

531 ----- 4-5-4 الحمأة الثقيلة

531 ----- 5-5-4 حوض الترسيب النهائي لا يعمل جيدا

533 ----- 6-5-4 تضخم الحمأة

534 ----- 7-5-4 مؤشر الخيطيات ومؤشر حجم الحمأة

536 ----- 8-5-4 تأثير إزالة المغذيات على الخيطيات

537 ----- 9-5-4 المنافسة بين الكائنات الخيطية

538 ----- 6-4 التحكم في تضخم الحمأة

540 ----- 1-6-4 تكوين الزبد

543 ----- 2-6-4 التحكم في ظاهرة الزبد

544 ----- 3-6-4 الحمأة المتصاعدة

545 ----- 4-6-4 المياه المروقة (المنتج الثانوي) عكرة

547 ----- 5-6-4 الترمد

548 ----- 6-6-4 الحمأة المنتفخة والحمأة الشاردة

550 ----- الفصل الخامس نظام التحكم بالروائح

551 ----- 1-5 المركبات التي تسبب الروائح في محطات معالجة مياه الصرف الصحي

553 2-5 نظام التحكم بالروائح في محطة معالجة مياه الصرف بمحافظة ينبع-----

553 3-5 حسابات استهلاك المواد الكيميائية-----

555 1-3-5 حسابات مدخل المحطة-----

555 1-3-5 (أ) حجم هيدروكسيد الصوديوم المستهلك بالتر في المرحلة الأولى للبرج رقم (2)

555 1-3-5 (ب) حجم هيدروكسيد الصوديوم + حجم هيبوكلوريت الصوديوم المستهلك بالتر في

557 المرحلة الثانية من البرج رقم (2)-----

558 1-3-5 (ج) حسابات تراكيزات المواد المستهلكة في التحكم في رائحة غاز الأمونيا-----

561 1-3-5 (ج) حسابات تراكيزات المواد المستهلكة في التحكم في رائحة غاز الأمونيا-----

564 2-3-5 حسابات الكيماويات المستهلكة في مبنى نزع المياه من الحمأة (الاحزمة الضاغطة)

564 2-3-5 (أ) حجم هيدروكسيد الصوديوم المستهلك بالتر في المرحلة الأولى للبرج رقم (2)

564 2-3-5 (ب) حجم هيدروكسيد الصوديوم + حجم هيبوكلوريت الصوديوم المستهلك بالتر في المرحلة

566 الثانية من البرج رقم (2)-----

567 2-3-5 (ج) حسابات تركيز حمض الكبريتيك المستهلك في التحكم في رائحة غاز الأمونيا--

570 2-3-5 (د) حجم الكيماويات المستهلكة في وحدة نزع المياه من الحمأة بالتر /عام-----

570 2-3-5 (هـ) حجم الكيماويات المستهلكة في المدخل + وحدة نزع المياه من الحمأة بالتر/عام

571 4-5 إجراءات تشغيل مراحل أبراج التحكم في الرائحة-----

579 5-5 المرحلة الثالثة نظام الكربون المنشط-----

583 6-5 تخزين المواد الكيميائية واستخدامها وتجريبها-----

584 ----- 1-6-5 حسابات جرعة المادة الكيميائية

584 ----- 2-6-5 ضبط كبسة مضخات تجريع الكيماويات



الفصل الأول



مراحل معالجة مياه الصرف الصحي

مقدمة

عند بداية تشغيل أي محطة للصرف الصحي لابد من تقدير تركيز الخليط المتخمر للمواد الصلبة العالقة الذي يجب ان يتواجد في أحواض التهوية وحسابه MLSS وهذا التركيز هو أقل تركيز يجب ان يتواجد بحوض التهوية قبل التفكير في تخريج أي حمأة نشطة زائدة عن حاجة العملية مع الأخذ في الإعتبار أنه كلما زاد معدل التدفق بكميات كبيرة أثناء عملية بدء تشغيل المحطة لابد من زيادة هذا التركيز بما يتناسب مع مع التدفق وسنشرح بالمعادلات والحسابات ذلك بعد قليل كما أنه أيضا ليس من الضروري تغيير تركيز MLSS في حالة الزيادة الطفيفة في معدل التدفق ولا تغيير درجة الحرارة عن المعايير التصميمية للمحطة ولكن يمكن جعل التركيز في حدود زيادة أو نقض 10% من أقل تركيز مطلوب لبدء تشغيل المحطة .

يمكن التحكم في تركيز MLSS بالتحكم في معدل رجوع الحمأة ومعدل التخلص من الحمأة الزائدة والتي تغير تركيز الخليط المتخمر كما يمكن تقدير التركيز المثالي ل MLSS أيضا عن طريق كفاءة إزالة الأكسجين الحيوي الممتص BOD5 بعد المعالجة الثانوية حيث يكون التركيز الأمثل ل MLSS عندما يكون تركيز BOD5 أقل ما يمكن .

يمكن استخدام كلوريد الحديدك أو البوليمر لزيادة تركيز MLSS عن طريق تركيز المواد الصلبة التي يتم تدويرها بينما يتم تقليل تركيز الأكسجين الحيوي الممتص في نفس الوقت .

يجب أخذ الحذر عند استخدام هذه الكيماويات ويتم تعيين التركيز اللازم للعملية بإختبار الكؤوس لأنه اذا زاد التركيز سوف يؤدي ذلك الى تكون ندف كيميائية وليس ندف بيولوجية وبالتالي سيكون تقدير تركيز الخليط المتخمر غير صحيح لذا يجب تقدير تركيز الخليط المتخمر للمواد الصلبة العالقة الطيارة MLVSS .

1-1 المعدات ونماذج التشغيل

مقدمة

نظراً لأهمية معدات محطات معالجة الصرف الصحي وما يترتب على سوء أو عدم اتباع تعليمات التشغيل الخاصة بها من آثار سلبية على باقى وحدات المعالجة وتأثيره على الماء المعالج وخروجه غير مطابق للمواصفات، فقد اشتمل الدليل على جزء خاص بالتشغيل وتعليماته وقد روعي فيه أن يكون مشتملاً على المعدات الموجودة بالمحطة ولقد تم الالتزام بأهداف ومتطلبات الدليل مثل تنمية القدرات والمهارات الأساسية الضرورية لمهندسي ومشغلي محطة معالجة الصرف الصحي فيما يخص جزء مهام تشغيل معدات معالجة مياه الصرف الصحي، وقد استهل هذا الفصل بمهام وواجبات المشغلين ثم نموذج لتقرير أعمال التشغيل ونموذج للإبلاغ عن الأعطال وقد اشتمل على شرح نظري ثم اتباع بأجراءات التشغيل وبعض مشاكل التشغيل وكيفية التغلب عليها وذلك لعناصر مكونات محطات المعالجة التالية:

* المضخات المستخدمة بالمحطة (مضخات الإزاحة الموجبة ومضخات الطرد المركزي)

* المحركات الكهربائية

* الضواغط ونوافخ الهواء

* محركات الديزل ومولدات الديزل

* أجهزة منظومة التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية والكلور

* وحدة الحزام الضاغط لنزع المياه من الحمأة

* وحدة تجفيف الحمأة

* أجهزة القياس

* الصمامات الكهربائية والبوابات والمحابس اليدوية

* المواسير والقطع الخاصة المستخدمة في مجال مياه الصرف الصحي

1-1-1 ضخ مياه الصرف والحماة Pumping of Wastewater and Sludge

عملية ضخ المياه والحماة تتطلب طاقة وتشمل الطاقة اللازمة للضخ كل من الطاقة اللازمة للتغلب على السرعة المفقودة كلما تحرك السائل عبر نظام الضخ وهو هنا اما مياه الصرف او الحماة والطاقة التي يحتاجها نظام الضخ للتغلب على الرفع من المأخذ الى المصب أو الداخل والخارج لنظام الضخ وسوف نتعرض باختصار لبعض المفاهيم المهمة التي يمكن ان يقابلها المشغل في محطات الصرف الصحي .

1-1-1 الضاغط الثابت Static head

وهو الفرق بين مستوى سطح السائل (ضغط الرأس) في مدخل نظام الضخ (نقطة الشفط أو السحب) ونقطة التفريغ ويكون الرأس الثابت ذو قية عالية اذا كان مستوى السائل الداخل منخفض وقيمة صغير اذا كان مرتفع .

1-1-3 ضاغط السرعة Velocity head

وهي المسافة اللازمة لزيادة سرعة السائل من نقطة السكون أو البدء الى سرعة معينة وتعتمد على سرعة السائل وتحسب من العلاقة :

$$\text{Velocity head } v^2/2g$$

حيث v سرعة السائل /م/ ثانية و g ثابت يساوي 9.8 m/s^2

1-1-4 ضواغط الفواقد Headlosses

ويشمل الإحتكاك والفواقد البسيطة Minor Losses ويقصد به فقدان الطاقة نتيجة حركة السائل في نظام الضخ عبر المواسير والكيهان وغيرها مما يفقد طاقة حركة السائل ويقبل من سرعته

Minor loss $kv^2/2g$

1-1-5 الضاغط الكلي للنظام أو الضاغط الديناميكي الكلي Total System Head or

Total Dynamic Head

هو مجموع الضاغط الإستاتيكي وضاغط السرعة والفواقد الصغرى بما في ذلك ففواقد الدخول والخروج والإحتكاك الكلي مع المواسير وهو يستخدم في معرفة الفاقد الكلي في الطاقة والطاقة الكلية اللازمة لرفع سائل عند معدل ما في نظام الضخ وعادة يتم اهمال ضاغط لصغر قيمته بالمقارنة مع الففواقد الصغرى والإحتكاك ويتم تقييم الففواقد الصغرى طبقا للعامل k والذي يجب ان يكون في حدود 10 أو 20% ما لم يتم معايرة المضخات للقياسات الحقلية ؛ وطبقا لتوزيع نظام الضخ يكون الضاغط الكلي للنظام صفر عند معدل تدفق معين الا ان هذا لا يكون اعتياديا.

لا يتم تعريف انظمة الضخ عادة بواسطة منحنى ضغط النظام ولكن بحزمة من ضواغط النظام الكلية أو احتياجات الضواغط التي تقع بين القيم الصغرى والكبرى لمنحنيات ضواغط النظام وهذه الحزم قد تكون أو لا تكون مهمة أو ذات قيمة طبقا لنظام الضخ

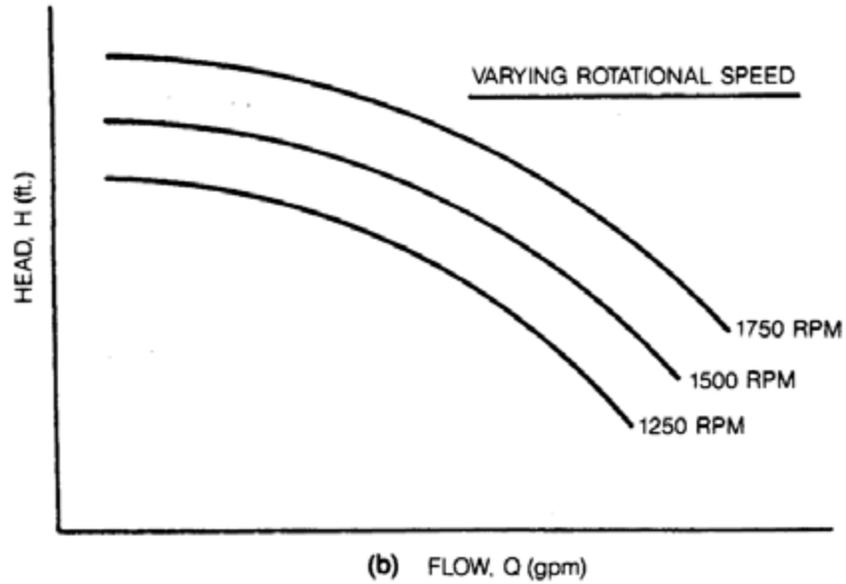
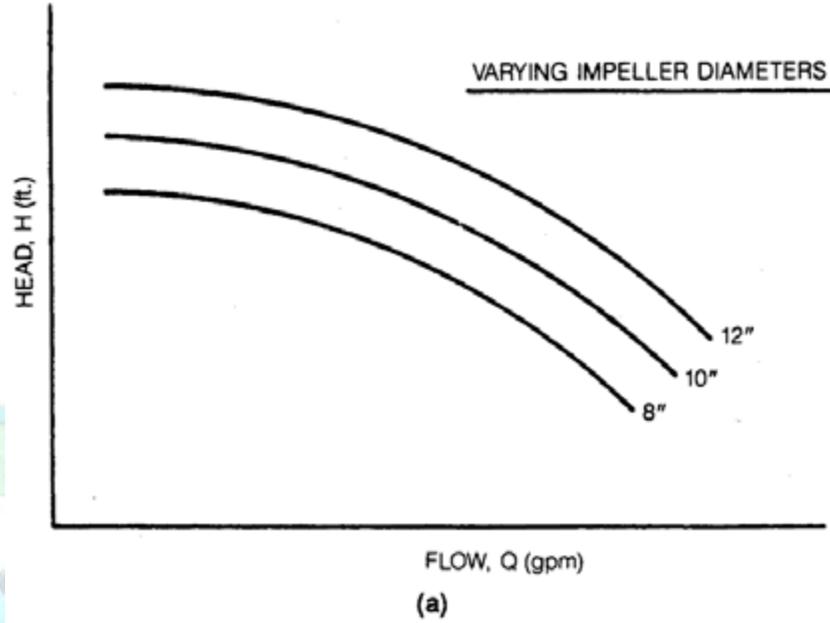
6-1-1 أداء المضخة PUMP PERFORMANCE

يحتاج كل نظام ضخ الى مضخة تعطي الطاقة الكافية للتغلب على ضواغط النظام الكلية لنقطة تشغيل معينة ويمكن تعريف المضخة للإحتياجات منحنى الأداء ومنحى الكفاءة وضغط السحب الموجب الصافي net positive suction head NPSH

7-1-1 منحنى اداء المضخة Pump performance curves

ويعرف ايضا بمنحى المضخة pump curves وهو يوضح كمية الطاقة (الضاغط) التي تعطية المضخة أو تبذله المضخة على السائل ويمكن توضيحه بخط واحد لكل قطر للبكرة أو للدافع impeller يعمل في نفس التجويف للمضخة عند سرعة واحدة ثابتة كما بالشكل





الذي يوضح منحنيات الأداء لمضخات الطرد المركزي Centrifugal pump الأول عند
 أقطار مختلفة للدافع عند سرعة دورات ثابتة والثاني عند سرعات دوران مختلفة مع ثبات قطر
 الدافع impeller

8-1-1 المضخة وقوة الموتور والكفاءة Pump and Motor Power and Efficiency

Efficiency

الطاقة المولدة والتي تستخدمها المضخة يمكن التعبير عنها بثلاث صور هي :

• قوة الماء (PW) Water power وهي الطاقة اللازمة لضخ السائل من مكان لآخر

وهي نفس طاقة السائل عند مغادرة المضخة وهي تساوي كل فواقد الطاقة في نظام الضخ

• قوة (PB) Brake power وهي الطاقة التي يعطيها الموتور للمضخة وهي تساوي

القوة المبذولة على عامود المضخة ($PW > PB$)

• قوة الهدار او الموتور (PM) Wire or motor power وهي القوة الكهربائية اللازمة

$PM > PB$

9-1-1 الكفاءة Efficiency

كفاءة المضخة هي الفرق بين قوة brake power الداخلة وقوة المياه الخارجة وهي دائما

أقل من (1) صحيح وكفاءة الموتور هي الفرق بين قوة دخل الموتور وقوة الخارجة brake

power ويعبر عن النسبة المئوية لكفاءة المضخة بالعلاقة :

$$100 \times \frac{PW}{PB}$$

وللموتور بالعلاقة

$$100 \times \frac{PM}{PB}$$

حيث الحصان الواحد (1 hp) يساوي : 0.7457 Kw او 550 ft-lb/s او 33 000 ft-

lb/min شغل

10-1-1 قوانين قابلية المضخة Pump Affinity Laws

قوانين قابلية المضخة هي العلاقة التي تحدد اداء المضخة بناء على سرعة الدوران أو قطر الدافع وهي تستخدم في كيفية تغيير نظام الضخ ليناسب تصميم او ظروف تشغيل جديدة فمثلا اذا زاد التدفق فيجب زيادة سرعة المضخة او قطر الدافع impeller

11-1-1 سرعة دوران المضخة Pump Rotational Speed

عندما تتغير سرعة دوران المضخة ω يجب تطبيق العلاقات الثلاثة التالية :

- سعة التدفق Q تتغير طرديا مع السرعة ω

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

- الضغط head H يتغير طرديا مع مربع السرعة

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2$$

- قوة الحصان (P) brake horsepower تتغير طرديا مع مكعب السرعة

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^3$$

12-1-1 قطر المروحة (بكرة أو دافع) المضخة Pump Impeller Diameter

عندما يتغير قطر مروحة المضخة تتغير العلاقات الثلاثة التالية :

- سعة التدفق Q تتغير طرديا مع السرعة مع مكعب القطر D

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3$$

- الضغط head H يتغير طرديا مع مربع القطر

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$$

- قوة توقف الحصان (P) brake horsepower تتغير طرديا مع الأس الخامس لقطر الدافع

$$D2/D1)^{5P2/P1} = ($$

حيث ان ارقم (1) في كل المعادلات يشير الى خصائص معلومة أو موجودة والرقم (2) يشير الى خصائص جديدة .

يمكن انشاء منحنى مضخة جديد بعمل التالي :

- اختيار نقطة على منحنى المضخة الحالية وتسجيل محاوره (Q1, H1) coordinate
- اختيار سرعة تشغيل جديدة
- حساب نقطة على منحنى المضخة الجديد باستخدام قوانين القابلية للسرعة ومنها نحصل على محاور جديدة (Q2, H2) coordinate تقع في منحنى المضخة الجديد
- نكرر ماسبق مع اعداد كافية من النقاط على المنحنى حتى نحصل على منحنى للمضخة عند سرعة تشغيل جديدة
- عين ما اذا كان المنحنى الجديد للمضخة يلائم التغيير الحاصل
- اختار سرعة تشغيل جديدة واعد العملية اذا لزم الأمر

1-1-13 سرعة المروحة النوعية Impeller Specific Speed

سرعة المروحة النوعية هي عدد اللفات في الدقيقة التي عندها حسابيا يدور دافع مماثل اذا تم تشغيله ليعمل ضد ضغوط قدرها قدم واحدة ويتم تصنيف المضخات حسب خصائصها الحسابية بنسبتها لسعة المضخة والضغط H والسرعة عند الكفاءة المثالية ويعبر عن السرعة النوعية بالعلاقة :

$$\omega S = \omega \sqrt{Q}/H^{0.75}$$

حيث ωS السرعة النوعية للمضخة ؛ ω سرعة الدوران دورة لكل دقيقة rpm ؛ Q التدفق عند الكفاءة المثالية (L/s or gpm) ؛ H الضغط الكلي (m or ft)

السرعة النوعية للدافع تشير الى شكله وخصائصه لأن نسب الأبعاد تتغير مع السرعة وبالتالي يساعد مهندس التصميم على توقع النسب المطلوبة ويساعد مهندس التطبيق على فحص حدود السحب أو الشفط.

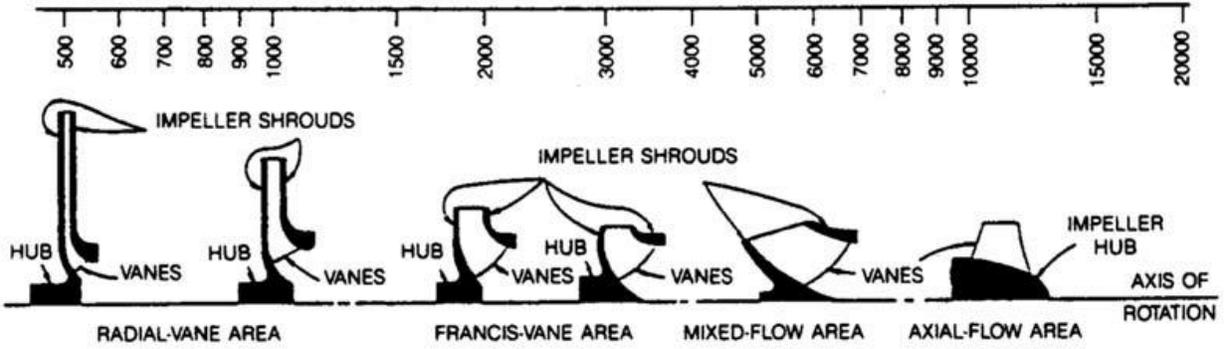
تتقسم المضخات تجاريا الى ثلاثة اصناف هي :

مضخات التدفق القطري radial-flow (يدخل السائل محور المضخة pump hub ويتدفق قطريا في المحيط ويخرج بزاوية 90 درجة من نقطة دخوله وتكون السرعة النوعية للمضخات ذات دافع الدخول الواحد أقل من 4200 وثنائية مدخل الدوافع اقل من 6000)

مضخات التدفق المحوري axial-flow وتسمى ايضا المضخة المروحية (propeller) لها مدخل واحد للدافع مع مدخل محوري للتدفق ويكون التفريغ محوريا تقريبا بزاوية 180 درجة من نقطة الدخول والسرعة النوعية لها اكثر من 9000 .

مضخات التدفق المختلط Mixed-flow في مضخات الدافع الواحد يدخل السائل محوريا ويفرغ محوريا وقطريا بزاوية 45 درجة من نقطة الدخول وتتراوح السرعة النوعية 4200-9000

المضخات التي تقع بين مضخات التدفق المختلط والقطري السرعة النوعية عادة بين 1500-4000



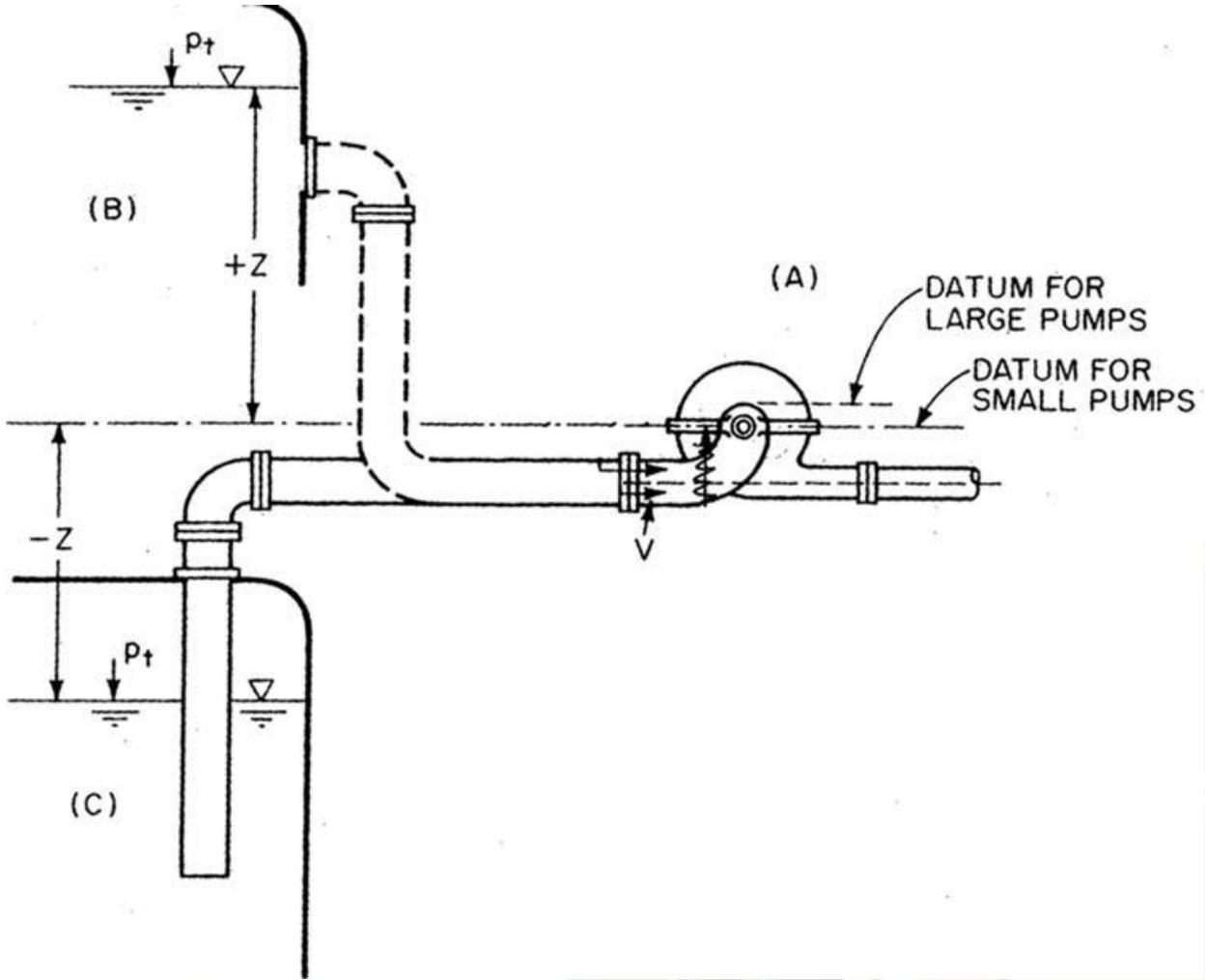
Values of Specific Speed

والعديد من المضخات التي تعتبر مزيج منها تتراوح 1000-6000 وتستخدم الدوافع ثنائية الشفط غالبا كدوافع احادية الشفط .

يتم حساب صافي الشفط الإيجابي الرأسي من العلاقة التالية :

$$\text{Net Positive Suction Head NPSHA} = \frac{P_{atm} - P_{vap}}{\gamma} \mp Z_w - H_l$$

حيث P_{atm} هو الضغط الجوي المبذول على سطح السائل لناحية السحب للمضخة وهو مرتبط بالارتفاع (عن سطح البحر) عن سطح السائل و P_{vap} هو الضغط البخاري للسائل ويرتبط بدرجة حرارته وسحب المضخة و Z_w المسافة الرأسية من سطح السائل الى خط المنتصف (ويكون سالب اذا كان سطح السائل اسفل خط المنتصف وموجب اذا كان اعلاه) و H_l مجموع فواقد الضغوط في مواسير السحب والرسم التالي يوضح حساب $NPSH$



ولتجنب تجويف المضخة pump cavitation يجب ان تكون العلاقة التالية صحيحة

$$NPSHA > NPSHR$$

المثالي التالي يوضح احتياجات المضخة للطاقة ؛ احسب قوة الحصان المبذولة من مضخة ؛

وحجم الموتور الكهربائي (wire hp) و والطاقة التي يستهلكها الموتور والتكلفة الدورية للطاقة

الكهربية المستهلكة من البيانات التالية :

Flow = 300 gpm,

Total head = 175 ft

Pump efficiency = 85%,

Motor efficiency = 90%,

Pump run time = 12 hours/day and 4 days/week

$$P_w = \frac{Q \times 8.34 \text{ lbs/gal} \times TDH}{33000 \text{ ft}\cdot\text{lb}/\text{min}}$$

قوة ضخ الماء تكون :

$$P_w = \frac{300 \times 8.34 \text{ lbs/gal} \times 175}{33000 \text{ ft}\cdot\text{lb}/\text{min}} = 13.3 \text{ hp}$$

قوة الموتور brake power

$$P_B = \frac{P_w}{\text{Pump Efficiency } 100\%}$$

$$P_B = \frac{13.3}{\frac{85}{100}} = 15.6 \text{ hP}$$

قوة هدر الموتور motor's wire power

$$P_M = \frac{P_B}{\text{motor Efficiency } 100\%}$$

$$P_M = \frac{15.5}{\frac{90}{100}} = 17.3 \text{ hP}$$

استهلاك الطاقة

$$WM = P_M \times 746 \text{ W /hp}$$

$$WM = 17.5 \times 746 \text{ W /hp} = 12.9 \text{ kW}$$

2-1 تصنيف المضخات بالمحطة

Classification of pumps

يتم تصنيف المضخات حسب كيفية اضافتها طاقة للمائع او السائل الذي يتم ضخه وهي طبقا لذلك اما

مضخات حركية (ديناميكية kinetic (dynamic) وتسمى ايضا الطلمبات الديناميكية الدوارة وهي مضخات تضيف طاقة متواصلة للمائع او السائل ومن اشهرها مضخات الطرد المركزي centrifugal pump وتستخدم في نقل السوائل مثل المياه المعالجة ومياه الصرف الخام ومن أمثلة الطلمبات الديناميكية الدوارة :الطلمبة الطاردة المركزية، والطلمبة ذات السريان المحورى، والطلمبة ذات السريان المختلط.

1-2-1 المضخة الطاردة المركزية (Centrifugal pump)

وهي موجودة بمحطة معالجة الصرف بينبع في محطة ضخ مياه الري . عند دوران المروحة، تنتقل المياه بفعل الطرد المركزي من فتحة دخولها إلى المروحة، فى مسار تحدده ريش المروحة الداخلية، التى تقذف به داخل تجويف الغلاف الحاوى ثم فتحة الخروج من الغلاف إلى شبكة المواسير المتصلة بفتحة الخروج أو الطرد .وتوجد الطلمبات الطاردة المركزية فى

عدة أشكال مختلفة حسب طبيعة الاستخدام، فتوجد منها الطلمبات الرأسية ذات أعمدة الإدارة والطلمبات ذات الاتصال المزدوج بدون عمود كردان والطلمبات الأفقية والطلمبات الغاطسة.

2-2-1المضخات المروحية Propeller

ويوجد منها أربعة مضخات لتدوير المزيج المتخمر من حوض التهوية رقم 3 الى الحوض رقم 2 فى حالة العمل بطريقة نزع النترتة المسبق .

3-2-1مضخات الإزاحة الموجبة

وهي موجودة في وحدة نزع المياه من الحمأة لتغذية الاحزمة الضاغطة بالحمأة وأيضا تستخدم في المحطة لنقل الحمأة منزوعة المياه الى المجفف .

مضخات الإزاحة الموجبة positive-displacement وهي تضيف طاقة دوريا لجزء محدود من السائل المنقول

1-2-4 المضخة محورية السريان (Axial flow submersed pumps)

وهي موجودة بمحطة معالجة الصرف بينبع في محطة المضخات الوسيطة intermediate pump station لنقل المياه من خزان المياه المطهرة بالأشعة الى خزان المياه الرائقة

استخدام الطلمبات في أنظمة الصرف الصحي

نوع المضخة	الوظيفة	نوع الإستخدام
طاردة مركزية، محورية ومختلطة	لرفع المياه من المصدر إلى عمليات التنقية	خدمة بسيطة
طاردة مركزية، محورية ومختلطة	لضخ المياه تحت ضغط إلى خط الطرد الصاعد	خدمة شاقة
إزاحة موجبة	لإضافة الجرعة المطلوبة من المحاليل الكيميائية إلى عمليات التنقية المختلفة	التغذية بالكيماويات
إزاحة موجبة أو طاردة مركزية	لضخ المياه من نقاط جمع العينات إلى المعمل أو إلى جهاز التحليل الأوتوماتيكي	أخذ عينات
إزاحة موجبة أو طاردة مركزية طلمبات حلزونية.	لضخ الحمأة المترسبة في أحواض التنقية إلى أماكن معالجتها أو التخلص منها لإعادة الحمأة الي أحواض التهوية (الحمأة المعادة)	الحمأة

1-2-5 محددات الأداء

محددات الأداء الكمية فى الطلبات هى:

*معدل التصرف (م ٣ /س) أو (ل /ث)

*ارتفاع الضغط عبر الطلمبة (نيوتن /م ٢) أو (كجم /سم ٢) أو متر.

وغالبا ما يعبر عنه بمقدار ضاغط الطلمبة (الرفع) وهو ارتفاع عمود السائل الذى تحدثه الطلمبة ويقاس بالمتر.

والطلمبة ذات الانسياب المحورى هى التى تحقق أقصى معدل تصرف ممكن، أما الطلمبة الترددية الموجبة فهى التى تعطى أقصى قيمة للضغط (الرفع)

1-2-6 تقسيم الطلبات طبقاً لمحددات الأداء

ما بين الطلمبة ذات الانسياب المحورى والطلمبة الترددية الموجبة تقع باقى أنواع الطلبات . تشغيل الطلمبة

1-2-7 الخطوات الضرورية عند بداية تشغيل الطلمبة لأول مرة:

1- يجب أن يقوم بالعمل شخص مؤهل ومدرب، كمندوب الشركة الصانعة، أو المهندس الاستشارى، حتى يستطيع المشغل الحصول على البيانات والمعلومات التى تساعده على تشغيل الطلمبة بسهولة ويسر وأمان.

2- قبل بداية تشغيل الطلمبة، يجب تشحيم الطلمبة وفقاً لتعليمات التشحيم، لف عمود الطلمبة يدوياً والتأكد من دورانه بحرية وسهولة، لف عمود الطلمبة يجب التأكد من أن العمود والمحرك مصطفان على نفس الخط، وأن الوصلة المرنة بين المحرك والطلمبة مضغوطة

3- التأكد من أن خصائص التيار الكهربائى متوافقة مع مواصفات المحرك والتأكد من سلامة التوصيلات الكهربائية

4- تشغيل المحرك لفترة وجيزة لاختبار اتجاه الدوران والتأكد من أن المحرك يدير الطلمبة باتجاه أسهم الإدارة المبينة على الطلمبة

5- فى حال وجود وحدات منع تسرب الماء المنفصلة أو نظام تحضير بالخلخلة يجب أولاً تجربة هذه الوحدات والتأكد من عملها بشكل جيد.

6-التأكد من أن محبس الطرد مفتوح في حالة الطلمبات المحورية ومغلقة في حالة الطلمبات الطاردة المركزية.

7-الانتباه إلى أنه لا يجوز تشغيل الطلمبة قبل تحضيرها بالماء (سحب الهواء من جسم الطلمبة وماسورة السحب) لبدء العمل، ولتشغيل الطلمبة يجب أولاً ملء الطلمبة بالكامل بالماء، وذلك لتفريغ الهواء من الطلمبة

(أحياناً ما يتم ذلك بشكل تلقائي)، وأحياناً يوجد صمام خاص لإكمال العملية، إذ لا يجوز تشغيل الطلمبة قبل تحضيرها وسحب الهواء منها.

بعد تشغيل الطلمبة

- *التأكد من أن اتجاه الدوران صحيحاً وفقاً للأسهم المبينة على المضخة
- *التأكد من عدم وجود تسرب للماء من صناديق الحشوات .
- *مراجعة حرارة كراسي التحميل بسبب قلة أو زيادة التشحيم .
- *التأكد من أن الوصلة المرنة تعمل بسلاسة ولا يصدر عنها صوتاً مزعجاً، أما في حال كونه مزعجاً، فالسبب قد يعود إلى عدم إصطفاف المحرك مع العمود على نفس الخط.
- *تفحص صلابة تثبيت الطلمبة .
- *مراجعة شدة التيار المسحوب ومقارنته بالتيار المقنن والمدون على كارت التشغيل.
- وللتأكد من أن الطلمبة الجيدة تعطي كمية التدفق والضغط التصميمي فإنه يجب قياس كلاً من التدفق والضغط ومقارنتهما بقيم ومنحنيات الأداء وفقاً لتعليمات المصنع، وفي حال عدم توافق القيم الواقعية مع بيانات المصنع، فيجب البحث عن أسباب الخلل التي قد تكون في الخطوط أو التوصيلات مع فحص مواقع التسرب إن وجدت.

الأسباب التي تؤدي إلى خفض تصرف الطلمبة:

يمكن إيجاز بعض مشاكل التشغيل التي تؤدي إلى خفض كفاءة الطلمبة وبالتالي تؤدي إلى خفض كمية تصرف الطلمبة

*الطلمبة غير مفرغة من الهواء بالكامل .

*سرعة المحرك بطيئة جداً .

- * عمود الضخ عالٍ جداً (الضاغط المانومتري) مروحة الطلمبة مسدودة
- * مدخل خط السحب مرتفع مما يسمح للهواء بالدخول إليه أثناء السحب .
- * الصمامات مغلقة كلياً أو جزئياً .
- * تقادم المروحة مما أدى الي تآكل اجزاء منها .
- * خلل فى خابور ربط الريشة بعمود الطلمبة .
- * كسر فى الوصلة المرنة .
- * تقادم حلقات التآكل

قياس كفاءة الطلمبات

من المهم قياس والتعرف على كفاءة أداء الطلمبات الطرد المركزي، وتستخدم طريقتان لتقييم وتحليل أداء طلمبات الطرد المركزي . أما الطريقة الأولى فهي حساب الكفاءة الكلية للطلمبة وهذه الطريقة تعتمد على مقدار الطاقة الميكانيكية لعمود إدارة الطلمبة (القدرة الفرملية) أما الطريقة الثانية فهي حساب الكفاءة الهيدروليكية للطلمبة والتي تعتمد على حساب قيمة الطاقة المعطاة للسائل فى الجزء الدوار للطلمبة.

تحديد الكفاءة الكلية للطلمبة عمليا

نحتاج فى بعض الأحيان إلى تحديد حالة الطلمبة وكفاءتها الكلية ومقارنتها بالكفاءة التصميمية للطلمبة حيث أن ذلك يساعد فى:

- تحديد مدى احتياج الطلمبة إلى عمرة كاملة وتغيير ما يلزم (مروحة /شنابر /بللى ... الخ).
- * قياس وتحديد كفاءة الطلمبة بعد إجراء عمرة لها .
- * تحديد مدى الحاجة إلى استبدال الطلمبة بأخرى جديدة أو تقرير صلاحيتها واستمرارها فى العمل.

* التخطيط المستقبلى لتحديد الحاجة من المهمات أو قطع الغيار.

ويمكن اتباع الطرق التالية لحساب كفاءة الطلمبة عمليا:

* تحديد تصرف الطلمبة باللتر /ث

* تحديد الضاغط الذى تعمل عنده الطلمبة

* حساب القدرة الهيدروليكية المستهلكة بالحصان من المعادلة $P=QH75$

* حساب القدرة الهيدروليكية بالكيلوات

* قياس القدرة المستهلكة فعليا باستخدام عداد الكيلوات .ساعة

اختبار وتقييم أداء الطلمبات

يجب على مشغلي محطات معالجة مياه الصرف الصحي عمل الإجراءات اللازمة لتقييم أداء الطلمبات للوقوف على مدى كفاءتها ومدى مناسبتها للأعمال المنوطة بها ومدى احتياجها للأحلال والتجديد من عدمه، ولأداء هذه المهمة، يجب إجراء القياسات والفحوص التالية: قياس زمن التحضير اللازم لتشغيل الطلمبة (إذا كانت مزودة بنظام تحضير).

* قياس ضغط السحب وكذلك ضغط الطرد للطلمبة .

* قياس درجات الحرارة على كراسى التحميل للطلمبة والمحرك .

* قياس حمل وجهد التشغيل لمحرك الطلمبة.

* قياس سرعة دوران عمود الإدارة للطلمبة والمحرك

* قياس درجة الاهتزاز للطلمبة والمحرك وتحديد صلاحية كل منهما

*مراجعة درجة الخلوص بين المروحة وجسم الطلمبة وبين قسمي الضغط المنخفض والعالي داخل الطلمبة.

* تحديد درجة التآكل بجسم الطلمبة والمروحة .

*الفحص الظاهري للمكونات الكهربائية باللوحات .

*الفحص الظاهري للمحركات والكابلات والمحولات .

ويجب توفير أجهزة القياس اللازمة لقياس البنود التالية:

* درجة اهتزاز المجموعة (الطلمبة والمحرك)

* درجة حرارة كراسى التحميل وجسم المحرك.

* سرعة دوران عمود الإدارة للطلمبة.

* قياس تيار تشغيل محرك الطلمبة .

*جهاز اختبار العزل .

1-2-8 المحركات الكهربائية

يعتمد تشغيل وحدات محطات الصرف الصحي على المحركات الكهربائية بصفة أساسية، ومن هنا جاءت أهمية تشغيل وصيانة المحركات الكهربائية بطريقة صحيحة وسليمة وآمنة. وهذا لا يتأتى إلا بالإلمام التام والمعرفة الكافية بكيفية عمل المحركات ومكوناتها وأنواعها واستخداماتها والطرق المثلى لتشغيلها وصيانتها وإصلاحها.

أساسيات التشغيل

بعد استلام أى محرك وفحصه وتركيبه أو بعد توقفه لفترة طويلة أو بعد إصلاحه، يجب إجراء بعض الاختبارات عليه قبل تشغيله وهى ما تسمى باختبارات ما قبل التشغيل أو إجراءات ما قبل التشغيل.

قبل بدء التشغيل الأولى

بعد إتمام تركيب المحرك وقبل بدء التشغيل يجب مراجعة ما يلى:

- 1- راجع توصيلات المحرك والمقوم وتوصيلات دوائر التحكم، يجب أن تكون جميع التوصيلات مطابقة للرسومات.
- 2- تأكد من أن جهد وتردد مصدر التغذية مطابقة للبيانات الموجودة على لوحة البيانات للمحرك.
- 3- إذا كان قد تم تخزين المحرك سواء قبل التركيب أو بعده، راجع الإرشادات الخاصة بذلك بكتيب المصنع لإعداد المحرك للخدمة.
- 4- راجع سجل الخدمة والبطاقة المصاحبة للمحرك للتأكد من أن كراسى التحميل تم تشحيمها بالطريقة المناسبة.
- 5- كراسى التحميل التى تستخدم الزيت، يتم شحنها من المصنع بدون زيت، يجب ملء الخزان بالزيت قبل التشغيل.

بدء التشغيل الأولى

1- إذا أمكن، افصل الحمل الخارجى عن المحرك، ولف العامود باليد للتأكد من أن الدوران يتم بدون أى إعاقة.

2- ابدأ تشغيل المحرك بأقل حمل لمدة كافية لاختبار إتجاه الدوران والتأكد من عدم وجود حالات غير عادية.

3- اصغ لأى ضوضاء زائدة، والإهتزاز غير العادى، وصوت الطقطقة، إذا تبين وجود أى من هذه الحالات افصل القدرة الكهربائية عن المحرك فوراً. راقب بكل إهتمام وعناية أى ملاحظات غير عادية تحدث أثناء توقف المحرك، ابحث عن السبب وحاول إصلاحه قبل وضع المحرك فى الخدمة.

5- عمليات البدء والتوقف المتكررة قد تسبب زيادة الحرارة وتلف العزل. انتظر فترة من الوقت بين كل إيقاف وبدء، لإعطاء فرصة لتبريد

6- مرات فى - الملفات، يجب ألا تزيد عدد مرات التشغيل للمحرك عن 4 الساعة على أقصى تقدير.

7- عندما تكون جميع المراجعات التى تمت مرضية، شغل المحرك بأقل حمل وتنبه لأى ملاحظات غير عادية؛ زد الحمل تدريجياً وببطء حتى تصل إلى التحميل الكامل؛ تأكد من أداء المحرك بطريقة مرضية.

التشغيل المعتاد للمحرك

ابدأ تشغيل المحرك طبقاً للإرشادات الخاصة ببدء تشغيل المحرك مع المعدة المركب عليها . فى بعض الأحيان يتم تقليل الحمل إلى أقل قيمة، خاصة عند بدء التشغيل.

أهم المشاكل التى تتعرض لها المحركات أثناء التشغيل

من المعروف أن المحركات الحثية حساسة وتعتبر جزءاً رئيسياً فى تشغيل وحدات محطات الصرف الصحى وزيادة كفاءتها .فإذا حدثت بها أعطال فقد يكون ذلك أمراً خطيراً جداً لأن توقف ضخ الطلمبات يخلق مشاكل حرجة فى التشغيل بالإضافة إلى أن إصلاح أو تغيير

المحرك يكون مكلفاً جداً. فإذا تم تشغيل المحرك فى ظروف من النظافة والجفاف طبقاً للحمل وخصائص التشغيل المدونة بلوحة تسمية المحرك، فليس هناك أى سبب يمنع تشغيل المحرك لسنوات وسنوات بدون أعمال صيانة كبيرة ومكلفة. لكن هناك عدداً من العوامل المختلفة التى تجعل المحرك يعمل خارج المقننات الخاصة به. وعندما يحدث هذا فإن عمر المحرك يقل بدرجة كبيرة. وفيما يلى عرض لبعض المشاكل التى تواجه تشغيل المحركات وحلولها:

المشكلة رقم (1) التلوث:

التلوث هنا يعنى رواسب الأتربة والشحم وخلافة، فانهيار العزل يمكن أن يحدث عندما تتجمع رواسب الأتربة والشحم، أو أى مواد غريبة على الملفات وتمنع إشعاع الحرارة المتولدة فى ملفات المحرك أثناء التشغيل العادى، وهذا يسبب تكون بقع ساخنة موضعية فى الملفات، وعندما ينهار العزل تماماً، سوف يسبب قصر بين وجه وآخر يميزه حدوث شرر، و بالتالى انصهار بين ملفات الأوجه.

الحل:

حافظ على المحرك نظيفاً وخالياً من ملوثات الأوساخ أو الشحم. اتبع توصيات الصانع بخصوص طريقة التشحيم والمواد المستخدمة لتشحيم كراسى التحميل للمحرك.

مشكلة رقم ٢ دورة تشغيل قصيرة أو بدء دوران زائد عن الحد:

يحدث هذا عندما يقوم نظام التحكم الأتوماتيكي بعمليات توقف متكررة للطلبة والمحرك فى محطات الرفع استجابة للتغير فى مناسيب البئر المبتلة بسبب عيب فى نظام التحكم نفسه، أو نقص كمية المياه الواردة للمحطة عن المعدل التصميمى لها.

عندما يبدأ المحرك الحثى فى الدوران، فإن التيار المطلوب لمغنطة الملفات وبدء دوران العضو الدوار يمكن أن يصل من ٥ إلى ٨ مرات مثل تيار التشغيل المقنن (طبقاً للوسيلة المستخدمة فى بدء الحركة) على سبيل المثال، إذا كان التيار المعتاد للمحرك ١٠٠ أمبير للحمل الكامل فإن تتابع الحركة سيتطلب من ٥٠٠ إلى ٨٠٠ أمبير لبدء حركة المحرك.

فعندما يحدث تكرار لعملية البدء .فإن الحرارة المتولدة من تيارات البدء لا يكون لها فرصة الإشعاع وبالتالي فإن درجة حرارة الملفات الداخلية ترتفع مع كل بدء متتابع للمحرك .وبطريقة نمطية فإن المحركات حتى ١٠٠ حصان يجب ألا يزيد عدد مرات التشغيل عن ٤ - ٥ مرات في الساعة، وكلما زادت القدرة الحصانية يجب أن يقل عدد مرات البدء في الساعة.

الحل:

-الالتزام بعدد مرات التشغيل طبقاً لكتالوج الشركة المصنعة.

-الحركة بالجهد المنخفض، وغالباً ما تستخدم طريقة خفض الجهد في بدء الحركة بنظام بدء الحركة الناعم.

مشكلة رقم ٣ درجة الحرارة المحيطة بالمحرك مرتفعة:

إذا زادت درجة حرارة الغرفة المحيطة والموجود بها المحرك عن تلك المحددة على لوحة التسمية، فهذا سيؤدي إلى درجة حرارة تشغيل داخلية عالية .درجة الحرارة المحيطة في جميع أنواع العزل محددة بأربعين درجة مئوية ٤٠ ° م

الحل:

وفر تهوية مناسبة أو جهاز محركات خارج المبنى، خاصة إذا كان المناخ جنوبي حيث يمكن أن تزيد درجة حرارة المحيطة عن ٤٠ ° م

مشكلة رقم ٤ زعانف جسم المحرك معاقة

جميع أجسام المحركات مصممة لأقصى إشعاع للحرارة المتولدة داخلياً.

الحل:

في المحركات المفتوحة ذات الحواف المعدنية القوية لا توجد أي إعاقات بفتحات التهوية .ولكن في المحركات المقفولة، وذات التبريد بالمروحة فإن الاتساخات والشحم والأتربة التي تتكون على حواف الجسم سوف تقلل من قدرة الجسم على إشعاع الحرارة .حافظ على جسم المحرك نظيفاً.

مشكلة رقم ٥ غياب أحد الأوجه:

غياب أحد الأوجه تشير إلى الحالة التي يحدث فيها نقص أحد الأوجه سواء من شركة الكهرباء أو نتيجة احتراق أحد المصهرات بلوحة التحكم فى المحركات .فى مثل هذه الحالات فإن المحرك الاستنتاجى (الحثى) الذى يكون فى حالة تشغيل سيستمر فى الدوران، وسوف يسبب مزيداً من الضوضاء والاهتزاز مع ارتفاع كبير للتيار المسحوب إلى أن تحس به أجهزة الحماية ويفصل عن طريق ريليهات زيادة الحمل. إذا كان المحرك لا يعمل أصلاً فالمحرك لن يقوم أو يدور طالما أن أحد الأوجه مفقود .ويتسبب فقد أحد الأوجه فى تولد تيارات غير متزنة تدور فى العضو الدوار ينتج عنها زيادة فى درجة حرارة المحرك الداخلية تيار الوجه الناقص يوزع على الوجهين الباقين

الحل:

لتصحيح وضع نقص أحد الأوجه، حدد السبب فى غياب الوجه، هل هو شركة الكهرباء (مشكلة عامة) أو احتراق أحد المصهرات أو فصل فى قاطع الدائرة فى لوحة تحكم المحرك و بمجرد معرفة السبب وتحديده، يصبح من السهل تصحيحه بالاتصال بشركة الكهرباء وإبلاغها بنقص أحد الأوجه. أو بتغيير المصهر المحترق أو فحص قاطع الدائرة وإعادة تشغيله.

مشكلة رقم ٦ زيادة حمل المحرك:

وهو عبارة عن تشغيل المحرك بطريقة تجعله يسحب تياراً زائداً عن ما هو مدون بلوحة البيانات .يمكن أن يحدث تعدى الحمل بدون قصد من خلال تشغيل غير سليم للطلبة بتغيير قطر المروحة أو من خلال تغير فى ظروف التشغيل الديناميكي للطلبة الذى يغير من الرفع الديناميكي الكلى. توجد بعض حالات أخرى يمكن أن تسبب زيادة حمل المحرك، تشمل مشاكل كراسى التحميل وحشر جسم بين المروحة الدوارة وجسم الطلبة (الغلاف) كذلك عندما تتداخل خرق أو صخور أو أخشاب فى فتحات المروحة أو بين المروحة وجسم الطلبة فإن هذا يتطلب طاقة أكبر لإدارة الطلبة وتسبب زيادة الحمل.

الحل:

مطلوب تفهم كامل لعلم الهيدروليكا وظروف التشغيل الحالية قبل إجراء أى تغيير فى حالة الظلمة من حيث أن التغييرات غير السليمة قد يكون لها تأثيرات سيئة على المحرك .لابد أن نكون على علم ومعرفة بما تفعله قبل إجراء أى تغييرات.

مشكلة رقم ٧ عدم إتزان الجهد:

تغيير قيمة الجهد: فى حدود $\pm 10\%$ على الأوجه الثلاثة معاً. عدم تماثل الجهد على الثلاثة أوجه لا يزيد عن $\pm 5,2\%$ بين الوجه والآخر لأنه يسبب عدم تساوى فى التيار فى حدود $\pm 10\%$ الذى يؤدى بدوره إلى ارتفاع زائد فى حرارة المحرك بنسبة 20% والتي تؤدى إلى انخفاض مقاومة عزل الملفات.

أسباب عدم تماثل أو عدم إتزان الجهد على الأوجه الثلاثة:

- 1- انخفاض جهد أحد الأوجه من المصدر.
- 2- تلف أحد ملفات المحرك.
- 3- التوصيلات المفككة والمقاومة العالية لنقط التلامس بقواطع الدائرة أو مقومات الحركة.

مشكلة رقم ٨ عدم إتزان التيار أو الحمل:

يجب مراجعة التيار المار بالمحرك من حيث إتزانه فى الأوجه الثلاثة، ويتم قياس التيار عن طريق أجهزة التيار المبينة بلوحة التشغيل أو باستخدام بنسة الأمبير أسباب حدوث عدم إتزان التيار:

- 1- مصدر الكهرباء الخارجية بما فى ذلك لوحة التحكم.
- 2- مشكلة داخلية فى ملفات المحرك أو فقد فى كابلات العضو الثابت.

1-2-9 مسؤوليات وواجبات القائمين على تشغيل معدات محطات المعالجة

تتحدد مسؤوليات وواجبات القائمين على تشغيل محطات المعالجة في القيام بعدة مهام أساسية كما يلي:

- 1- تشغيل المعدات وإيقافها حسب تعليمات التشغيل والبرامج الزمنية لها.
- 2- ملاحظة ومراقبة أحوال التشغيل وتسجيلها لتحديد كفاءة تشغيل المعدات وتوقع الصيانات المطلوبة واحتياجات المحطة حتى تستمر في العمل بكفاءة.
- 3- تنظيم تشغيل المعدات بالتبادل.
- 4- القيام بأعمال الصيانة الروتينية البسيطة في المحطة، مثل عمليات التشحيم والتزييت للمعدات.
- 5- مراعاة تنفيذ تعليمات الأمن الصناعي أثناء العمل.
- 6- القيام بتسجيل بيانات التشغيل في النماذج الخاصة بذلك.
- 7- يراقب المعدات الكهربائية والميكانيكية وانتظام عملها.
- 8- الإبلاغ عن أية أعطال أو ظواهر غير طبيعية في المعدات إلى رؤسائه.
- 9- الفحص الظاهري للمعدات دورياً وحسب المهام المحددة، وخاصة قبل التشغيل.
- 10- تحميل المحطة على خطوط الكهرباء البديلة في حالة انقطاع التيار الكهربى عن الخطوط الرئيسية.
- 11- تشغيل وحدات التوليد الاحتياطية وإدخالها في الخدمة عند الحاجة إليها.
- 12- متابعة وقراءة وتسجيل قراءات أجهزة القياس (الضغط - الحرارة - التصرف)
- 13- إيقاف المحطة في حالة الطوارئ وإعادة التشغيل بعد زوال السبب أو العطل.

1-2-9-1 تقارير التشغيل الميكانيكي للمحطة

يعتمد تشغيل محطات المعالجة على قاعدة بيانات تتمثل في تقارير التشغيل الميكانيكي للمعدات وتقارير التشغيل الكيميائي بهدف تحليلها واتخاذ الإجراءات اللازمة (تعليمات، توصيات، ... ألخ) للتغلب على مشاكل التشغيل.

كما يجب عمل نماذج الإبلاغ عن الأعطل للمختصين عن الصيانة للقيام بأعمال الصيانة اللازمة .

نستعرض فيما يلي مجموعة من نماذج تقارير التشغيل اليومية وكذلك نماذج الإبلاغ عن الأعطال وكذلك نموذج لأمر شغل لإجراءات الصيانة وهذا مثال للتقارير



نماذج تقارير التشغيل اليومي لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي

1-مدخل المحطة

اليوم :	التاريخ /.../ 2017	التصرفات الواردة م ³ /يوم
المصافي الميكانيكية الأوتوماتيكية والمكبس ووحدة التعبئة		
		مصفاة 1
		مصفاة 2
		السير الناقل 1
		السير الناقل 2
		وحدة التعبئة والمكبس 1
		وحدة التعبئة والمكبس 2
أحواض الراسب الرملي وغرفة إزالة الزيوت والشحوم		
		نافخ الهواء لتهوية المياه الخام 1
		نافخ الهواء لتهوية المياه الخام 2
		نافخ الهواء لتهوية المياه الخام 3
		كوبري 1
		كوبري 2
		مضخة الرفع الهوائية 1
		مضخة الرفع الهوائية 2
		فاصل الرمال 1
		فاصل الرمال 2
		مضخات بيارة تجميع مياه صرف المحطة

2-الأحواض اللاهوائية

الأحواض اللاهوائية			
الحماة الطافية	نظافة الجدران والهدارات	لون المياه	الفحص الظاهري
الامبير	الحالة		
			خلاط حوض الإنتقاء
			خلاط حوض إزالة الفوسفور
			محبس الحماة الراجعة للأحواض
			محبس دخول المياه الخام للأحواض
			بوابة دخول حوض الإنتقاء
			بوابة دخول حوض إزالة الفوسفور
			بوابة خروج حوض إزالة الفوسفور
			محبس الحماة الراجعة لغرفة التوزيع على أحواض التهوية

3- أحواض التهوية

حوض رقم (1) حوض التوزيع		
الفحص الظاهري	لون المياه	نظافة الجدران والهدارات
متوسط تركيز الأكسجين	ملجم / ل	الحمأة الطافية
الخلاطات	الحالة	الامبير
خلاط 1		
خلاط 2		
خلاط 3		
خلاط 4		
خلاط 5		
خلاط 6		
المحابس	الحالة	الحالة
محبس هواء رئيسي 1		
محبس هواء رئيسي 2		
محابس الهواء الفرعية		
أجهزة القياس والمتابعة للعملية البيولوجية	الحالة	الحالة
جهاز قياس الأكسجين الذائب		
جهاز قياس تركيز الخليط المتخمر		
جهاز قياس جهد الأكسدة والإختزال		

حوض رقم (2)

الحمأة الطافية	نظافة الجدران والهدارات	لون المياه	الفحص الظاهري
	ملجم / ل		متوسط تركيز الأوكسجين
الامبير	الحالة		الخلاطات
			خلاط 1
			خلاط 2
			خلاط 3
			خلاط 4
			خلاط 5
			خلاط 6
			خلاط 7
	الحالة		المحابس
			محبس هواء رئيسي 1
			محبس هواء رئيسي 2
			محابس الهواء الفرعية
	الحالة		أجهزة القياس والمتابعة للعملية البيولوجية
			جهاز قياس الأوكسجين الذائب
			جهاز قياس تركيز الخليط المتخمر
			جهاز قياس جهد الأوكسدة والإختزال

حوض رقم (3)

الحمأة الطافية	نظافة الجدران والهدارات	لون المياه	الفحص الظاهري
	ملجم / ل		متوسط تركيز الأوكسجين
الامبير	الحالة		مضخات تدوير المزيج المتخمر
			مضخة 1
			مضخة 2
			مضخة 3
الامبير	الحالة		الخلطات
			خلاط 1
			خلاط 2
			خلاط 3
			خلاط 4
			خلاط 5
			خلاط 6
			خلاط 7
	الحالة		المحابس
			محبس هواء رئيسي 1
			محبس هواء رئيسي 2
			محابس الهواء الفرعية
	الحالة		أجهزة القياس والمتابعة للعملية البيولوجية
			جهاز قياس الأوكسجين الذائب
			جهاز قياس تركيز الخليط المتخمر
			جهاز قياس جهد الأوكسدة والإختزال

4-نوافخ الهواء

الضغط				عداد الضغط
				الرئيسي
الضغط	درجة الحرارة	الأمبير	ساعات التشغيل	نوافخ الهواء
				نافخ رقم (1)
				نافخ رقم (2)
				نافخ رقم (3)
				نافخ رقم (4)
				نافخ رقم (5)
				نافخ رقم (6)

5- أحواض الترسيب النهائي

تركيز الأكسجين	كمية الندف والخبث	الشفافية	سمك غطاء الحمأة	نظافة الهدارات والجدران وحاجز الخبث الطافي	أحواض الترسيب النهائي
					حوض رقم (1)
					حوض رقم (2)
					حوض رقم (3)

6- مضخات الحمأة الراجعة

مضخات الحمأة الراجعة	عدد ساعات التشغيل	حجم الحمأة المعادة م ³	نسبة الحمأة الراجعة إلى التصريفات الواردة % .
مضخة رقم 1			
مضخة رقم 2			
مضخة رقم 3			

7- مضخات الحمأة الزائدة

مضخات الحمأة الزائدة	عدد ساعات التشغيل	حجم الحمأة المعادة م ³	نسبة الحمأة الراجعة إلى التصريفات الواردة % .
مضخة رقم 1			
مضخة رقم 2			
مضخة رقم 3			

8-مضخات رفع الزيت (الخبث)

عدد ساعات التشغيل	مضخات رفع الزيت (الخبث)
	مضخة رقم (1)
	مضخة رقم (2)

9- حوض تخزين الحمأة ومثخن (مغلظ) الحمأة

	حوض تخزين الحمأة ومثخن (مغلظ) الحمأة
	الحمأة الطافية وطبيعتها
	نظافة الجدران الداخلية
	كمية الحمأة الخام الواردة للحوض
	زمن المكث
	كمية الحمأة المكثفة
	النسبة المئوية للمواد الصلبة بالحمأة بعد التثخين (التغليف) %
	كمية مياه التصافى

10- وحدة نزع المياه من الحمأة

	الأحزمة الضاغطة
	كمية الحمأة الداخلة م ٣
	كمية الحمأة الخارجة م ٣
	عدد الأحزمة بالخدمة:
	النسبة المئوية للمواد الصلبة بالحمأة بعد نزع المياه %
	كمية الحمأة بعد نزع المياه م ³
	كمية الحمأة الناتجة كمادة صلبة بالطن الجاف
	كفاءة الأحزمة الضاغطة %

11- مضخات تغذية الحمأة لوحدة نزع المياه من الحمأة

مضخات تغذية الحمأة	ساعات التشغيل	الأمبير
مضخة رقم 1		
مضخة رقم 2		
مضخة رقم 3		

12- مضخات تغذية البوليمر لوحدة نزع المياه من الحمأة

مضخات تغذية الحمأة	ساعات التشغيل:	الأمبير	كمية البوليمر المستهلكة كجم/يوم	تركيز المحلول السائل للبوليمر %
مضخة رقم 1				
مضخة رقم 2				
مضخة رقم 3				

13- المرشحات الرملية البطيئة

شفافية المياه الداخلة لخلايا الترشيح	
شفافية المياه الخارجة لخلايا الترشيح	
كمية الندف الطافية والحمأة الطافية	
عمق طبقة الأنثراثيت	
عمق طبقة الرمل	
قياس عدادات ضغط الوسط الترشيحي للخلايا	
حالة بوابات دخول المياه لخلايا الترشيح	
حالة محابس الغسيل العكسي لخلايا الترشيح	
حالة محابس الهواء للغسيل العكسي لخلايا الترشيح	
مضخات حقن الكلور للمرشحات	
مضخات حقن البوليمر للمرشحات	
عدد خلايا الترشيح بالخدمة	
كفاءة الفلاتر في ازالة المواد الصلبة العالقة %	

14- وحدة التطهير بالكلور

الجرعة ملجم/ل	ساعات التشغيل	مضخات تجريع الكلور السائل
		مضخة رقم 1
		مضخة رقم 2
		مضخة رقم 3

15- وحدة التطهير بالأشعة فوق البنفسجية

التطهير بالأشعة فوق البنفسجية	
	عدد المجموعات بالخدمة
	النسبة المئوية لنفاذية الضوء
	الجرعة ملل وات ثانية/سم ²
	درجة حموضة سائل التبريد
	حالة اللمبات
	كفاءة الوحدة في قتل الجراثيم من واقع نتائج المختبر

ثانيا : نموذج الإبلاغ عن عطل معدة.

هو نموذج يمكن المشغل من تسجيل الأعطال اليومية ويجب ان تتوفر للمشغلين في الورديات المختلفة وهذا مثال لها

فرع وزارة الزراعة والمياه والبيئة بمحافظة ينبع محطة معالجة مياه الصرف الصحي بمحافظة ينبع بلاغ عن عطل	
اسم المحطة :	التاريخ : / /
اسم المعدة المتعطلة :	الوقت : :
وصف العطل	
.....	
.....	
اسم المبلغ.....	
التوقيع :	

نظام أمر التشغيل

تتكلف صيانة المعدات والمنشآت تكاليف كبيرة ولكنها ضروري وقد تم وضع نظام أمر الشغل الذي يجب تطبيقه في هذه المحطة ويمكن تطبيقه ايضا في غيرها من المحطات لبدء أعمال الصيانة والتحكم في سريان العمل وتسجيل الأعمال التي تم أداؤها والتكاليف المتعلقة بها . ويجب تسجيل جميع أعمال الصيانة الوقائية والتصحيحية والتركيبات في نظام أمر الشغل حتى يمكن تجميع كل المعلومات وحساب جميع التكاليف. ويمكن بدء أمر الشغل بواسطة الشخص المسئول عن جداول الصيانة الوقائية أو بواسطة العاملين بالتشغيل أو بواسطة أى شخص آخر يتولي هذه المسئولية في المحطة ويتم إرسال أمر الشغل إلي الأفراد المسئولين في قسم الصيانة سواء في المحطة أو في الورش المركزية (إن وجدت) بعد ذلك يتم إسناد مهمة تنفيذ ما ورد بأمر الشغل إلي الأشخاص المناسبين طبقا لنوعية العمل الذي يتم أداؤه أما الأعمال التي تتطلب إمكانيات أو معدات خاصة غير متوفرة بقسم الصيانة بالشركة فيمكن إسنادها إلي مقاول أو ورشة بالقطاع الخاص.

عند انتهاء العمل يقوم العاملین بتسجيل المعلومات التالية في أمر الشغل:

- 1- وصف العمل الذي تم أداؤه للمعدة
 - 2- عدد الأشخاص الذين قاموا بالعمل وعدد ساعات العمل التي استغرقوها
 - 3- قطع الغيار التي تم استخدامها وأرقامها (رقم الجزء، الرقم المخزني)
 - 4- أنواع وكميات المواد الأخرى التي استخدمت مثل الزيت والشحم والمسامير ومواد وأدوات التنظيف حيث يقومون بإضافة الأعمال إلي السجل الزمني (التاريخي) لصيانة المعدة ؛ بعد ذلك يتم إرسال نسخة من أمر الشغل إلي الإدارة المسئولة وهي فرع وزارة الزراعة والمياه والبيئة ونسخة يتم الإحتفاظ بها في ملفات المحطة.
- والشكل التالي يوضح نموذج لأمر تشغيل

فرع وزارة الزراعة والمياه والبيئة بمحافظة ينبع
محطة معالجة مياه الصرف الصحي بمحافظة ينبع
أمر شغل صيانة

الموقع ١

أمر شغل رقم _____ التاريخ : / / 2017 صادر بواسطة _____

أسم المحطة : _____

رقم المعدة : _____ اسم المعدة : _____

نوع الصيانة : وقائية تصحيحية تركيبات خارجية
 كهرباء ميكانيكا سباكة مدنى
 الأولوية : طارئ عاجل روتينى

وصف المشكلة أو أعمال الصيانة المطلوبة :

العدد - قطع الغيار - الأجهزة المواد المطلوبة

الأعمال التي تم إنجازها :

الأفراد القائمون بالعمل

الإسم	الوظيفة	ساعات العمل	تكلفة العمالة

قطع الغيار والمواد الخام والأجهزة المستخدمة

الإسم	رقم الجزء او الرقم المخزني	الكمية/الزمن	ثمن القطعة

التكلفة الكلية

التوقيع تاريخ الإنتهاء :

بطاقة بيانات المعدة (بطاقة بيانات فنية لمضخة)

فرع وزارة الزراعة والمياه والبيئة بمحافظة ينبع محطة معالجة مياه الصرف الصحي بمحافظة ينبع أمر تشغيل صيانة			
سجل البيانات الفنية للمعدات			
			محطة :
			الموقع :
الطلمبة			
		الرقم الكودي	نوع الطلمبة
		سنة الصنع	اسم المصنع
		الرقم المسلسل	الطرارز
		الرفع	سعة التصريف
		نوع الزيت / الشحم	رقم الكرسي (1)
		نوع الزيت / الشحم	رقم الكرسي (2)
		مقاس الحشو	
مانع تسرب ميكانيكي			
		قطر الطرد	قطر السحب
		نوع محبس الطرد	نوع محبس السحب
تاريخ التركيب			
الموتور الكهربائي			
		سنة الصنع	اسم المصنع
		رقم التسلسل	رقم الطراز
التردد	التيار	الجهد	القدرة
طريقة البدء			
		نوع الزيت / الشحم	رقم الكرسي (1)
		نوع الزيت / الشحم	رقم الكرسي (2)
ازدواج نقل الحركة (الكوبلنج)			
		الرقم المسلسل	اسم المصنع
		المقاس	الموديل
بيانات إضافية			

نموذج أمر صرف قطع غيار للمعدات

الإسم	الوظيفة	ساعات العمل	ملاحظات
قطع الغيار والمواد الخام والأجهزة المستخدمة			
الإسم	رقم الجزء او الرقم المخزني	الكمية/الزمن	بلد المنشأ
			التكلفة الكلية
			تاريخ الإنتهاء



1-2-9-2 نماذج التشغيل الكيميائي

تنقسم الاختبارات التي تجرى في مختبر محطة معالجة مياه الصرف الصحي إلى قسمين رئيسيين هما إختبارات الجودة وإختبارات متابعة عملية التشغيل .

إختبارات الجودة وهي الاختبارات التي تجرى على المياه المعالجة لتقييم كفاءة المحطة في معالجة المياه والتأكد من مطابقة المياه المعالجة للمعايير طبقاً لللائحة التنفيذية الخاصة بمعايير مياه الصرف الصحي المعالجة ؛ كما أنها تعطي مؤشرات على الخلل أو المشاكل التي يمكن أن تكون متواجدة في عملية التشغيل ويتم استخدام بياناتها في حسابات كفاءة كل وحدة من وحدات المعالجة وتقييم كفاءة عملية المعالجة بصفة عامة .

إختبارات متابعة التشغيل وهي تلزم لكي يستطيع المشغل إجراء الحسابات اللازمة لمعرفة العديد من معايير عملية التشغيل مثل عمر الحمأة ومعدل تدفق الحمأة الراجعة ومعدل صرف الحمأة الزائدة ؛ كما تستخدم في تفسير مشاكل المعالجة البيولوجية وكيفية التحكم في عملية الحمأة النشطة والمشاكل المرتبطة وكيفية معالجة هذه المشاكل ؛ تستخدم أيضاً مع إختبارات الجودة وإختبارات المياه الخام في تقييم كفاءة وحدات المعالجة والمحطة عموماً .

لا يمكن أن تتم عملية تشغيل بطريقة صحيحة وكفاءة عالية بدون متابعة بيانات التحاليل التي تجرى يوميا على المياه والحمأة ولا يمكن التحكم بشكل فعال وصحيح في عملية الحمأة النشطة بالمحطة بدون الرجوع لهذه الإختبارات واستخدامها في الحسابات التي تجرى لضبط عملية التشغيل ؛ ويمكن إجمال القول في أن كل الحسابات الواردة في خطة التشغيل هذه مبنية على نتائج هذه الاختبارات فضلا على المعايير التي تم عليها تصميم المحطة .

إن الاختبارات الكيميائية والكيموحيوية والفحص المجهرى للمياه والحمأة وتطويع بياناتها هو حجر الزاوية في نجاح عملية المعالجة البيولوجية ؛ كما أن دراية المشغل بهذه البيانات والقدرة على تحليل البيانات وربط هذه البيانات بعملية التشغيل مع قاعدة المعرفة العلمية بسلوك الكائنات الحية ونشاطها وحركية هذه الكائنات هو الأساس في نجاح عملية المعالجة اذا كانت عمليات الصيانة جيدة .

وأخيرا لا يمكن لخبراء تصميم محطات معالجة مياه الصرف الصحي إجراء تصميمات صحيحة لمحطة ما دون معرفة جيدة بحركية الكائنات الحية وخصائصها ونشاطها البيولوجي والكيموحيوي حيث أن عملية التصميم كلها تبنى على هذه المعرفة مع خصائص المياه الخام الكيميائية .

تشمل نماذج التشغيل الكيميائي متابعة نشاط الكائنات الحية الحيوي في مراحل المعالجة المختلفة والذي والذي يكون مصحوبا بسلسلة من التفاعلات الكيموحيوية والتي يتم قياسها مخبريا واستخدام البيانات في التحكم في جودة عملية المعالجة ؛ كما تشمل أيضا كميات الحمأة الناتجة من النشاط الحيوي للبكتريا والحمأة المعالجة والكيمواويات المستخدمة في عملية المعالجة والبيانات التشغيلية لمراحل المعالجة ؛ وهذا بالإضافة الى بيانات وحدة التحكم بالروائح .



تقرير الجودة

التدفق/Flow (م3/يوم)	18-10-1437	تاريخ جمع العينة	اليوم / Day
نوع المعالجة البيولوجية	23/7/2016	Date of Sample	الجمعه
حماة نشطة	18-10-1437	تاريخ تحليل العينة	الاسبوع / Week
	23/7/2016	Date of Analyses	الاسبوع الأول

المواصفات القياسية Standard Specification		نتائج التحاليل Analysis Results				الرمز	الاختبار	
المعالجة الثلاثية	المعالجة الثانوية	الداخل	المعالجة الثلاثية	المعالجة الثانوية	الداخل	الوحدة	Test	
CCT	FST	Inlet	CCT	FST	Inlet	Unity	Symbol	
6-8.4	6-8.4	9- 6 1.				--	pH	الرقم الهيدروجيني pH
-	-	-				Mg/L	DO	الاكسجين الذائب Dissolved oxygen
5	5	-				NTU	TUR	العكارة Turbidity
-	-	200				Mg/L	ALK	القلوية Alkalinity
-	-	1000				Mg/L	T. CL	الكلووريدات Chlorides
-	-	-				Mg/L	TS	المواد الصلبة الكلية Solids Total
10	40	600				Mg/L	TSS	المواد الصلبة العالقة الكلية Solids Suspended Total
-	-	1000				Mg/L	COD	الاحتياج الكيميائي للأوكسجين Chemical Oxygen Demand
10	40	500				Mg/L	BOD	الاحتياج الحيوي للأوكسجين Bio Chemical Oxygen Demand
10	10	-				Mg/L	NO ₃ -N	نترات - نتروجين Nitrate – Nitrogen
-	-	-				Mg/L	NO ₂ -N	نترت - نتروجين Nitrite – Nitrogen
5	5	80				Mg/L	NH ₄ -N	أمونيوم - نتروجين Ammonium – Nitrogen
-	-	25				Mg/L	PO ₄ P-	الفوسفات الكلي Total Phosphate
25	0	-				mw.s/cm	UV	الأشعة فوق البنفسجية ultra violet
-	-	-				Mg/L	TKN	نتروجين كدال الكلي Total Kjeldahl Nitrogen
2.2	1000	-				عدد/100مل	TC	بكتيريا القولون الكلية Total Coliform Bacteria
2.2	1000	-				عدد/100مل	TFC	بكتيريا القولون البرازية Fecal Coliform Bacteria
1	-	-				عدد/لتر	-	بويضات الديدان Eggs of worms

كفاءة المحطة (%)					
COD		BOD		TSS	NH4
كمية الحماة المنصرفه (م3/يوم)			كمية الحماة المعادة (م3/يوم)		

كيميائي المحطة / إبراهيم الشامي

		البيانات التشغيلية لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي - محافظة بنها تقرير متابعة التشغيل			وزارة البيئة والمياه والزراعة Ministry of Environment, Water & Agriculture المملكة العربية السعودية		
6696	التدفق/Flow (م3/يوم)		الشهر (Month)			الاسبوع / Week	
	نوع المعالجة البيولوجية حمأة نشطة		السنة (Year)			الأول	
معايير التشغيل التصميمية Operating standards	نتائج التحاليل Analysis Results	الوحدة Unity	الرمز Symbol	الاختبار Test	مكان اخذ العينة Place of sampling		
8.4 -- 6		--	pH	الرقم الهيدروجيني pH	مدخل حوض التهوية		
--		Mg/L	S ²⁻	الكبريتيدات Sulphides			
Nil		NTU	FOG	الدهون والزيوت والشحوم Fats, oils and grease			
--		Mg/L	COD	الاحتياج الكيميائي للأوكسجين Chemical Oxygen Demand			
--		Mg/L	BOD5	الاحتياج الحيوي للأوكسجين Bio Chemical Oxygen Demand			
25		°C	TEM	درجة الحرارة Temperature	حوض التهوية		
4 -- 2		Mg/L	DO	الأكسجين الذائب Dissolved Oxygen			
6000 -- 3000		Mg/L	MLSS	المواد الصلبة العالقة Mixed liquor suspended solids			
--		Mg/L	MLVSS	المواد الصلبة العالقة المتطايرة Mixed liquor volatile suspended solids			
0.3 -- 0.05		--	F/M	نسبة الغذاء للكائنات الحية Food / Microorganisms			
600 -- 300		ML	SV	حجم الحمأة Sludge Volume			
120 -- 80		Mg/L	SVI	معامل حجم الحمأة Sludge Volume Index			
--		--	--	الفحص الميكروسكوبي Microscopic Checked			
	filamentous البكتيريا الخيطية						
	Fungi الفطريات						
25 -- 10		Day	SA	عمر الحمأة Sludge Age	أحواض الترسيب		
--		Mg/L	--	تركيز الحمأة الجافة (قبل التجفيف) Dry solid(before belt press)	الحمأة		
--		Mg/L	--	تركيز الحمأة الجافة (بعد التجفيف) Dry solid(after belt press)			
--		Mg/L	--	تركيز المواد الصلبة العالقة (قبل الفلتر) TSS(before belt sand filter)	الفلتر		
--		Mg/L	--	تركيز المواد الصلبة العالقة (بعد الفلتر) TSS(after belt sand filter)			
كفاءة المحطة (%)							
	كفاءة وحدة الفلتر		كفاءة وحدة الحمأة				
كيميائي المحطة / إبراهيم الشامي							

تقارير جودة ترسيب الحمأة في أحواض الترسيب

Settleometer data activated sludge sheet			
Date :		Observations :	
Sample location :		Floc	
Analyst :Ibrahim elshamy		<input type="checkbox"/> flocculant <input type="checkbox"/> dispersed	
Time of test		Interface	
$SSC = \frac{ATC \times 1000}{SSV}$		<input type="checkbox"/> well defined <input type="checkbox"/> ragged	
Time	SSVcc	SSC%	Supernatant
minutes			<input type="checkbox"/> clear <input type="checkbox"/> turbid { <input type="checkbox"/> pinfloc <input type="checkbox"/> stragglers floc}
0			comment : (odor , color , etc) rise time : hrs
5			
10			
15			
20			
25			
30			
40			
50			
60			

Time minutes	SSV cc	SSC% = $\frac{ATC \times 1000}{SSV}$
0	1000	3
5	500	6
10	400	7.5
15	325	9.2
20	290	10.3
25	260	11.5
30	250	12
40	220	13.5
50	200	15
60	200	15

Time minutes	SSV cc	SSC%
0	100	3
5	990	3
10	970	3.1
15	950	3.15
20	925	3.2
25	900	3.3
30	855	3.4
40	825	3.6
50	750	4
60	700	4.3

Time minutes	SSV cc	SSC%
0	1000	3
5	510	5.8
10	310	9.7
15	250	12
20	200	15
25	170	17.6
30	150	20
40	150	20
50	150	20
60	150	20

Parameter	good	Moderate	poor
Filamentous index	<3	3-4	4-5
Free living cells	0-1	2-3	≥ 3
spirils	0	1	≥ 2
Ciliats/testate amoeba	≥ 1	<1	0
Flagellate/amoeba	0	1-2	≥ 3
% floc >25 μ m	>80-90	>50-70	<50
Floc structure	compact	open	-
Floc strength	robust	weak	-
Floc shape	rounded	Irregular	-

التقرير الشهري للمختبر

مقاوم التشغيل والصيانة
شركة الخريف لتنقية المياه والطاقة

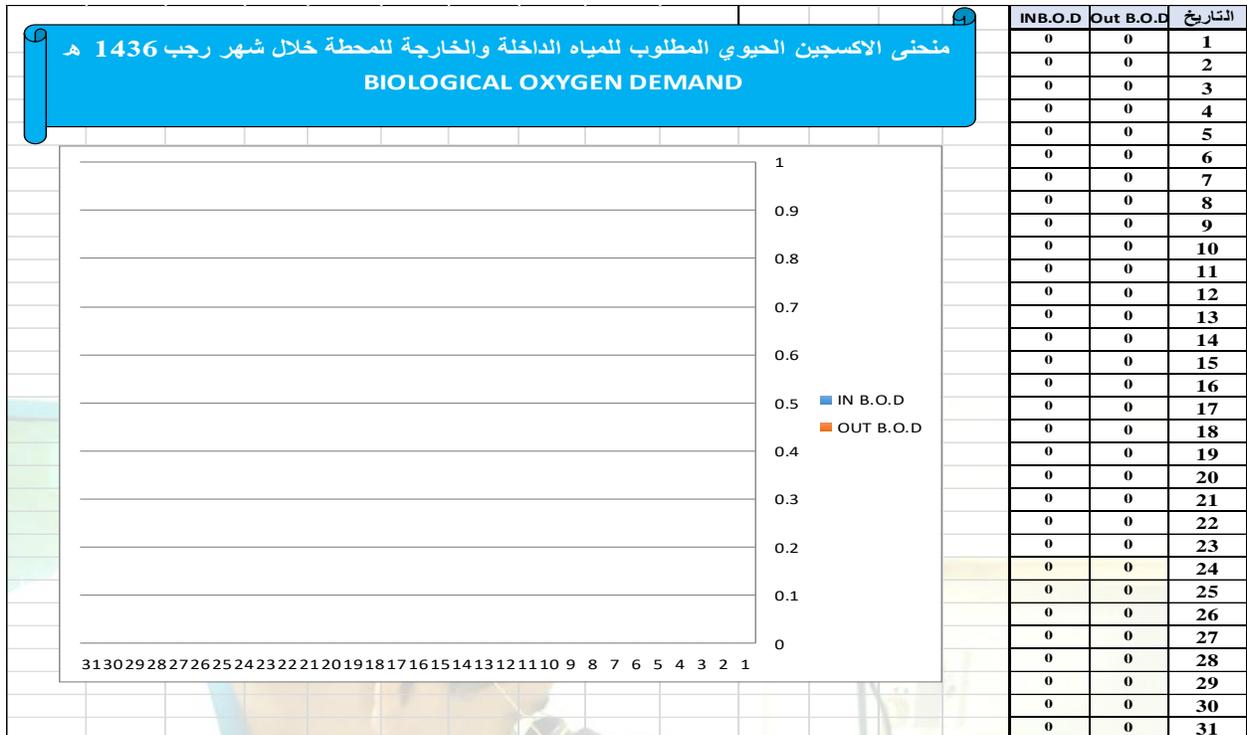
المديرية العامة للمياه بمنطقة
فرع المياه بمحافظة

التحليل الكيميائي لمياه الصرف الصحي الخارجة إلى محطة المعالجة لشهر رجب 1436 هـ

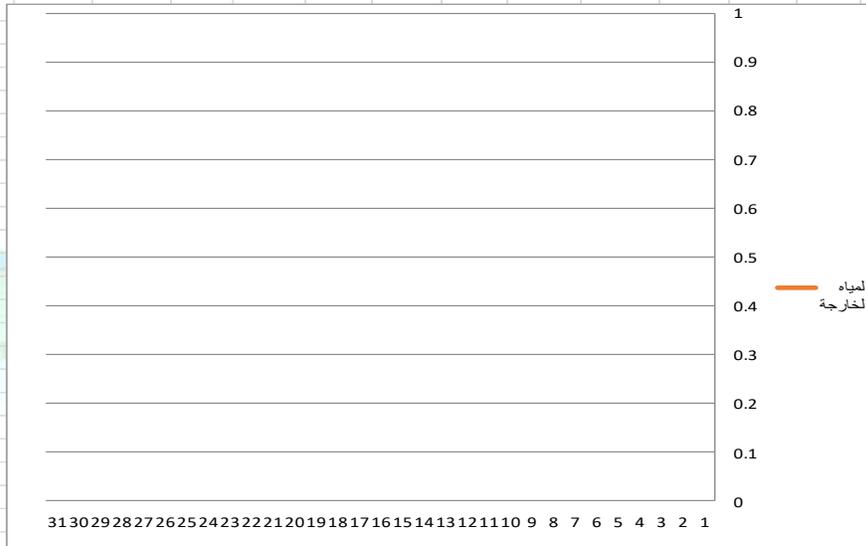
التاريخ	المياه الخارجة	درجة حرارة المياه	الرقم الهيدروجيني	PH	مجم / لتر	الأكسجين الذائب DO	المواد الصلبة العالقة T.S.S	مجم / لتر	المواد الصلبة الذائبة T.D.S	مجم / لتر	القوية الكلية T.ALK	النترات	مجم / لتر	NO3	التشادر NH3	مجم / لتر	الفوسفات الكلية PO4	التعقيم بالنشعة	الأكسجين الكيميائي B.O.D	مجم / لتر	C.O.D	بكتريا القولون الكلية E.COLI	مجم / لتر	100 بكتريا القولون البرازية F.COLI		
1																										
2																										
3																										
4																										
5																										
6																										
7		*																								
8		*																								
9		*																								
10		*																								
11		*																								
12		*																								
13		*																								
14		*																								
15		*																								
16		*																								
17		*																								
18		*																								
19		*																								
20		*																								
21		*																								
22		*																								
23		*																								
24		*																								
25		*																								
26		*																								
27		*																								
28		*																								
29		*																								
30		*																								
31		*																								
المتوسط	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####

التحليل الكيميائي لمياه الصرف الصحي الداخلة إلى محطة المعالجة لشهر رجب 1436هـ

بكتريا القولون البرازية E.COLI / لتر / 100	بكتريا القولون الكلية FCF / لتر / 100	مجم/ لتر C.O.D الأكسجين الكيميائي	مجم/ لتر B.O.D الأكسجين الحيوي	الكلور الحر R.CL2	مجم/ لتر PO4 الفوسفات الكلية	مجم/ لتر NH3 النشادر	مجم/ لتر NO3 النترات	مجم/ لتر T.ALK القوية الكلية	مجم/ لتر T.D.S المواد الصلبة الذائبة	مجم/ لتر T.S.S المواد الصلبة العالقة	الأكسجين الذائب DO	مجم / لتر PH الرقم الهيدروجيني	درجة حرارة المياه	المياه الداخلة	التاريخ
														*	1
														*	2
														*	3
														*	4
														*	5
														*	6
														*	7
														*	8
														*	9
														*	10
														*	11
														*	12
														*	13
														*	14
														*	15
														*	16
														*	17
														*	18
														*	19
														*	20
														*	21
														*	22
														*	23
														*	24
														*	25
														*	26
														*	27
														*	28
														*	29
														*	30
														*	31
		#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	####	#####	#####	*	المتوسط



منحنى التدفق اليومي للمياه الداخلة خلال شهر رجب 1436 هـ
DAILY FLOW



التاريخ	المياه الداخلة	المياه الخارجة
1	*	0
2	*	0
3	*	0
4	*	0
5	*	0
6	*	0
7	*	*
8	*	*
9	*	*
10	*	*
11	*	*
12	*	*
13	*	*
14	*	*
15	*	*
16	*	*
17	*	*
18	*	*
19	*	*
20	*	*
21	*	*
22	*	*
23	*	*
24	*	*
25	*	*
26	*	*
27	*	*
28	*	*
29	*	*
30	*	*
31	*	*

مقاول التشغيل والصيانة
شركة الخريف لتتقية المياه والطاقة

المديرية العامة للمياه بمنطقة
فرع المياه بمحافظة

تقرير شهر رجب 1436 هـ

الصرف الصحي

محطة المعالجة

ملاحظات	الكمية	الوحدة	البيان	م
	*	م3	المعدل اليومي لكمية المياه الداخلة لمحطة المعالجة	1
	*	م3	أعلى كمية مياه يومية داخلة للمحطة	2
	*	م3	أقل كمية مياه يومية داخلة للمحطة	3
	#DIV/0!	م3	المعدل اليومي لكمية المياه الخارجة لمحطة المعالجة	4
	0	م3	أعلى كمية مياه يومية خارجة للمحطة	5
	0	م3	أقل كمية مياه يومية حاجة للمحطة	6
ملاحظات	في الشهر	في اليوم	البيان	7
	750	25	كيميائي	
	210	7	فيزيائي	
	8	..	بكتريولوجي	
	120	4	فحص أملاح	
	210	7	الرقم الهيدروجيني	

مقاول التشغيل والصيانة
شركة الخريف لتنقية المياه والطاقة

المديرية العامة للمياه بمنطقة القصيم
فرع المياه بمحافظة الرس

تقرير شهر رجب 1436 هـ
إدارة أعمال تشغيل وصيانة
محطة المعالجة

مواصفات المياه الداخلة للمحطة

N.H3N.MG/L	PH	C.O.D	B.O.D	T.S.S	INF.FLOW	المواصفات
MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	M ³	الوحدة
#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	*	المتوسط
80	9-6	1000	500	600		أقصى مستويات التلوث ملجم / لتر

مواصفات المياه الخارجة من المحطة

N.H3N.MG/L	PH	C.O.D	B.O.D	T.S.S	INF.FLOW	المواصفات
MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	M ³	الوحدة
#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	المتوسط
5	8.4-6	<50	<10	<10		أقصى مستويات التلوث ملجم / لتر

كفاءة محطة المعالجة في إزالة المواد الصلبة العالقة والاكسجين الحيوي والكيميائي المطلوبين

C.O.D	B.O.D	T.S.S	المواصفات
MG/L	MG/L	MG/L	الوحدة
الداخل	الداخل	الداخل	النوع
الخارج	الخارج	الخارج	المتوسط
#####	#####	#####	#####
#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	الكفاءة

نموذج بيانات الفحص المجهرى للحمأة بأحواض التهوية وأحواض الترسيب

Worksheet for microscopic examination of activated sludge

Date: / / time : am/pm

analyst : ibrahim elshamy Sample location: temperature C⁰:

Microorganism group	Slide 1	Slide 2	Slide 3	Slide 4
Amoeboids 				
Flagellates 				
Free swimming ciliates 				
Stalked ciliates 				
Rotifers 				
Worms 				
Relative predominance		observations		

نموذج تسجيل بيانات الفحص المجهرى للحمأة للكشف عن البكتريا الخيطية وتجنب حدوث مشاكل تضخم الحمأة كلما أمكن

Filament abundance report data sheet

none	few	some	common	Very common	abundant	Excessive
0	1	2	3	4	5	6

Filament effect on floc structure

Little or none	bridging	Open floc structure

Morphology of floc

firm	weak	Round compact	Irregular , diffuse

Floc diameter

150	150-500	500
Free cell in suspension		
zoogloal		
Inorganic/organic particles		

Filamentous microorganism summary

Nocardia sup.	Rank	Abundance	M. parvicella	Rank	Abundance
Type 1701			Type 581		
S. natans			Type 0092		
Type 021 N			Type 0803		
Thiothrix sp.			Type 1851		
Type 0041			Type 0961		
H. hydrosiss			other		
N limicola			other		

X= dominant 0 = secondary

Chemist / Ibrahim elshamy

Laboratory operation control report

Dewatering /belt filter press operating report 1

Jan 01 – 2017

Date	Unit 1				Unit 2				Unit 3			
	Op.hrs	F.S m ³	Th SS%	cake To DS	Op.hrs	F.S m ³	Th SS%	cake To DS	Op.hrs	F.S m ³	Th SS%	cake To DS
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												

Laboratory chemist

operator

Laboratory operation control report

Dewatering /belt filter press operating report 2

Jan 01 – 2017

Date	Unit 1				Unit 2				Unit 3			
	P. dose mg/l	Centrate SS mg/l	%WAS S	%Cake S	P. dose mg/l	Centrate SS mg/l	%WAS S	%Cake S	P. dose mg/l	Centrate SS mg/l	%WAS S	%Cake S
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												

Laboratory chemist

operator

Ultraviolet disinfection monitoring report / /2017

Date	Flow m ³ /hr.	Retention time	Transmittance %	intensity	Dose mW.s/cm ²
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					

Chemist

operator

Ibrahim elshamy

Daily operating LOG

Operating programeter	Fri	Sat	Sun	Mon	Tues	Wed	Thu
Time of day							
Operator							
Stage 1 pH							
Stage 2/3 pH							
Stage 2/3 ORP							
NaOH tank level							
NaOCL tank level							
Deffrenial pressure of activated carbon tank							



11-2-1 Start-Up Procedure المحطة تشغيل

قبل بدء التشغيل يجب أخذ عينة مختلطة أو مركبة composite sample من المياه الخام ثم عمل إختبار الترسيب لها وأخذ المحلول الرائق وإجراء الإختبارات التالية عليها (BOD5 & COD) والهدف من ذلك الحصول على نسبة BOD5 الى COD وهذا يتيح للمشغل استخدام قيمة الأكسجين الكيميائي المستهلك في التحكم في عملية المعالجة بدلا من الأكسجين الحيوي الممتص الذي يستغرق وقتا طويلا وهذا سوف يمكن المشغل أيضا من تقييم كفاءة المعالجة بالحماة النشطة بالمحطة وتقييم سريع أيضا لنسبة المواد العضوية متمثلة في BOD5 الى تركيز الكائنات الحية متمثلة في MLSS أو MLVSS حيث تمثل الأخيرة 70-80% من الأولى وهي تشير الى نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M ؛ يجب استخدام النسبة بين الأكسجين الحيوي والكيميائي بحرص لأنه من المحتمل ان تتغير قيمة أيا منهما أو كلاهما بسبب المواد العضوية الغير قابلة للتكسير بواسطة البكتريا أو بسبب المواد الصلبة التي يمكن ان تحمل مع المياه الرائقة أثناء الإختبار ولتقليل احتمالية هذا الخطأ في النسبة يمكن أخذ عينة من المياه الرائقة لإختبار المواد الصلبة العالقة وهو ما يعرف بالأكسجين الحيوي والأكسجين الكيميائي الذائب كما يجب مراعاة أن النسبة سوف تختلف بإختلاف مكان أخذ العينة لذلك يجب عمل أكثر من عينة من أكثر من مكان ؛ وفور بدء التشغيل يتم استخدام تركيز الأكسجين الكيميائي المستهلك كمعيار تحكم ومراقبة للعملية التشغيلية وكذلك الأكسجين الحيوي الممتص .

بعد اليوم الثاني أو اليوم الثالث من التشغيل وبعدها يتدفق المياه من هدار حوض الترسيب الإبتدائي الى حوض التهوية يتم عمل لإختبارات التالية على عينات من حوض التهوية ومن المنتج الثانوي بعد الترويق في حوض الترسيب الثانوي (SVI, BOD5, COD, MLSS) .

1-2-1 المواصفات التصميمية لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي بمحافظة

ينبع ومكوناتها

محطة معالجة مياه الصرف بمحافظة ينبع تعمل بطريقة التهوية المطولة للحماة النشطة وهي مصممة بنظام الكاروسيل وتم التصميم طبقا للكود الألماني لمحطات معالجة مياه الصرف

ATV A 131

المحطة تم تصميمها بنظام الكاروسيل وهو تطوير لخنادق الأكسدة oxidation ditch ويوجد منها الكاروسيل التقليدي والكاروسيل 2000 وهذا الأخير هو المستخدم بمحطة ينبع وطريقة التهوية المطولة بنظام الكاروسيل والتهوية المطولة عبارة عن أحواض بيضاوية الشكل مقسمة من الداخل إلى قنوات 2؛ 4؛ 6؛ 8 ومحطة ينبع الحالية ثلاث أحواض بكل حوض قناتين بإجمالي 6 قنوات بحيث يكون سريان المخلوط السائل حول هذه القنوات وتم تزويد الأحواض بنوافخ هواء لضمان عملية التهوية والتقليب بحيث يكون الأكسجين الذائب المتوفر 3-2 ملجم / ل.

في مثل هذا النموذج من التصميم للمحطات يمكن الاستغناء عن المروقات الإبتدائية (أحواض الترسيب الإبتدائية) والهواضم حيث يتم تثبيت الحماة هوائيا بأحواض التهوية

في نظام خنادق التأكسد لنظام الكاروسيل 2000 لمعالجة مياه الصرف الصحي Carrousel

oxidation ditch 2000 ترتبط كفاءة النظام ارتباط وثيق بنسبة حجم المنطقة اللاهوائية anoxic zone الى المنطقة الهوائية او أحواض التهوية aerobic zone حيث أوضحت الدراسات انه عندما تكون نسبة حجم المنطقة اللاهوائية الى المنطقة الهوائية (0.35 ؛ 0.49 ؛ 0.64) فإن معدل ازالة من النيتروجين كأمونيا نيتروجين $N-NH_3$ يكون)

92.96 % ؛ 94.93 % ؛ 97.60) على التوالي ويكون معدل إزالة الفوسفور (80.22 ؛
86.55 ؛ 92.30) على التوالي كما يكون معدل إزالة الكربون العضوي معبرا عنه COD
أكثر من 90 % عند معدل التركيزات الثلاثة واذلك كلما زادت نسبة حجم المنطقة اللاهوائية
anoxic zone الى حجم المنطقة الهوائية يجب ضبط إعادة التدوير وإلا سيكون تركيز
النترات غير كافي في المنطقة اللاهوائية anoxic zone مما يتسبب في إعادة اخراج
الفوسفور من البكتريا المجمعة له مرة أخرى .

تم تصميم المحطة بنظام الكاروسيل بحيث يتم معالجة الكربون العضوي BOD5 وكذلك
أكسدة الامونيا NH3 إزالة النيتروجين و الفوسفور
في نظام الكاروسيل توجد ثلاث أنواع من العوامل التي تؤثر في العملية وتؤثر وتتأثر ببعضها
أيضا وهي :

1-العوامل البيئية مثل درجة الحرارة والأكسجين الذائب ودرجة الحموضة وغيرها

2-بارامترات التشغيل مثل الخليط الممزوج المتخمر MLSS ونسبة الكربون للنيتروجين C/N
وغیرها

3-وضع التشغيل مثل زمن المكث الهيدروليكي HRT وزمن المكث للمواد الصلبة أو الحمأة
SRT ومعدل التدوير ومعدل التهوية ومعدل الحجم.

صممت المحطة لمعالجة 60000 متر مكعب في اليوم للتدفق اليومي الطبيعي بمعدل تدفق
2500 متر مكعب في الساعة وتصل القدرة التشغيلية لها في ساعة الذروة الى 100000 متر
مكعب في اليوم بمعدل 4167 متر مكعب في الساعة للمرحلة الأولى التي تعمل حاليا وأقصى
تصرف للمحطة هو 200000 متر مكعب في اليوم للمرحلة المستقبلية الثانية وبتركيز

أكسجين حيوي ممتص 300 ملجم/ل بإجمالي حمل عضوي 18000 كجم/يوم ويمكن اجمال
المواصفات التصميمية للمحطة في الجدول التالي

القيمة	المعايير
60000 m ³ /d	متوسط التدفق اليومي ADF (Average daily flow):
2500 m ³ /h	متوسط التدفق للساعة Average hourly flow
100000 m ³ /d	أعلى معدل تدفق يومي Daily Peak flow
4167 m ³ /h	أعلى معدل تدفق للساعة Hourly peak flow
18000 kg BOD/d 300 mg/l	تركيز الأكسجين الحيوي الممتص BOD:
3600 kg N-NTK/d 60 mg/l	تركيز نيتروجين كداهل الكلي N-NTK:
21000 kg SS/d 350 mg/l	المواد الصلبة العالقة الكلية TSS
27 °C	أقل درجة حرارة للمياه للتصميم Minimum design water temp
32 °C	أعلى درجة حرارة للمياه للتصميم Maximum design water temp
300000 Population Equivalent	المكافئ التعدادي P.E. (at 60 g BOD per capita)
5	نسبة الأكسجين الحيوي/ نيتروجين BOD/N ratio:
1,17	نسبة المواد الصلبة العالقة الكلية /الأكسجين الحيوي TSS/BOD ratio:
1,667	نسبة أعلى تدفق / متوسط التدفق Peak Flow/Average flow:

ويمكن تلخيص مواصفات المنتج النهائي بعد المعالجة الثلاثية والتعقيم بالأشعة فوق البنفسجية بالجدول التالي

المتوسط (عينة مركبة خلال 24 ساعة)	الحد الأقصى للتركيز	المعايير
5 mg/l	<10 mg/l	BOD الأكسجين الحيوي الممتص
5mg/l	<10 mg/l	TSS المواد الصلبة العالقة الكلية
	<12 mg/l	N-Tot النيتروجين الكلي
	<23 MPN/100ml (30 days geometric mean)	Fecal Coliform بكتريا القولون الكلية
	50 °C	أعلى درجة حرارة للجو

ومواصفات المياه المعالجة ثنائيا كالتالي

الحدود القصوى	المعايير
< 20 mg/l	BOD الأكسجين الحيوي الممتص
< 20 mg/l	TSS المواد الصلبة العالقة الكلية
< 15 mg/l	N-Tot النيتروجين الكلي

ويمكن اجمال مكونات المحطة كالتالي :

1-المصب وهو مجهز لإستقبال صهاريج نرح المياه من المنازل وبه عماله مدربة لقياس درجة حموضة المياه الواردة للمحطة وكذلك الأملاح الكلية الذائبة حتى يمكن ضبط الصهاريج المخالفة التي يمكن ان تصب مياه بمواصفات مخالفة تؤثر على عملية المعالجة بالمحطة مثل المنظفات الصناعية والزيوت والشحوم والدم من المسالخ ومختلف مخلفات الصناعية والمعادن الثقيلة وغيرها

2-المدخل وبه المصافي الميكانيكة الضيقة وحدة ازالة الشحوم والزيوت وغرفة ازالة الرمال وتم تزويد المدخل بخطين من المواسير قطر 1600 ملم يتم نقل المياه عن طريقهما من محطة الرفع بعد الإنتهاء من التوصيلات المنزلية قريبا وتم تزويد المدخل بمصافي واسعة و المصافي الضيقة أو الناعمة للحفاظ على المضخات

3-حوض الإنتقاء للتحكم في نسبة الخيطيات ويعمل كحوض لا هوائي anaerobic zone وحيث انه توجد ثلاثة انواع من احواض الإنتقاء هوائي ولاهوائي anoxic ولاهوائي anaerobic فقد تم تصميم الحوض ليعمل كمنطقة لاهوائية anaerobic zone يستقبل المياه الخام الواردة للمحطة من المدخل والتي يتم خلطها بالحماة الراجعة وبالتالي تتعرض الخيطيات لنسبة عالية من F / M حجم الحوض 1000 متر مكعب مما يساعد على التحكم في معدل نمو الخيطيات كما انه يزيد من مساحة المنطقة اللاهوائية التي تستخدم لتنمية بكتريا تجميع الفوسفور مما يحسن عملية ازالة الفوسفور .

4-حوض ازالة الفوسفور ويعمل كمنطقة لاهوائية anaerobic zone لإزالة الفوسفور وحجمه 3030 متر مكعب والغرض منه توفير البيئة المناسبة لتنمية بكتريا الأنثسينيتوباكتر التي تقوم بتجميع الفوسفور للتخلص منه .

6- أحواض التهوية البيضاوية بنظام الكاروسيل مزودة بناشرات للهواء المضغوط لتوفير الأكسجين اللازم لعملية المعالجة وخلطات تعمل على ابقاء المزيج المتخمر MLSS من الحمأة النشطة معلقا وتزيد فرصة تلامس البكتريا مع المواد العضوية والغير عضوية المراد معالجتها في مياه الصرف كما تم تزويد الحوض رقم (3) بمضخات إعادة تدوير للخليط المتخمر الى المنطقة اللاهوائية anoxic zone بالحوض رقم (1) الذي يتوسط الحوضين الثاني والثالث لإتمام عملية ازالة النيتروجين حيث يتم بها المرحلة الثانية والتي تسمى نزع النترة denitrification وعددها اربعة مضخات سعة المضخة 3475 متر مكعب / ساعة مجموع حجم الأحواض الثلاثة وهي المساحة التي يتم فيها النترة ونزع النترة واكسدة الكربون العضوي 47815 متر مكعب وفيها حجم حوض التهوية رقم (1) 16078 متر مكعب والحوض رقم (2) 15981 متر مكعب والحوض رقم (3) 15756 متر مكعب وبالحسابات فإن نسبة الغذاء الى الكائنات الحية

$F / M = (0.0846 - 0.1412)$ طبقا لحجم أحواض التهوية وتركيز MLSS (3524- 5880)

تم تزويد المحطة بنوافخ الهواء وهي 6 نوافخ للهواء سعة الواحد منها 11000 متر مكعب هواء توفر الأكسجين اللازم للنشاط البكتيري

في حالة التشغيل بطريقة نزع النترة المترامن simultaneous denitrification يتم تشغيل الأحواض في وضع التوازي بحيث يكون لكل حوض منطقة هوائية aerobic zone ومنطقة لاهوائية anoxic zone

في حالة نزع النترة المسبق Pre- denitrification يتم تشغيل الأحواض على التوالي بحيث يستخدم الحوض رقم (1) حوض التوزيع كمنطقة لاهوائية anoxic zone ويستخدم الحوضين

رقم (2 و 3) كمنطقة هوائية aerobic zone وبالتالي يكون انسياب المياه مستمر من حوض رقم 1 الى رقم 2 الى رقم 3 على التوالي .

تم تركيب جهاز لقياس الأوكسيجين الذائب في نهاية كل حوض وتم ربط الجهاز بالأسكادا كما تم وضع محبس تحكم في ضغط الهواء لكل حوض للتحكم في ضغط الهواء الذي يضح الى الأحواض بحيث يتحكم جهاز قياس الأوكسيجين الذائب في فتح وقفل أو تقليل كمية الهواء التي تتدفع من هذه المحابس طبقاً لتركيز الأوكسيجين الذائب الذي تم ضبط جهاز قياس الأوكسيجين الذائب عليه وهو 3 - 2 ملجم/ل وبالتالي فإن نافخ الهواء المستخدم في العملية سوف يعمل بحيث يظل ضغط الهواء بخط الهواء الخاص به عند ضغط ثابت يحقق هذه النسبة من تركيز الأوكسيجين الذائب .

وفي نظام التحكم يمكن اختيار طريقة التشغيل لعملية نزع النترة سواء كانت متزامنة أو مسبقة الا انه يجب الأخذ بالإعتبار ان قراءة الأوكسيجين الذائب لأجهزة قياس الأوكسيجين الذائب الثلاثة يجب أخذها جميعاً بعين الإعتبار في حالة نزع النترة المتزامنة وذلك لأن الأحواض تعمل بشكل متوازي ويعتبر كل حوض قائم بذاته أما في طريقة نزع النترة المسبق فيكتفى بأخذ قراءة الأجهزة على الحوضين 2؛ 3 فقط لأنهم يعملان كمنطقة هوائية بينما حوض رقم 1 كمنطقة لاهوائية anoxic zone .

7- أحواض الترسيب النهائي أو الثانوي لفصل الحمأة عن المياه المروقة بعد المعالجة بأحواض التهوية وعددها 3 أحواض قطر الواحد 40 متر ومساحة الترسيب الكلية هي 3770 متر مربع ومساحة الترسيب للحوض الواحد 1,257 متر مربع وارتفاع المياه بالحوض 437 متر وميل القاع 12/1 مل/مل والحجم الكلي للأحواض الثلاثة 19629 متر مكعب وطول الهدار الكلي للفيضات 358 متر وللحوض الواحد 119 متر

8-مبني نوافخ الهواء وبه 6 نوافخ للهواء سعة الواحد منها 11000 متر مكعب هواء توفر الأكسجين اللازم للنشاط البكتيري لإزالة الكربون العضوي وأكسدة الأمونيا والنيتريت (عملية nitrification)

9-المرشحات الرملية والكربونية لإزالة ما تبقى من الندف الصغيرة من المياه المروقة وايضا يقوم الكربون بتقليل الروائح المنبعثة منها وهي عدد 12 مرشح وبها مضخات الغسيل العكسي للفلاتر الرملية ثلاث مضخات سعة المضخة 1260 متر مكعب للساعة وعدد 2 نافخ هواء ومضخات حقن البوليمر لوحدة الفلاتر الرملية في حالة زيادة المواد الصلبة العالقة في المنتج النهائي

10-وحدة الأحزمة الضاغطة لتقليل حجم الحمأة المنتجة من أحواض الترسيب وبمعني آخر زيادة نسبة المواد الصلبة في الحمأة أو بمعنى ثالث تقليل نسبة الرطوبة في الحمأة المنتجة ويتم تغذيتها من خزان تجميع الحمأة الزائدة وعددها 3 أحزمة عاصرة وبها ايضا وحدة تجهيز محلول البوليمر ومضخات حقن البوليمر ومضخات تغذية الأحزمة الضاغطة بالحمأة المراد نزع المياه منها

11-المجفف لتقليل حجم الحمأة الناتج بصورة أكبر بعد عملية الحزام الضاغط وتقليل نسبة الميكروبات بالحمأة الى أقل حد ممكن للحفاظ على البيئة التي ستدفن بها الحمأة أو اذا تم استخدامها كترية زراعية

12-وحدة التعقيم بالأشعة فوق بنفسجية للقضاء على البكتريا والطفيليات والفيروسات المتواجدة في المياه المعالجة

13- وحدة التطهير بالكلور السائل لترك نسبة من الكلور الحر لتأمين المياه من النمو السريع للبكتريا المصابة injury bacteria وتستخدم في حالة الطوارئ اذا كان هناك صيانة لوحدات

الأشعة فوق البنفسجية وايضا لتطهير الفلاتر لمنع النمو الطحلي والبكتيري لتفادي انسداد

الفلاتر

14-محطة مضخات الحمأة الراجعة وعددها 3 مضخات غاطسة 1250 متر مكعب/ساعة

ومضخات الحمأة الزائدة وعددها 3 مضخات سعة الواحدة 75 متر مكعب /ساعة

16-مضخات الخدمات لتزويد وحدات الفلاتر والحزام الضاغط بالمياه اللازمة لعملية الغسيل

العكسي للفلاتر والأحزمة الضاغطة وتجهيز محلول البوليمر

17- مضخات ضخ المنتج النهائي الى خزان المنتج النهائي

18-مضخات ضخ مياه المنتج النهائي لإستعمال واعراض ري الأشجار بمدينة ينبع

19-المختبر الكيميائي والميكروبيولوجي للمراقبة ومتابعة التشغيل وجودة المياه المنتجة

20-غرفة التحكم الإسكادا لمتابعة ومراقبة المعدات والأعطال المحتملة ومناسيب الأحواض

والبيارات بالمحطة

21- وحدات التحكم في الروائح

1-3 المدخل والمصافي الميكانيكية الاوتوماتيكية

(المعالجة الأولية بمحطة معالجة مياه الصرف الصحي بمحافظة ينبع)

1-3-1مدخل المحطة

يتم تجميع المياه من مدينة ينبع ورفعها من محطات الرفع الى مدخل المحطة عن طريق خطين من المواسير قطرها 1600 مم

1-3-1-1(أ) مبنى المصافي الميكانيكية

تم تزويد المدخل بزوج من المصافي الأتوماتيكية الضيقة (الناعمه) سعة فتحاتها 10 مم لحجز المواد الصلبة الصغيرة والخيوط والأقمشة والأخشاب الصغيرة وغيرها حفاظا على معدات ومضخات المحطة المستخدمة في المراحل التالية من المعالجة بسعة قصوى قدرها 2768 م³ /ساعة وبسرعة تبلغ 0.58 م/ ثانية وتتناقص السرعة مع معدل التدفق لتبلغ 0.26 م/ثانية عند تدفق 1042 م³/ساعة ويمكن عزل كل مصفاه عن الأخرى بواسطة بوابة أمامية وأخرى خلفية لكل مصفاه ؛ يبلغ ارتفاع المياه امام المصافي 90 سم وعرض القناة 120 سم وعرض المصفاه 150 سم وتم تركيبها بزواوية ميل 75 درجة

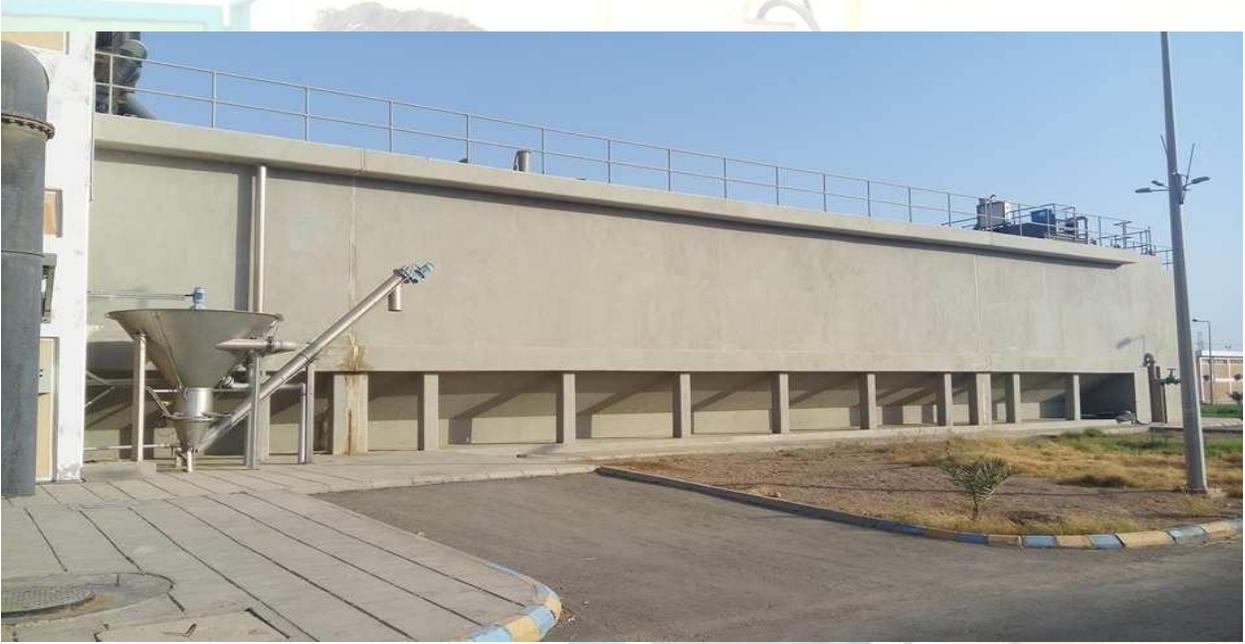


المصافي الميكانيكية الالية

بعد حجز المخلفات المختلفة يتم نقل هذه المخلفات بواسطة سير ناقل (سير حلزوني) الى الكومباكتور الذي يعصر المخلفات التي تحتوي فقط على 10-20% مواد صلبة وبالتالي يقلل حجمها وتخرج الى صندوق جمع المخلفات بينما تعود المياه الناتجة من العصر الى المدخل مره أخرى لترجع مع المياه الداخلة الى المحطة

1-3-1- (ب) غرفة ازالة الرمال والزيوت والشحوم

بعد خروج المياه من المصافي تدخل الى غرفة ازالة الرمال والزيوت والشحوم وهي غرفة يتم تهويتها بواسطة نوافخ هواء حيث يدخل مياه الصرف من طرف الغرفة أو الحوض الى الطرف الآخر بحيث يتم ضخ الهواء من طرف واحد فقط للغرفة حيث يتدفق المياه في مسار حلزوني من مدخل الغرفة الى مخرجها بفعل ضغط الهواء .



وحدة إزالة الرمال وغرفة إزالة الزيوت والشحوم

الهدف من عملية التهوية هو الحفاظ على المواد العضوية عالقة في المياه دون ترسيب والسماح فقط للرمال بالترسيب وفي نفس الوقت السماح للزيوت والشحوم والدهون أن تبقى طافية على سطح المياه .

ولزيادة كفاءة عملية فصل الزيوت والشحوم والدهون يوجد جدار في منتصف الغرفة به فتحات لتوفير منطقة هادئة ليس بها تهيج تطفو بها الزيوت والشحوم على سطح المياه بينما تستمر المياه بالتدفق في مسار حلزوني بفعل ضخ الهواء في الغرفة

يتحرك أعلى كل غرفة كوبري مزود بنافخ هواء وكاشط يعمل نافخ الهواء على رفع خليط المياه و الرمال الى أعلى حيث يفرغ الخليط في مجرى مائل بطول الغرفة حيث يت تفريغ الخليط في فارز (مصنف) الرمال حيث يتم فصل الرمال عن المياه بواسطة سير حلزوني والذي يرفع الرمال الى أعلى لتصب في صندوق جمع الرمال بينما تتدفق المياه أسفل مصنف الرمال ؛ بينما يقوم الكاشط بدفع الزيوت والشحوم والمواد الطافية الى صندوق تجميع الزيوت والشحوم حيث يتم تخزينها ؛ صندوق تجميع الزيوت مزود بحاجز يسمح بمرور المياه مره أخرى لمدخل المحطة بينما يحجز المخلفات المحتوية على الزيوت والشحوم والدهون لحين نقلها والتخلص منها .



كباري وحدة إزالة الرمال وغرفة إزالة الزيوت والشحوم

يبلغ طول غرفة الرمال 30 متر وطول غرفة الشحوم 29 متر وعرض غرفة الرمال 237 سم وعرض غرفة الشحوم 158 سم وحجم غرفة الرمال 228 متر مكعب وحجم غرفة الشحوم 56.5 متر مكعب وبالتالي الحجم الكلي لوحدة ازالة الشحوم وفصل الرمال 284.5 متر مكعب وسرعة التدفق في القناة لمتوسط التدفق اليومي للساعة 2500 متر/ للساعة يكون 21.4 متر/الساعة بينما عند أعلى تدفق 4167 متر مكعب/ساعة تكون السرعة 35.64 متر/ساعة بينما ستكون في تنك فصل الرمال 35.2 متر/ساعة و 58.6 متر/ساعة في حال متوسط التدفق اليومي للساعة وأعلى معدل تدفق للساعة على التوالي ويكون زمن المكث بالقناه 6.8 دقيقة و 4.1 دقيقة عند متوسط التدفق اليومي في الساعة وأعلى تدفق للساعة على التوالي علما ان معدل التدفق القياسي 2-5 دقيقة .

تم تزويد وحدة ازالة الرمال بنوافح هواء بواقع نافخ واحد لكل حوض بالأضافة لنافخ احتياطي وحيث ان أقل كمية هواء تلزم للعملية هي 1 متر مكعب من الهواء لكل متر مكعب من حجم الغرفة فقد تم تزويد الوحدة بالنوافخ الثلاثة سعة النافخ 300 متر مكعب مكعب /ساعة .

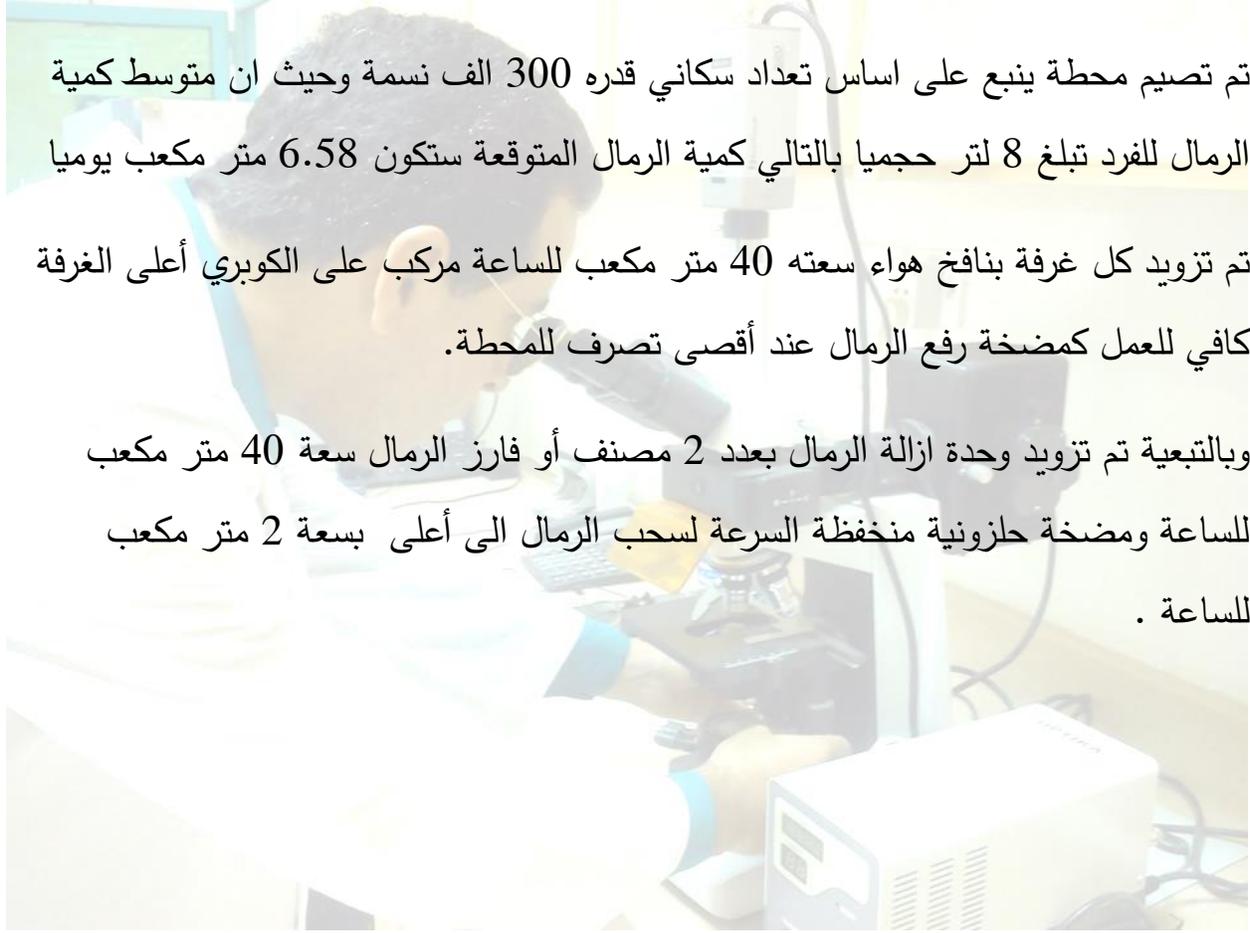


نوافخ وحدة إزالة الرمال وغرفة إزالة الزيوت والشحوم

وكما أسلفنا يتم رفع الرمال المترسبة بنظام ضغط الهواء الذي يتميز بعدم وجود معدات ميكانيكية أسفل الحوض متحركة وبالتالي لا يوجد أعطال ميكانيكية مزعجة تؤثر على سير العمل ثم الى قناة بطول غرفة ازالة الرمال والزيوت والشحوم ومنه بالجاذبية الى فاصل الرمال حيث يتم فرز وفصل الرمال وسحبها لأعلى مع المواد العضوية التي يمكن ان تتواجد مع الرمال بينما تعود المياه لمدخل المحطة مرة أخرى

تم تصميم محطة ينبع على اساس تعداد سكاني قدره 300 الف نسمة وحيث ان متوسط كمية الرمال للفرد تبلغ 8 لتر حجميا بالتالي كمية الرمال المتوقعة ستكون 6.58 متر مكعب يوميا تم تزويد كل غرفة بنافخ هواء سعته 40 متر مكعب للساعة مركب على الكوبري أعلى الغرفة كافي للعمل كمضخة رفع الرمال عند أقصى تصرف للمحطة.

وبالتبعية تم تزويد وحدة ازالة الرمال بعدد 2 مصنف أو فارز الرمال سعة 40 متر مكعب للساعة ومضخة حلزونية منخفضة السرعة لسحب الرمال الى أعلى بسعة 2 متر مكعب للساعة .





فاصل الرمال

تأتي الزيوت والشحوم للمحطة مختلطة مع مياه الصرف من مصادر مختلفة مثل المطاعم والبيوت ومغاسل السيارات والملابس وغيرها ويكون جزء منها حر غير ممزوج بالمياه وجزء في

صورة غروية ممزوج جزئيا بالمياه وهذا الجزء تحديدا لا يمكن فصله بواسطة نظام فصل الزيوت والشحوم حيث لا يستطيع كاشط الزيوت والشحوم من كسطه ؛ ستطيع مصيدة الشحوم والزيوت من ازالة 12 ملجم/ل و باعتبار ان كثافة الزيوت والشحوم 0.9 كجم/متر مكعب فإن كمية الزيوت التي يمكن لمصيدة الزيوت والشحوم حجزها وازالتها عند متوسط تدفق يومي 60 الف متر مكعب 800 لتر لليوم الواحد ؛ تم تزويد المدخل بعدد 2 خزان للشحوم والزيوت بسعة قدرها 22 متر مكعب بمساحة اجمالية 44 متر مكعب تكفي 55 يوم تشغيل عند متوسط تدفق يومي 60 الف متر مكعب .

تظرا لأهمية قياس معدل التدفق في العمليات الحسابية اللازمة لتشغيل المحطة تم تزويد المدخل بعداد قياس التدفق الذي يعمل بالموجات فوق الصوتية لقياس معدل تدفق المياه بعد خروجها من المدخل متجهة الى المنطقة اللاهوائية ويستطيع القياس حتى 4500 متر مكعب للساعة علما ان اقصى تصرف للمحطة وقت الذروة 4167 متر مكعب للساعة بواقع معدل تدفق 100 الف متر مكعب لليوم

1-4 الأحاوض اللاهوائية

Anaerobic tanks

1-4-1 الإزالة البيولوجية للفوسفور والتحكم في الخيطيات

Biological phosphorus removal (BPR) And filamentous control

تم تصميم الأحواض اللاهوائية anaerobic tanks لمحطة معالجة مياه الصرف ينبع بحجمها 4030 متر مكعب تقريبا منها 1000 متر مكعب هو الانتقاء anerobic selector وحوالي 3030 متر مكعب هو حوض لاهوائي anaerobic zone لتنمية البكتريا المجمعة للفوسفور والتي تعمل على تقليل تركيز الفوسفور في المنتج النهائي ويعمل كلا الحوضين وكأنهما حوض واحد مقسم داخليا لحوضين مما يتيح التدوير كما لو كان حوض واحد وهذا يجعل الأحواض اللاهوائية أكثر فاعلية في إزالة الفوسفور يمثل الفوسفور 2% من الوزن الجاف للكتلة الحيوية ويتم التخلص منه مع الحمأة الزائدة

1-4-1 (أ) حوض الانتقاء selector tank

تستخدم أحواض الانتقاء قبل أحواض التهوية للتحكم في نسبة الخيطيات حتى لا تسبب مشاكل تضخم أو تكتل الحمأة وطفوها على سطح الحوض وقد يكون حوض الانتقاء هوائي aerobic أو لاهوائي بنوعية (anaerobic أو anoxic) والمبدأ الذي يتم تصميم حوض الانتقاء من أجله هو أن يتم تنمية البكتريا التي ترسب الحمأة بصورة جيدة على حساب البكتريا الخيطية التي يمكن ان تسبب تكتل الحمأة وطفوها أو بمعنى آخر تقليل عدد الخيطيات مقارنة مع البكتريا الصانعة للندف وتساعد على التسريب (لاحظ ايضا ان الخيطيات بنسبة محدودة تساعد على التسريب حيث تعمل كدعامة تتجمع عليها الندف الصغير وتزيد من



حوض الانتقاء

كثافة الندف وتساعد على ترسيبها الا انه اذا زادت اعدادها يمكن ان تكون شبكات من الخيطيات تتجمع عليها الكثير من الندف التي تتكثرت وتتصاعد على سطح الحوض).

بصفة عامة الخليط او المزيج المتخمر MLSS الذي ينعدم أو يقل فيه الأوكسيجين الذائب عن 0.5 ملجط/ل أو يكون نسبة F/M صغيرة يساعد على نمو الخيطيات بكثرة مما يسبب تكتل الحمأة .

الكائنات التي لها المقدرة على التغذية على الكربون العضوي الذائب وتخزنه لحين الحاجة اليه في وقت يقل فيه الغذاء لها القدرة على تكوين ندف وتترسب بصورة جيدة .

ولأن أحواض الإنتقاء تستقبل المياه الخام مع الخليط المتخمر للحمأة الراجعة يكون التدفق ذو حمل عضوي عالي أي أن نسبة الغذاء الى الكائنات الحية كبير F/M ويسبب ذلك صدمة حيث تقوم الكمية الكبيرة من الميكروبات (بكتريا تكوين الندف) بالحمأة الراجعة باستهلاك معظم الغذاء في المياه الخام تاركة القليل منه للخيطيات مما يؤدي لموت معظم الخيطيات وتبقى تسبة صغيرة منها تساعد في تكوين الندف بحجم مناسب للترسيب بعد ذلك

زمن المكث الهيدروليكي HRT الذي صمم عليه حوض الانتقاء بمحطة ينبع 5-25 دقيقة لأحواض الإنتقاء وهو مناسب لمعدل التدفق اليومي 60000 متر مكعب يوميا و أعلى معدل تدفق 100000 متر مكعب يوميا ؛ كما تصميم حوض الإنتقاء بمحطة ينبع من النوع اللاهوائي anaerobic tank وهو الأنسب لأن المحطة تقوم بإزالة الكربون العضوي وكذلك الفوسفور ولذلك لا يصلح استخدام حوض انتقاء هوائي لانه من شأنه استهلاك الكربون العضوي سهل التكسير في حوض الإنتقاء ولا يبقى كمية كافية لنشاط البكتريا التي تجمع الفوسفور والتي تستخدم المركبات العضوية المتخمرة الناتجة من تكسير المركبات الكربونية العضوية في تكوين hydroxybutyrate وتحويل ATP الى ADP في الحوض اللاهوائي قبل الإنتقال الى حوض التهوية كما لا تتوفر كمية الكربون الكافية لإزالة النيتروجين فيما بعد في المنطقة اللاهوائية anoxic zone بأحواض التهوية وكذلك لا يصلح استخدام حوض انتقاء

لاهوائي ANOXIC لأنه سوف تستهلك المركبات العضوية القابلة للتكسير بسهولة في عملية إزالة النيتروجين ولا يبقى المزيد منها لاستخدامة في عملية إزالة الفوسفور وبالتالي ستفشل عملية ازالة الفوسفور

1-4-1 (أ) حوض إزالة الفوسفور

يمر خليط المياه الخام مع الحمأة الراجعة الى الجزء الثاني من الاحواض اللاهوائية وهو حوض تنمية البكتريا المجمعة للفوسفات والتي تستخدم في ازالة الفوسفور عن طريق تجميعه عبر سلسلة من التفاعلات الكيموحيوية

يمثل الفوسفور حوالي 35% من تكوين خلايا البكتريا المجمعة للفوسفور وكما قلنا هي بكتريا غير ذاتية التغذية heterotrophic bacteria ولها القدرة على امتصاص وتخزين المواد الكربونية العضوية الطيارة في بيئة لاهوائية anaerobic (لاحظ أن معظم البكتريا غير ذاتية التغذية لا تستطيع امتصاص وتخزين المركبات الكربونية العضوية في ظروف لاهوائية) وبالتالي عندما تتوفر بيئة لاهوائية مناسبة بها الأحماض العضوية الطيارة والأسيتات والبروباينات سوف تتكاثر و تسود بكتريا تجميع الفوسفور على باقي فصائل البكتريا غير ذاتية التغذية ومن ثم سيكون إزالة الفوسفور أفضل ما يمكن.

تقوم بكتريا تجميع الفوسفات بالتغذية على هذه المركبات الخفيفة الطيارة وتحويلها الى مركبات متبلرة مثل بيتا هيدروكسي بيوتيرات β -hydroxybutyrates ذات وزن جزيئي أكبر وتخزينها في خلاياها ولكي تتم عملية التخزين هذه تحتاج البكتريا الى طاقة تأتي هذه الطاقة من المركبات عديدة الفوسفات (المختزنة في خلايا البكتريا سابقا أثناء تواجدها في أحواض التهوية حيث يتحول ATP الى ADP) حيث تقوم بتكسير هذه المركبات الفوسفورية وتحصل على الطاقة ومن ثم يخرج الفوسفات من الخلايا الى البيئة اللاهوائية ؛ ثم تنتقل البكتريا الى أحواض

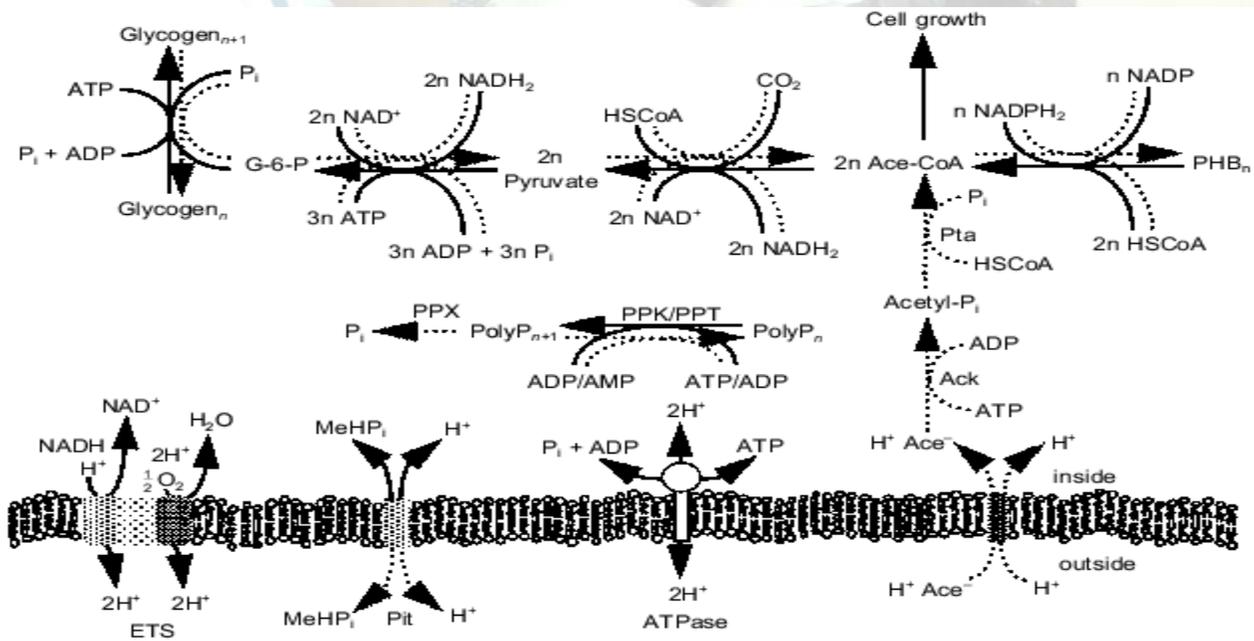
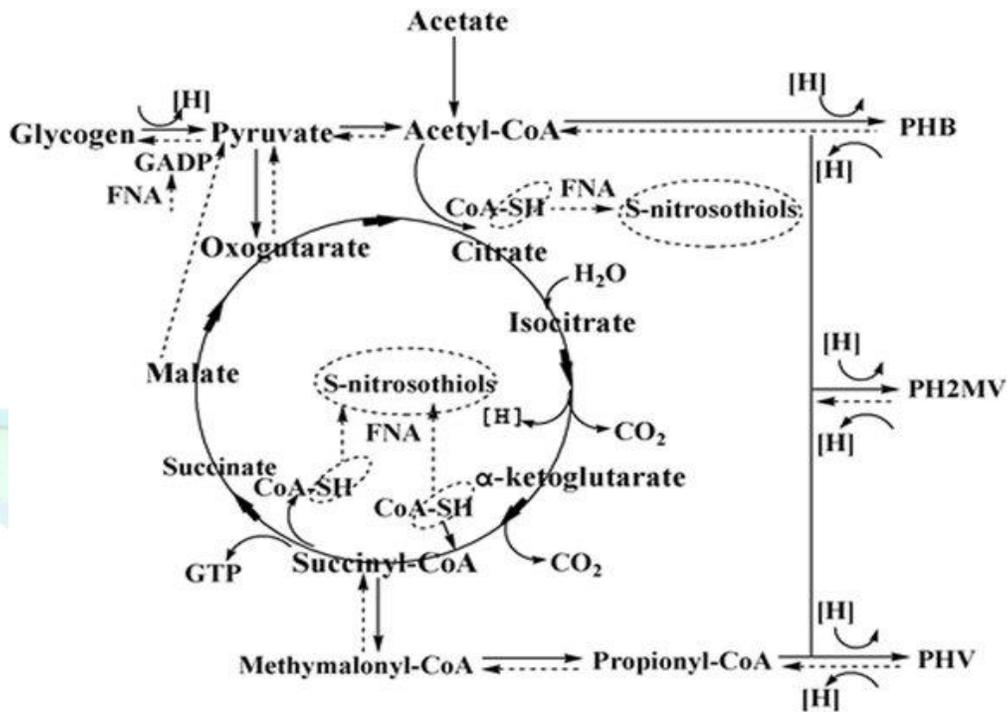
التهوية مع مياه الصرف المختلطة بالحماة الراجعة حيث تقوم البكتريا بهدم المركبات المتبلمرة التي تكونت سابقا من الأحماض الدهنية وتكسيرها مرة أخرى الى مركبات صغيرة الحجم مستخدمة الأوكسيجين المتوفر في احواض التهوية وفي عملية التمثيل الغذائي هذه تحتاج البكتريا الى طاقة كبيرة تأخذها من تجميع الفوسفور من أحواض التهوية وتخزين الفسفور في صورة مركبات تسمى عديدة الفوسفات polyphosphates وتكوين روابط فوسفورية عالية الطاقة بتحويل ADP الى ATP في خلاياها وبكميات أكبر بكثير من التي تم تكسيرها في الحوض اللاهوائي ثم يتم إزالة الفوسفور مع الحماة الزائدة في عملية إزالة الحماة WAS والتي تحتوى على البكتريا المجمعة للفوسفور والتي خزنت الفوسفور في خلاياها ومن ثم ينخفض تركيز الفوسفات في المياه المعالجة بدرجة كبيرة قد تصل لأقل من 1 ملجم/ل فوسفور ذائب أو أورثوفوسفات)



حوض إزالة الفوسفور

تنمو البكتريا المجمعة للفوسفور ببطيء ولكنها أسرع نموا من بكتريا النترة لذلك يجب أن يكون متوسط زمن بقاء الخلية على الأقل MCRT 2-3 يوم وقد يمتد حسب نوع العملية الى 40-60 يوم حسب درجة الحرارة دون التأثير على البكتريا المجمعة للفوسفور إلا أن طول الفترة يزيد من تركيز النترات والتي تغير بالتالي من خواص البيئة اللاهوائية الخاصة ببكتريا تجميع الفوسفات لذلك يجب ان يحرص المشغل حتى لا تتعارض عملية النترة مع عملية إزالة الفوسفور كما يجب أن يحرص حتى لا يحدث تحرر ثانوي للفوسفور اذا بقيت البكتريا المجمعة للفوسفور في بيئة لاهوائية فترة طويلة جدا مع زيادة النترات الراجعة مع الحمأة الراجعة مما يؤدي لتحرر الفوسفور من خلايا البكتريا المجمعة للفوسفور فيزيد تركيزه اكثر من تركيز الفوسفور الداخل للمحطة .

يمثل الفوسفور حوالي 35% من تكوين خلايا البكتريا المجمعة للفوسفور وكما قلنا هي بكتريا غير ذاتية التغذية heterotrophic bacteria ولها القدرة على امتصاص وتخزين المواد الكربونية العضوية الطيارة في بيئة لاهوائية anaerobic (لاحظ أن معظم البكتريا غير ذاتية التغذية لا تستطيع امتصاص وتخزين المركبات الكربونية العضوية في ظروف لاهوائية) وبالتالي عندما تتوفر بيئة لاهوائية مناسبة بها الأحماض العضوية الطيارة والأسيتات والبروباينات سوف تتكاثر و تسود بكتريا تجميع الفوسفور على باقي فصائل البكتريا غير ذاتية التغذية ومن ثم سيكون إزالة الفوسفور أفضل ما يمكن



الشكل يبين كيفية إخراج الفوسفات في الأحواض اللاهوائية ويمثلها الخطوط المقطعة ثم تجميع الفوسفور في حوض التهوية ويمثلها الخطوط السليمة

يؤخذ في الاعتبار أن زمن المكث الهيدروليكي HRT للبيئة اللاهوائية anaerobic لا يزيد عن 24 ساعة.

البيئة التي يتوفر فيها الأحماض الدهنية الطيارة والجو الدافئ أو الحار ونظام التهوية المطولة (كما في نظام الكاروسيل لمحطة ينبع) التي يكون زمن مكث الخلية 30-12MCRT يوم هو الأنسب لعملية إزالة الفوسفور (محطة ينبع 12-15 يوم).

(تلجأ بعض المحطات لتوفير الأحماض الدهنية الطيارة عن طريق تخزين 20-30% من الحمأة من المروقات الابتدائية في المكثقات thickeners حيث تتخمر الحمأة وينتج منها الأحماض الدهنية الطيارة أو إطالة فترة مكث الخلية MCRT للحمأة في المروقات الابتدائية 1-3 يوم).

لكي نحسن عملية نزع الفوسفور يجب نزع النترات تماما من الحمأة الراجعة RAS أو التقليل من رجوعها 20-30% وذلك لتقليل الأكسجين الذائب والنترات بها وقد تم لإختيار معدل رجوع للحمأة 75% - 77% لمحطة ينبع .

يجب أن يتوفر كمية مناسبة من المواد الكربونية BOD اللازمة لإتمام عملية إزالة الفوسفور 25:1 كربون الى فوسفات أو أكثر وهذه الميزة تتوفر في مياه الصرف الصحي بمحطة ينبع وفقا لمعيير المياه الخام التي تم تصميم العملية البيولوجية عليها .

زمن المكث بحوض ازالة الفوسفور عادة يكون من 2-3 ساعات وقد تم تصميم الحوض

بمحطة ينبع ليكون 44 - 73 دقيقة

يجب ان يكون الحوض اللازم لإزالة الفوسفور خالي من الأكسجين والنترات أي أنه يجب أن يكون anaerobic zone بيئة لاهوائية كما ذكرنا ونكرر

1- لأن تواجد كلا منهما يمنع تخمر المركبات العضوية COD وتحويلها الى أحماض الخليك والبروبايونيك البسيطة اللازمة والضرورية لعملية لإزالة الفوسفات

2- يعمل كل منهما كمكتسب للإلكترونات من بكتريا تجميع الفوسفور وكذلك الأنواع الأخرى من البكتريا مما يخلق تنافس بين أنواع البكتريا المختلفة على التمثيل الغذائي وهدم الأحماض الدهنية الطيارة والمركبات العضوية خفيفة الوزن مما يحرم بكتريا تجميع الفوسفات من الغذاء اللازم للنمو مما يؤدي الى تقليل نمو بكتريا تجميع الفوسفور .



1-5 أحواض التهوية

Aeration tanks

الهدف من المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي هو إزالة المواد العضوية والغير عضوية (المركبات العضوية الكربونية والنيتروجينية والأمونيا) والمغذيات (النيتروجين والفسفور)

ينتقل الخليط المكون من مياه الصرف الخام والحماة النشطة الراجعة من أحواض الترسيب بعد زمن المكث في الأحواض اللاهوائية Anaerobic tank الى أحواض التهوية وحيث أن محطة ينبع تم تصميم أحواض التهوية بحيث يكون بها مرونة لإجراء أحد عمليات إزالة النيتروجين وهما عملية النترة /نزع النترة المتزامن simultaneous nitrification/denitrification أو النترة /نزع النترة المسبق preceding denitrification فإن مسار دخول المياه وترتيب انتقالها بين الأحواض يتوقف على نوع العملية التي سوف تستخدم في المعالجة .

تم انشاء ثلاث أحواض تهوية بحجم يناسب متوسط معدل التدفق اليومي الذي يبلغ 60000 متر مكعب وأعلى معدل تدفق والذي يصل الى 100000 متر مكعب لليوم أيضا .

تم تزويد المحطة بنوافخ الهواء وهي 6 نوافخ للهواء سعة الواحد منها 11000 متر مكعب هواء توفر الأوكسيجين اللازم للنشاط البكتيري كما تم تزويد الأحواض بخلاطات لتدوير الخليط

المتخمر وبقاءه في شكل سائل معلق ومنع ترسب الحماة وحيث أن سرعة التدوير التي تكفي

لبقاء الخليط معلقا هي 0.2 m/s فقد تم تزويد الأحواض بخلاطات تضمن سرعة تدوير 0.3

m/s



في حالة التشغيل بطريقة نزع النترة المتزامن simultaneous denitrification يتم تشغيل الأحواض في وضع التوازي بحيث يكون لكل حوض منطقة هوائية aerobic zone ومنطقة لاهوائية anoxic zone بحيث لا تقل المنطقة اللاهوائية عن 37 % من إجمالي مساحة حوض التهوية

في حالة نزع النترة المسبق Pre- denitrification يتم تشغيل الأحواض على التوالي بحيث يستخدم الحوض رقم (1) الذي يتوسط الحوضين (2؛3) حوض التوزيع كمنطقة لاهوائية anoxic zone ويستخدم الحوضين رقم (2 و 3) كمنطقة هوائية aerobic zone وبالتالي يكون انسياب المياه مستمر من حوض رقم (1) الى رقم (2) الموجود الجهة اليمني منه ثم الى رقم الحوض (3) الموجود يساره عن طريق قناة تربطهما على التوالي ويجب الا يقل

حجم المنطقة اللاهوائية عن 27 % من اجمالي مساحة أحواض التهوية البالغ 47815 متر مكعب .

والآن نستعرض العمليات الحيوية التي تتم في أحواض التهوية وأنظمة التشغيل المختلفة التي صممت عليها أحواض التهوية ونستكمل مسار المياه ومراحل عملية المعالجة البيولوجية مع التطرق إلى بيولوجيا مياه الصرف الصحي لكي نوضح العلاقة بين العملية البيولوجية وتصميم المحطة ومن ثم نكون على مقدرة على التعامل مع مشاكل التشغيل وحلها أو تجنب حدوث بعض المشاكل والوصول إلى أعلى درجة من الكفاءة في تشغيل المحطة

1-5-1 إزالة المواد العضوية

Carbonaceous biochemical oxygen demand removal CBOD

إن فهم سلوك الأحياء الدقيقة في كيفية معالجة مياه الصرف الصحي ضرورة من أجل العمل على أفضل تصميم وتشغيل نظام المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي .

من أهم الكائنات الحية الدقيقة التي تقوم بمعالجة مياه الصرف هي على التوالي البكتريا والبريتوزوا والفطريات والطحالب والديدان .

كل الكائنات الحية تحتاج إلى طاقة وغذاء (كربون) ومغذيات (العناصر مثل النيتروجين والفسفور والحديد... الخ) لكي تتمكن من القيام بوظائفها الحيوية مثل الحركة والنمو والتكاثر .

يمكن تقسيم الكائنات الحية إلى قسمين طبقاً لنوع الكربون الذي تستخدمه كمصدر للغذاء ؛ الأول كائنات ذاتية التغذية autotrophic organism وهي التي تستخدم ثاني أكسيد الكربون كمصدر للكربون (تصنع غذائها بنفسها بتحويل الكربون إلى مركبات أكثر تعقيداً) ؛ والثاني كائنات غير ذاتية التغذية heterotrophic organism وهي التي تستخدم المركبات العضوية مصدراً للكربون (تأخذ غذائها جاهزاً عبارة عن مركبات عضوية موجودة بالبيئة) .

كما يمكن تقسيمها أيضاً بناء على مصدر الطاقة إلى قسمين الأول كائنات ضوئية التغذية phototrophic organism وهي التي تستخدم الضوء كمصدر للطاقة والثاني كيميائية التغذية chemotrophic organism وهي تستخدم المركبات الكيميائية في الحصول على الطاقة ؛ في كل عمليات معالجة مياه الصرف (فيما عدا برك الأكسدة) لا يستطيع الضوء إختراق السائل في الأحواض لدرجة ذات أهمية وبالتالي فإن الكائنات التي تعتمد على الضوء كمصدر للطاقة photoautotrophic & photoheterotrophic ليست ذات تأثير في عملية

المعالجة بالحماة النشطة ؛ بينما تلعب البكتريا ذاتية التغذية التي تستخدم المركبات الكيميائية كمصدر للطاقة chemoautotrophic (مثل البكتريا التي تقوم بعملية النترتة) والبكتريا غير ذاتية التغذية التي تستخدم المركبات الكيميائية للحصول على الطاقة chemoheterotrophic (المسؤولة عن معظم التفاعلات في عملية المعالجة بالحماة النشطة) .

داخل الخلية البكتيرية تحدث التفاعلات الكيموحيوية في عملية تسمى التمثيل الغذائي metabolism وهي تنقسم إلى نوعين من التفاعلات الحيوية

*تفاعلات ينتج منها طاقة نتيجة تكسير للمركبات العضوية وتسمى عدم التمثيل dissimilation أو الهدم catabolism

* تفاعلات ينتج منها بناء أو تخليق خلايا جديدة (النمو) وتسمى التمثيل assimilation أو البناء anabolism وهي تستخدم الطاقة التي تتحرر من التفاعلات السابقة في عملية الهدم .

ببساطة تنمو الكائنات الحية وتتكاثر مقابل الطاقة التي تحصل عليها من عملية الهدم حيث تكون الطاقة مختزنة في صورة مركبات كيميائية عضوية تسمى المواد المتفاعلة substrate حيث تتحرر هذه الطاقة وتتحول الى خلايا في عملية البناء ويكون صافي النمو هو ناتج التوازن بين البناء (الموجب) والهدم (السالب) وفي كلتا الحالتين يحدث التحول الكيميائي من خلال سلسلة متتابعة من التفاعلات يتم تنشيط كل منها بإنزيم خاص ؛ معظم الإنزيمات موجودة داخل الخلية الحية وتسمى الإنزيمات الداخلية intracellular enzyme or endoenzyme ؛ الا أن بعض الإنزيمات تفرزها البكتريا في الخارج وتسمى extracellular enzyme or exoenzyme وهي تفرز في البيئة المحيطة وترجع أهميتها الى تفاعلات

التحلل التي تحدث خارج الخلية وهي المسؤولة عن تحويل المركبات كبيرة الحجم والمعقدة الى مركبات بسيطة يمكن أن تمر من خلال غشاء الخلية حيث يتم استهلاكها .

عملية إزالة المواد العضوية من مياه الصرف الصحي (معالجة مياه الصرف الصحي) تحدث من خلال عملية الهدم catabolism وهي تنقسم إلى نوعين:

*الهدم بالتأكسد oxidative catabolism وهي تفاعلات أكسدة وإختزال redox يتوفر العامل المؤكسد في البيئة المحيطة (مثل الأوكسيجين والنترات والكبريتات) وهو يؤكسد المواد العضوية *الهدم بالتخمر fermentative catabolism ولا يوجد بالبيئة عامل مؤكسد ولكنها عملية يتم فيها لإعادة ترتيب الالإلكترونات في الجزيئات المتخمرة بحيث ينتج منها على الأقل اثنين من النواتج.

إنتاج الطاقة في الخلية يتم طبقا لنوع وطبيعة الكائنات الحية فهو يتم إما عن طريق التنفس respiration (الهدم بالتأكسد) أو التخمر (الهدم بالتخمر) ؛ وعملية التنفس ليست محصورة في العمليات التي تستخدم فيها الخلية الحية الاكسيجين ؛ وعادة في عملية الأوكسدة تفقد المادة التي تم أكسدتها الكترولون أو أكثر وتتحول الى حالة تأكسد أعلى ويمكن أن تكون مادة عضوية أو غير عضوية وهي في هذه الحالة تكون مانحة للإلكترونات electron donor ؛ تنتقل هذه الالإلكترونات عبر سلسلة معقدة من التفاعلات الكيموحيوية وبمساعدة الانزيمات الى مركبات غير عضوية أخرى (وتسمى العوامل المؤكسدة) وتسمى مكتسبة للإلكترونات ومن ثم ينخفض حالة أكسدتها .

من أهم مكتسبات الالإلكترونات والتي تستخدم في عملية التنفس الأوكسيجين (في البيئة الهوائية تمثل غذائي هوائي ينتج منه ماء) والنترات (في البيئة اللاهوائية anoxic ويحدث أثناء

اختزال النترات وينتج غاز النيتروجين) والكبريتات وثاني أكسيد الكربون (البيئة اللاهوائية anaerobic تختزل الكبريتات وينتج عنها كبريتيد الهيدروجين بينما يتححول ثاني اكسيد الكربون الى ميثان عبر عملية methanogenesis وهي تتم بطريقتين الاولى عملية تأكسد يتم الحصول على الميثان من الهيدروجين hydrogenotrophic methanogenesis ويكون فيها ثاني اكسيد الكربون مكتسب للإلكترونات ويختزل الهيدروجين ؛ والثاني انتاج الميثان من الاسيتات acetotrophic methanogenesis حيث يتحول حامض الخليك أو الاسيتات الى ميثان وهذه السلسلة منالتفاعلات أهم من الاولى وهي السائدة).

توجد كائنات تتكيف مع مختلف ظروف التنفس وتنقسم الكائنات الحية الى

*كائنات هوائية فقط aerobic وهي تستخدم الاكسجين الجزيئي في التنفس

*كائنات اختيارية anoxic وهي تفضل الاكسجين الجزيئي الحر وايضا تستخدم النترات كمكتسب للإلكترونات

*كائنات لاهوائية تماما anaerobic وتستخدم ثاني اكسيد الكربون والكبريتات كمكتسب للإلكترونات ولا تحصل على الطاقة عبر التنفس الهوائي .

ولأن الطاقة التي تنتج من التفاعلات الهوائية أكبر بكثير من الطاقة الناتجة من التفاعلات اللاهوائية anaerobic فإن الكائنات الهوائية تتكاثر وتعمل على تثبيت المواد العضوية أسرع وأكثر من الكائنات اللاهوائية وبما أن معدل النمو والتكاثر في الكائنات الهوائية أكبر سيكون إنتاج الحمأة أكبر أيضا .

سلسلة التحولات التي تحدث أثناء معالجة مياه الصرف دالة في مكتسبات اللاإلكترونات وحالة التأكسد للمركبات والتي يتم متابعتها كما سنوضح لاحقا بالكترودات قياس الأكسدة والاختزال . ORP

حالة التأكسد للمركب تحدد كمية الطاقة القصوى المتاحة فيه فكلما كان المركب أكثر إختزلا كلما كانت كمية الطاقة به كبيرة ؛ والهدف من التمثيل الغذائي هو الحفاظ على الكثير من الطاقة كلما أمكن للخلية ؛ أقصى طاقة متاحة من أكسدة المواد هو الفرق بين محتوى الطاقة (يعطى بحالة التأكسد) ومحتوى الطاقة للمنتج النهائي (يعطى بحالة تأكسد المنتج في نهاية التفاعل) .

*كلما كانت حالة التأكسد للمنتج النهائي كبيرة كلما كانت كمية الطاقة المتحررة كبيرة ؛ الكربون في ثاني أكسيد الكربون في أعلى حالات التأكسد لذلك تفاعلات الأكسدة التي تؤكسد الكربون في المادة تماما لثاني أكسيد الكربون (تنفس هوائي) يتحرر منها طاقة أكثر من التفاعلات التي ينتج منها إيثانول (التخمر) .

*كلما انخفضت حالة التأكسد للمادة Substrate كلما كانت كمية الطاقة المتحررة كبيرة فمثلا أكسدة حامض الخليك لثاني أكسيد الكربون يتحرر منها طاقة أقل من المتحررة نتيجة تحويل الإيثانول لثاني أكسيد الكربون لأن الكربون في حامض الخليك في حالة تأكسد أعلى من الكربون في الإيثانول .

*ثاني أكسيد الكربون لا يمكن أن يكون مصدرا للطاقة لأن الكربون في أعلى حالة تأكسد له .

تحتوي مياه الصرف المنزلي علي نسبة 100 : 5 : 1 من الكربون والنيتروجين والفسفور التي تفي بحاجة الكائنات الدقيقة ؛ وتتواجد المركبات العضوية في مياه الصرف ذائبة و معلقة

وحبيبات وتستخدم الذائبة كمصدر للغذاء للكائنات غير ذاتية التغذية في الخليط المتخمر ؛ حيث يتم امتزاجها وامتصاصها ومساعدتها علي التنفد واكسدتها بالكائنات الحية ؛ والتهوية لعدة ساعات يحول BOD الي كتلة حيوية وتوجد مهمتين للتهوية الأولى مد الكائنات بالأكسجين والثانية المحافظة علي تهيج الندف للحفاظ علي تلامس كافي بين الندف ومياه الصرف الخام الداخلة ويجب توفر كمية كافية من الأكسجين لنشاطية الكائنات غير ذاتية التغذية و ذاتية التغذية بصفة خاصة بكتريا النيترة



يتم أكسدة المركبات العضوية BOD وكذلك أكسدة الأموتيا وتحولها الي نيتريت ثم الي نترات في أحواض التهوية بالمنطقة التي يتم ضخ الهواء بها عن طريق ناشرات الهواء أسفل الحوض والتي يتم ضخ الهواء لها عن طريق نوافخ الهواء

يمثل CBOD كل المركبات العضوية المحتوية على كربون في مياه الصرف الخام والتي تستهلك بواسطة الكائنات الحية وتتكرر ويتم قياسها في صورة BOD ويجب الإشارة هنا ان الأكسجين الحيوي المستهلك في اختبار الأيام الخمسة (BOD5) يمثل جزء فقط من المواد العضوية الكربونية المتحولة أو المستهلكة في مياه الصرف وهو حوالي 60%-65% من اجمالي CBOD ويتكون BOD من الأكسجين الحيوي المستهلك الذائب والحبيبات أو الموجود في المواد الصلبة العالقة ؛ يتم استهلاك الجزئ الذائب بسرعة بمجرد تلامسه مع MLSS بواسطة البكتريا بينما يتم ادمصاص الحبيبات على سطح الندف أو الكتلة الحيوية biomass أو الحماة ويتم استهلاكها وتكسيدها بمعدل يعتمد على تركيبها الجزيئي وبالتالي يعتمد حجم حوض التهوية على كل من BOD المستهلك ومعدل تكسيده واستهلاكه .

التركيز العالي من المواد الصلبة الحيوية أو الكتلة الحيوية مرغوب وهذا يفيد في جعل حوض التهوية صغير الحجم الا انه يوجد حد لا يمكن تجاوزه لتركيز الحمأة او الكتلة الحيوية بالحوض وذلك طبقا لسعة نقل الأكسجين الذائب وسعة حوض الترسيب ويمكن استخدام طرق ضخ اكسجين وتكبير حجم حوض الترسيب للتقليل من حجم حوض التهوية ولكن تكاليف العملية يكون أكبر .

عملية نقل الأكسجين عنصر هام من عناصر كفاءة عملية المعالجة ويجب نقله بمعدل يساوي الإحتياج المطلوب للبكتريا واللازم لأداء مهامها من التمثيل الغذائي والتكاثر ؛ يتم تحديد قيمة متطلب الأكسجين اللازم للعملية من كل من BOD وقياس النيتروجين اذا كانت العملية مصممة للنترة وإزالة الكربون العضوي

يتغير متطلب الأكسجين الحيوي خلال الزمن والمسافة عبر حوض التهوية وبالتالي يجب ضخ اكسجين كافي اذا كان الهدف الحصول على منتج نهائي جيد ومن اجل تجنب انتقاء كائنات حية غير مرغوب فيها مثل الخيطيات.

تتكون الحمأة النشطة المحتوية على الكائنات الحية التي تقوم بعملية المعالجة في ثلاث مراحل مختلفة هي

1-خطوة الإنتقال Transfer step 2- خطوة التحويل Conversion step 3- خطوة

التنديف أو تكوين الندف Flocculation step

أثناء خطوة الإنتقال تنتقل المواد العضوية الذائبة من مياه الصرف الخام الى داخل الخلايا الحية للبكتريا عبر جدار الخلية بينما يتم ادمصاص المواد الصلبة الغير ذائبة من مياه الصرف على سطح جدار الخلايا البكتيرية حيث يتم تكسيرها وتحويلها لمركبات ذائبة ثم امتصاصها

ويتم ذلك قبل عمليات التانفس والتخليق البيولوجي التي تقوم به الكائنات الحية أو البكتريا ويتم ذلك كالتالي :

تتلامس المواد الغذائية الموجودة في مياه الصرف بكبسولة جدار الخلية البكتيرية capsular layer (slime layer) الذي يحمي جدار الخلية ويترسب عليه المواد الغذائية ايضا ثم يدخل الغذاء الى جدار الخلية وهو غشاء شبه منفذ ومن ثم الى داخل الخلية مباشرة حيث يتم استهلاكه مباشرة دون اي فعل آخر من الخلية وهذا يسمى (passive transport) أو يتم حمله عبر الغشاء بطريقة تسمى (active transport) ثم تفرز الخلية انزيم البريميز (permease) الذي يخترق الغشاء ويلتصق بالغذاء وهذا يتيح الفرصة للغذاء الذي لم يتمكن من عبور الغشاء ان يستهلك ويعمل هذا الإنزيم كعامل مساعد ولا يتغير اثناء هذه العملية وبمجرد دخول الغذاء لداخل الخلية يترك الإنزيم الغذاء ويعود لجلب المزيد من الغذاء ؛ اذا كانت خلية واحدة لا تستطيع استهلاك الغذاء المنقول لها يتم تمريره من خلية الى اخرى حتى يتم استهلاكه أو يخرج مع المخلفات ولعل هذا هو السبب في وجوب ان يكون نظام المعالجة acclimated وأهمية وجود مجموعة مختلفة ومتنوعة من الكائنات الحية التي تستطيع استهلاك وتكسير المواد العضوية الموجود في مياه الصرف الخام .

2-الخطوة الثانية في العملية وهي التحويل وهذه العملية يتم فيها الكسدة والتخليق وكلا التفاعلين يكون عملية التمثيل الغذائي metabolic process وفي عملية التمثيل الغذائي تتكسر مركبات عضوية وتتكون ايضا مركبات جديدة وتتكون عملية التمثيل الغذائي من عمليتين الأولى تسمى عملية البناء anabolism أو التفاعلات التي يتم بموجبها تخليق مركبات جديدة والثانية هي عملية الهدم catabolism وهي التفاعلات التي يتم بموجبها تكسير المركبات العضوية ؛ المسئول عن تسريع هذه العمليات هو الإنزيم ؛ والإنزيم اما يقوم بعمله

داخل الخلية endocellular أو يتم افرازه ليقوم بعمله خارج الخلية exocellular ؛ ولكي تتكاثر الخلايا الحية وتنمو تحتاج لمصدر للطاقة والكربون واذا كانت الخلية تحصل على الكربون من ثاني اكسيد الكربون فإنها تسمى خلايا ذاتية التغذية autotrophic واذا كانت تحصل عليه من الكربون العضوي تسمى heterotrophic.

عملية التنفس هي عملية يتم فيها استخلاص الطاقة والحصول عليها من جزيئات عالية الطاقة وتقوم البكتريا بتخزين الطاقة في صورة مركبات عالية الطاقة مثل ATP في الميتوكوندريا داخل الخلية الحية البكتيرية .

يسمى التفاعل الذي يحدث اثناء عملية التنفس تفاعل الأكسدة- الإختزال

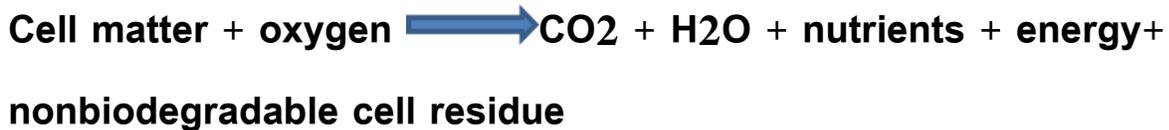
تفاعل الأكسدة في وجود الكائنات لحية كالتالي :



تفاعل التخليق في وجود الكائنات الحية ايضا كالتالي :



ويعبر عن التنفس الداخلي للخلية للحصول على الطاقة كالتالي :



كمية غذاء الطاقة المستخدم للطاقة مقابل التخليق في تفاعلات التخليق يعتمد على تركيب المواد الغذائية ؛ في مياه الصرف الصحي المنزلي ثلث كمية المواد الغذائية أو المواد العضوية

ينتج منها طاقة بينما يتحول الثلثين الى كائنات خلايا جديدة وبالتالي في عمليات تخليق خلايا حية جديدة نجد ان :

$$1.0 \text{ kg BOD5} \longrightarrow 0.5 \text{ kg O2 uptake} + 1.0 \text{ kg O2 new cells}$$

(Note: 1.0 kg BOD5 = 1.42 kg BODu)

وفي عمليات التنفس الداخلي للخلية الحية Endogenous respiration reaction للحصول على الطاقة

$$1.0 \text{ kg cells} \longrightarrow 0.8 \text{ kg O2 uptake} + 0.2 \text{ kg O2 cell residue}$$

حيث :

$$\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 \text{ (cells) (MW=160)} + 5\text{O}_2 \text{ (MW=113)} \longrightarrow 5\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3$$

أي أنه :

$$160/113 = 1.42 \text{ kg O}_2/\text{kg SS}$$

ويمكن اجمال الأوكسيجن اللازم والخلايا الحية الناتجة في الجدول التالي

	Oxygen Required (kg O ₂ /kg BOD ₅ removed)	Solids Production (kg SS/kg BOD ₅) removed
Synthesis Endogenous	0.5	0.7
Respiration	1.3	0.14

يجب ان تستهلك البكتريا المواد العضوية بقدر الإمكان ولا بد من تكوين مواد صلبة تتفصل بسهولة عن المياه و قابلة للترسيب في أحواض الترسيب الثانوية او النهائية

3-الخطوة الثالثة في عملية الحماة النشطة هي عملية التنديف او تكوين الندف ؛ تتكون الندف مواد متبلمرة عديدة الخلايا مثل السكريات polysaccharides العديدة بواسطة الخلايا الحية كلما زاد عمر الخلية والتي تحيط بعد تكوينها بالخلية الحية أو الخلية البيكتيرية وتغلفها مما يسهل التصاق العديد من الخلايا مع بعضها مكونة الندف ؛ واذا زاد عمر الخلية تموت وتتكسر الندف وتلتصق بخلايا جديدة إلا انه اذا كانت الندف تحتوي على العديد من الخلايا الميتة (عمر الخلية كبير ادى لموت معظم او كل الخلايا البكتيرية) فإن الندف تكون سيئة فتتكسر ولا تتكون ندف مرة أخرى بالتصاقها مع خلايا جديدة وتتشتت معطية محلول غير رائق أو منتج ثانوي غير رائق ؛ اما اذا كان النمو الخلوي البيكتيري سريع جدا (عمر الخلية أو عمر الحماة صغير جدا) فإن مساحة سطح الخية يزيد أكثر من مقدرة الخلية لتغطي نفسها بالجزيئات المتبلمرة عديدة الجزيئات slime وبالتالي لا تلتصق الخلايا البكتيرية المفردة مع بعضها ويكون كثافة الندف منخفضة وتجز جزيئات مياه بينها ولا تتكون ندف بالحجم المناسب للترسيب في احواض الترسيب الثانوي ومن ثم ينتج محلول غير رائق وبالتالي يوجد عمر حمأة مثالي يجب الوصول اليه ويمكن تقدير العمر المثالي للحماة بعمل رسم بياني بين مؤشر حجم الحماة SVI وعمر الخلية .

برسم منحنى النمو البكتيري يتضح انه يمر بخمس أطوار أو مراحل مختلفة

*طور أو مرحلة التكيف Adaptation (Lag) Phase وهو جزء من المنحنى يمثل الفترة الزمنية اللازمة للكائنات الحية لكي تأقلم نفسها على المواد الغذائية الموجودة في مياه الصرف

؛ اعداد البكتيريا في هذه المرحلة لا تتزايد ويحدث ازاحة ناحية اصناف من البكتيريا القادرة على استهلاك المواد العضوية

*طور أو مرحلة النمو Log Growth Phase بمجرد ان تتكيف البكتيريا فإنه فقط عدد من

الكائنات الدقيقة تحدد معدل النمو ولأن البكتيريا تنقسم بطريقة الإنقسام الثنائي يسمى النمو اللوغاريتمي ويكون الغذاء ليس هو العامل المحدد للنمو في هذا الطور لأن كمية الغذاء تكون

كافية لكل خلية موجودة ان تنقسم وتخلق خلية جديدة لها غذاء موجود بالفعل

*طور أو مرحلة الإنتكاس Declining Growth Phase وفيه يكون الغذاء عامل محدد

للمو لأنه لن يكون لكل خلية جديدة غذاء متوفر

*طور أو مرحلة الثبات Maximum Stationary Phase يكون الغذاء المتوفر كافي فقط

للمحافظ على الكتلة الحيوية من الخلايا الحية عند مستوى ثابت فقط ومعدل نمو يساوي صفر

لعدم وجود غذاء سوى لهذه النسبة الثابتة

*طور موت الخلايا Endogenous (Cell Death) Phase وفيه يكون الغذاء غير كافي

للمحافظ على نسبة ثابتة من الكتلة الحيوية وبالتالي تضطر الخلايا الحية للتغذية على نفسها او

على بعضها وتستهلك البروتوبلازم .

تتم عملية المعالجة البيولوجية نتيجة للنشاط الحيوي للكائنات الدقيقة الموجودة في مياه الصرف

الصحي وببساطة شديدة دون التفاصيل فإن البكتيريا التي تتواجد في الحمأة النشطة المستخدمة

في عملية الحمأة النشطة يمكن تقسيمها إلى:

1-بكتريا ذاتية التغذية autotrophs وهي البكتريا التي تستخدم الكربون الغير عضوي

كمصدر للكربون (مثل ثاني أكسيد الكربون) في عملية النمو والتكاثر ومن أمثلتها البكتريا

التي تقوم بأكسدة الأمونيا الى نيتريت(بكتريا النيتروزوموناس) في الخطوة الأولى من عملية

النترتة nitrification ومعدل نمو هذه البكتريا سريع وهي تستخدم الأكسجين الجزيئي كمكتسب

نهائي أو أخير للإلكترونات في تفاعلاتها وبالتالي يمكن القول أيضا أنها بكتريا هوائية لا تنشط إلا في وجود الأكسجين الجزيئي ؛ ومن أمثلتها أيضا (بكتريا النيتروباكتر) وهي المسؤولة عن الخطوة الثانية في عملية النترة حيث تؤكسد النيتريت إلى نترات في وجود الأكسجين الجزيئي أيضا ولكنها بطيئة النمو عكس السابقة وتحتاج وقت طويل للنمو والتكاثر ويكون التفاعل الحاصل في هذه الحالة تفاعل هوائي aerobic والبكتريا بكتريا هوائية وكذلك تسمى البيئة بالبيئة الهوائية aerobic or oxic أي أن الحوض التي تتم فيه هذه العملية بشقيها أحواض التهوية وإزالة الكربون العضوي من مياه الصرف CBOD البكتريا التي تقوم بعملية اختزال النترات وإزالة النيتروجين في عملية denitrification وهي العملية المكتملة لعملية النترة لإزالة النيتروجين من مياه الصرف ويسمى التفاعل تفاعل لا هوائي إذا تم في غياب الأكسجين الجزيئي حيث يتم استخدام هذه البكتريا وتتميتها في بيئة لاهوائية (anoxic) و البيئة اللاهوائية تنقسم إلى قسمين لاهوائية ليس بها أكسجين جزيئي O₂ ولكن بها مركبات تحتوي على الأكسجين مثل النترات NO₃ وتسمى anoxic zone والثانية بيئة لاهوائية لا تحتوي على أكسجين جزيئي ولا مركبات تحتوي على أكسجين وتسمى (anaerobic zone) يتم توفير (anoxic zone) عن طريق قفل محابس الهواء في الحوض رقم (1) تماما وجعل الحوض منطقة لاهوائية في حال النترة المسبقة أو تشغيل قناة من كل حوض كمنطقة هوائية والقناة الثانية كمنطقة لاهوائية في حال النترة المتزامنة وذلك لإتاحة الفرصة للبكتريا غير ذاتية التغذية باختزال المركبات المحتوية على الأكسجين وفي غياب الأكسجين الجزيئي مثل النترات وبالتالي حدوث عملية نزع النترة denitrification وإزالة النيتروجين حيث تختزل النترات إلى نيتروجين جزيئي لا يذوب في الماء ويتصاعد كغاز إلى الهواء الجوي.

بينما يتم توفير البيئة اللاهوائية (anaerobic) لتنمية بكتريا الاتشينتوباكتر Acinetobacter وغيرها من الأصناف المسؤولة عن تجميع الفسفور والتخلص منه وإزالته

(ومن أمثلة البكتريا المجمعة للفسفور أيضا *acumulibacter* ,*microlunatus* ,*phosphovorus* ,*lampropedia* ,*tetasphaera japonica*, *agrobacterium* ,*aquaspirillum* , *cytophagoflavobacteria*)

البكتريا غير ذاتية التغذية هي أيضا المسئولة عن أكسدة المواد العضوية وإزالة الكربون العضوي من مياه الصرف CBOD ولا يمكن أن تتم عملية إزالة النيتروجين ولا الفسفور بكفأه إلا في وجود كمية مناسبة من الكربون العضوي في مياه الصرف وبالتالي فإن محتوى المياه من الكربون العضوي هام للعمليات على السواء .

من خلال الشرح المبسط المختصر السابق نخلص إلى أنه لا بد لإزالة النيتروجين والفسفات والكربون لعضوي من مياه الصرف توفير ثلاث أنواع من الأحواض بمحطات المعالجة التي تهدف للتخلص من الكربون العضوي والمغذيات (النيتروجين والفسفور) وهي أحواض هوائية بها أكسجين جزيئي *aerobic or oxic* وأحواض لاهوائية لا يوجد بها أكسجين جزيئي ولكن يمكن أن يتواجد بها مركبات تحتوي على الأكسجين أو أكسجين مرتبط مثل النترات *anoxic* وأحواض لاهوائية لا يوجد بها لا أكسجين جزيئي ولا أكسجين مرتبط *anaerobic* والأنواع الثلاثة من الأحواض تم تصميمها بمحطة معالجة مياه الصرف الصحي لينبع .

ومن أصناف البكتريا التي تقوم بعملية نزع النترية *denitrification*

Achromobacter, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*,
Arthrobacter, *Bacillus*, *Chromobacterium*, *Corynebacterium*,
Flavobacterium, *Hypomicrobium*, *Moraxella*, *Neisseria*, *Paracoccus*,
Propionibacteria, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Rhodopseudomonas*,
Spirillum and *Vibrio*

بينما يتم توفير البيئة anaerobic لتنمية بكتريا الاثشينتوباكتر Acinetobacter المسؤولة عن تجميع الفسفور والتخلص منه وإزالته (ومن أمثلة البكتريا المجمعلة للفسفور أيضا acumulibacter ,microlunatus ,phosphovorus ,lampropedia ,tetasphera japonica, agrobacterium ,aquaspirillum , cytophagoflavobacteria)

2-البكتريا غير ذاتية التغذية هي أيضا المسؤولة عن أكسدة المواد العضوية وإزالة الكربون العضوي من مياه الصرف CBOD ولا يمكن أن تتم عملية إزالة النيتروجين ولا الفسفور بكفاءة إلا في وجود كمية مناسبة من الكربون العضوي في مياه الصرف وبالتالي فإن محتوى المياه من الكربون العضوي هام للعمليات على السواء .

توجد عناصر ضرورية مهمة لعملية التغذية للكائنات الحية وهي العناصر الأكثرية وتشمل كربون وهيدروجين واكسجين وفوسفور ونيتروجين وعناصر الأقلية وتشمل كبريت وبوتاسيوم وصوديوم وكالسيوم وماغنسيوم وكلور وعناصر نادرة وهي حديد ومنجنيز وكوبالت ونحاس وبورون وزنك وموليبيدنيوم والومنيوم أما عوامل النمو تشمل الفيتامينات والأحماض الأمينية وكل هذه العناصر الضرورية موجودة في مياه الصرف المنزلي ؛ والقاعدة العامة تقول اننا نحتاج الى 5 كجم من النيتروجين وكيلوجرام واحد من الفسفور من أجل إزالة 100 كجم من BOD ؛ الكائنات الحية تنقسم الى

* هوائية aerobic تستخدم الأكسجين الجزيئي كمكتسب للإلكترونات في التنفس الهوائي المنتج النهائي يكون مياه



* كائنات لا هوائية اختيارية facultative تستخدم الأوكسيجن الجزئي والمرتبط حسب الظروف مثل (النترات) anoxic كمكتسب للإلكترونات في غياب الاكسيجين والمنتج النهائي

Organics + combined O₂ + bacteria → more bacteria + CO₂ + H₂O + end products

* لاهوائية لا تستخدم الاكسيجين الجزئي ولا المرتبط ولا يحدث أكسدة من خلال تفاعلاتها

ولكن يحدث تخمر للمركبات العضوية (anaerobic) وتنتج الميثان والأمونيا وكبريتيد الهيدروجين .

تتغذى الكائنات الحية بطريقة الضغط الأسموزي وبالتالي فإن الضغط الأسموزي الذي يعتمد على تركيز الأملاح لابد ان يكون في الحدود التي تسمح للبكتريا ان تتغذي ؛ معظم انواع البكتريا لا تتأثر بتركيز الأملاح بين 500 ملجم/ل - 35000 ملجم/لتر بشرط تواجد الكسيجين بتركيز 2-3 ملجم/ل والخلط الجيد يجعل البكتريا في تلامس دائم وجيد مع الغذاء وبالتالي يحافظ على حيوية ونشاط البكتريا.

معظم البكتريا الموجودة في مياه الصرف اختيارية يمكنها العيش في الظروف الهوائية واللاهوائية ايضا .

البكتريا المكونة للندف تكون ندف متماسكة تترسب بشكل جيد ؛ البكتريا الخيطية تتواجد في شكل مفتوح أو متشابك ولا بد من تواجد نسبة صغيرة معقولة منها للمساعدة في تكوين ندف بحجم وشكل مناسب للترسيب حيث تعمل الخيطيات كعمود فقري يجمع الندف الصغيرة جدا ليكون منها ندف ملائمة للترسيب .

زيادة نسبة البكتريا الخيطية يؤدي الى تضخم الحماة حيث تتشكل شبكات من البكتريا الخيطية تحمل ندف كثيرة جدا تحتوي فيما بينها هواء واحيانا نيتروجين في حال حدوث نزع نترتة

denitrification وتتصاعد على سطح الحوض ويحدث ذلك اذا كانت التهوية في حوض التهوية اقل من 0.5 ملجم/ل اوكسجين أو في حوض الترسيب اذا زاد سمك غطاء الحمأة وعمر الحمأة حيث تتوفر البيئة المناسبة لنمو بكتريا نزع النترية .

تتنافس كل من بكتريا تكوين الندف والبكتريا الخيطية على الغذاء (الكربون العضوي) والأكسجين والمغذيات (النيتروجين والفوسفور والحديد) ولكنها تختلف في طريقة التمثيل الغذائي لها فالنسبة لبكتريا تكوين الندف تحتاج وقت قصير ونسبة عالية من الغذاء اما الخيطيات تحتاج وجبات متتالية من الغذاء القليل ؛ كما ان بكتريا تكوين الندف تفضل البيئة الهوائية واهيانا التنوع بين الهوائية واللاهوائية المحتوية على اوكسجين مرتبط $anoxic$ بينما الخيطيات بعضها يفضل نسبة منخفضة جدا من الأوكسجين مثل البيئة اللاهوائية $anaerobic$ وبعضها هوائي لأنها أيضا بكتريا اختيارية .

الفطريات كائنات متعددة لا ضوئية التخليق وغير ذاتية التغذية تحتاج اوكسجين حر وتسود في البيئة منخفضة النيتروجين ومنخفضة الأوكسجين أو كلاهما وتنمو جيدا عند دجة حموضة اقل من $PH < 6$

الطحالب كائنات متعددة الخلايا ووحيدة الخلية ايضا ذاتية التغذية وضوئية التخليق

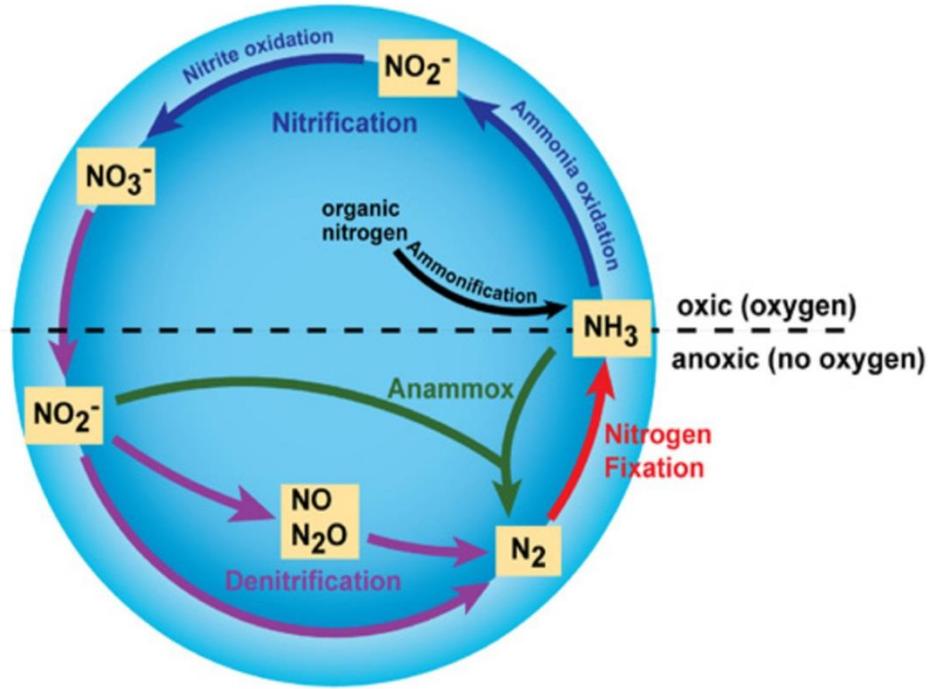
تم تصميم أحواض التهوية بمحطة ينبع بحيث تكون مناسبة لعملية أكسدة الأمونيا أو النترة وعملية إزالة النيتروجين وهي عملية نزع النترة بطريقتين هما النترة / نزع النترة المسبق predenitrification و نزع النترة / النترة المتزامن simultaneous denitrification

وقبل الخوض في تفاصيل كيفية تشغيل المحطة بالطريقتين سنتعرف على ماهية عمليتي النترة ونزع النترة ثم نفضل الفرق بين النترة / نزع النترة المسبق و النترة / نزع النترة المتزامن .

في البداية نؤكد على حقيقة هامة وهي أن عملية نزع النترة ليست عكس النترة كما يبدو من التسمية ولكنها عملية مكمل للنترة الهدف منها إزالة النيتروجين حيث يتم أكسدة الامونيا في النترة الى نيتريت ثم الى نترات ثم في عملية نزع النترة تتم عملية ازالة النيتروجين بإختزال النترات الى غاز النيتروجين كما سنوضح

1-5-2-1 (أ) عملية النترة أو النتجة Nitrification processes

عملية اكسدة الأمونيا الى نترات تتم بواسطة البكتريا ذاتية التغذية autotrophic bacteria في خطوتين حيث تحصل بكتريا اكسدة الأمونيا على الطاقة بأكسدة الأمونيا NH_3 الى نيتريت NO_2 وتحصل بكتريا أكسدة النيتريت على طاقتها من اكسدة النيتريت الى نترات NO_3 ؛ هذه التفاعلات ينتج منها القليل من الطاقة ولذلك يكون نمو البكتريا المسؤولة عن النترة nitrifiers بطئ وعددها في الحمأة صغير لذلك يتم تصميم المحطات التي تعمل على النترة بزمن مكث كبير HDT وعمر حمأة كبير SRT يضمن عدم ازالة هذه البكتريا مع الحمأة الزائدة التي يمكن ان تزال من النظام وايضا لتوفير الزمن اللازم لنمو اعداد مناسبة من هذه البكتريا لتتمكن من القيام بعملها .



دورة تثبيت النيتروجين nitrogen fixation

وتحتاج عملية النترية تقريبا 4.6 ملجم/ل أكسجين لكل ملجم نيتروجين-أمونيا يتم اكسدته ؛ تركيز الأكسجين الذائب في MLSS يؤثر على معدل عملية النترية حيث يتناقص معدل النترية مع نقص الأكسجين الذائب (تركيز الأكسجين المناسب لحدوث نترية 2-3 ملجم/ل) ومعدل النمو المثالي لبكتريا الترتة عند درجة حموض 6.5-8 pH وأثناء النترية ينتج حامض النيتريك وينخفض درجة الحموضة واذا لم توجد نسبة كافية من القلوية ينخفض درجة الحموضة لحد يتوقف أو تتباطئ معه النترية ؛ لكل 1 ملجم نيتروجين- امونيا يتم اكسدته يستهلك 7.1 ملجم قلوية ككربونات كالسيوم (CaCO3) ولذلك يفضل ان يكون تركيز القلوية المتبقية 50-100 ملجم/ل ككربونات كالسيوم لضمان عملية نترية ثابتة ؛ يمكن اضافة قلوية اذا لزم الأمر كما

في بعض محطات معالجة مياه الصرف باضافة الجير او كربونات الصوديوم او هيدروكسيد الماغنسيوم .

تتأثر النترة بدرجة الحرارة حيث تقل بنقص درجة الحرارة وبالتالي في المناطق الباردة يجب زيادة زمن مكث الخلية MCRT لتوفير الزمن اللازم للنمو للبكتريا بينما في المناطق الحارة يمكن ان تتم النترة ؛ في المناطق الدافئة يكون MCRT 3 يوم او اقل بينما في المناطق الباردة يكون 25 يوم أو أكثر ؛ تتم ازالة اكثر من 90% من النيتروجين في عملية النترة كما يكون تركيز النيتروجين في المنتج الثانوي اقل من 1 ملجم/ل لكن محطة ينبع يكون الجو دافئ معظم ايام العام .

1-5-2- (ب) نزع النترة Denitrification

هي عملية تتم في خطوة واحدة تختزل فيها النترات وتتحول الى غازات النيتروجين (النيتروجين واكسيد النيتروجين والنيتروز ..الخ) تتم هذه العملية بواسطة بكتريا غير ذاتية التغذية heterotrophic وهيايضا بكتريا اختيارية تستخدم الأوكسيجين الجزئي أو المرتبط كمكتسب اخير للإلكترونات وبالتالي لكي تتم عملية النترة لابد ان تحدث في غياب الأوكسيجين الجزئي حتى لا يكون هناك مصدر للأوكسيجين سوى الأوكسيجين المرتبط أو النترات فلا تجد البكتريا سواه كمكتسب للإلكترونات اثناء عملية ازالة النيتروجين ؛ تم تصميم منطقة لاهوائية anoxic zone في حوض التهوية لهذا الغرض وهذا في طريقة النترة / نزع النترة المتزامن أيضا تم تخصيص الحوض رقم (1) الموجود يتوسط الحوضين 2؛3 بحيث يخدم كمطقة لاهوائية anoxic zone في حالة العمل بطريقة النترة/نزع النترة المسبق حيث يتم اعادة الخليط المتخمر MLSS وعمل تدوير له من الحوض رق 3 الى الحوض رقم (1) باستخدام مضخات التدوير التي صممت لتدوير 240 من معدل التدفق الوارد للمحطة وتم تزويد الحوض

بأربعة مضخات سعة المضخة 2500 متر مكعب / ساعة ؛ ينتقل الخليط المتخمر المحتوي على النترات الى الحوض اللاهوائي ويسمى خط تدوير الخليط mixed liquor recycle

MLR

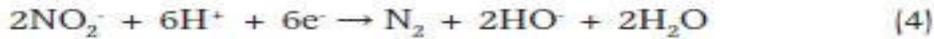
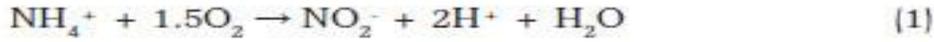
تتأثر العملية بدرجة الحرارة فتتناقص بإنخفاض درجة الحرارة وفي البيئات الباردة يجب ضبط

MCRT لتحقيق عملية ناجحة ؛ ينتج من العملية قلوية قدرها 3.6 ملج/ل CaCO_3 / 1

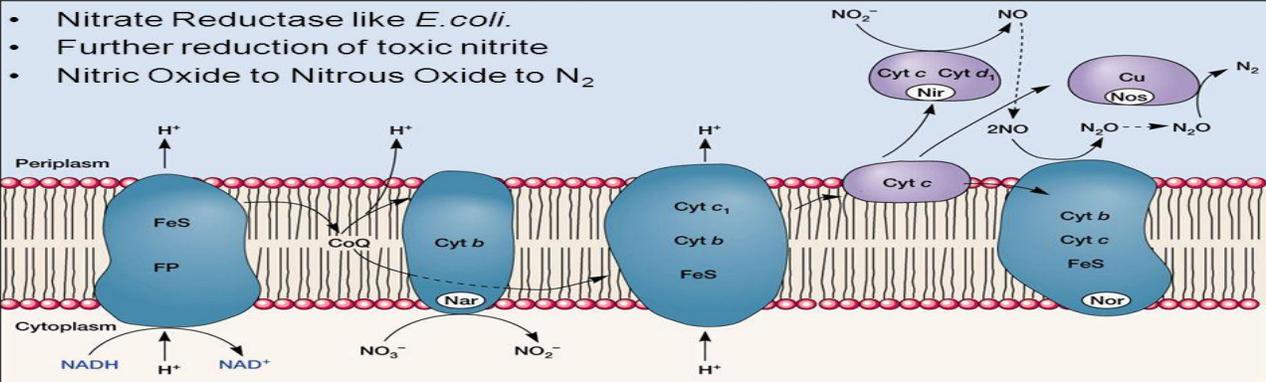
ملجم نيتروجين - نترات يتم اختزاله ؛ العملية تخفض الإحتياج الكلي للأوكسيجين ونظريا 2.86 كجم أوكسيجين كافيته لكل 1 كجم نيتروجين - نترات يتم اختزاله.

ومن أصناف البكتريا التي تقوم بعملية denitrification

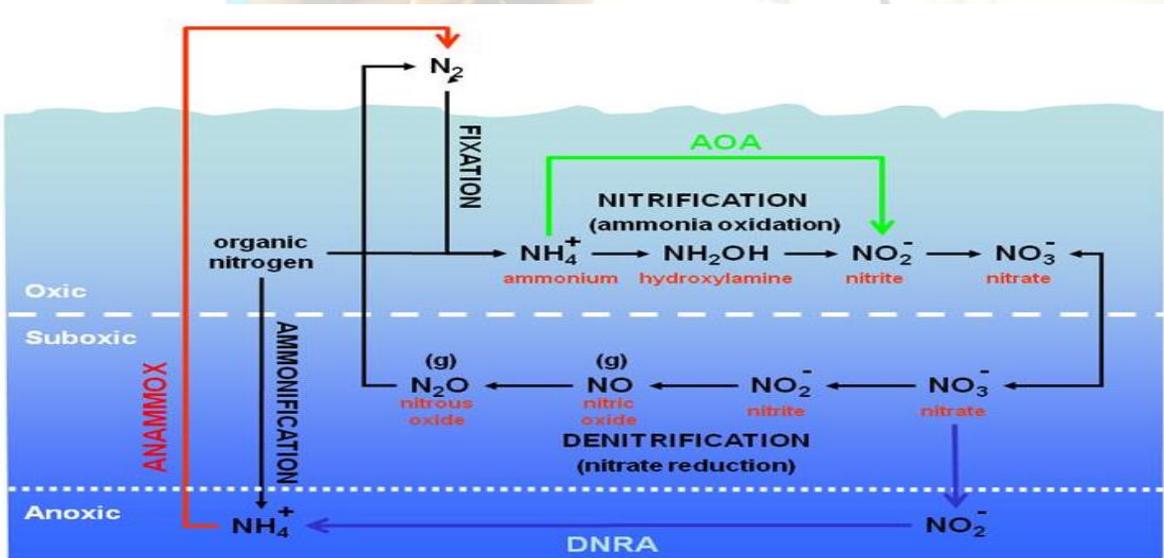
Achromobacter, Acinetobacter, Agrobacterium, Alcaligenes, Arthrobacter, Bacillus, Chromobacterium, Corynebacterium, Flavobacterium, Hypomicrobium, Moraxella, Neisseria, Paracoccus, Propionibacteria, Pseudomonas, Rhizobium, Rhodopseudomonas, Spirillum and Vibrio



E.g. *Paracoccus denitrificans*;
 facultative anaerobe
 Denitrification (nitrate to N-gases)



denitrification mechanism ميكانيكية نزع النترة



nitrification denitrification process (nitrogen removal) عملية النترة/نزع النترة (إزالة النيتروجين)

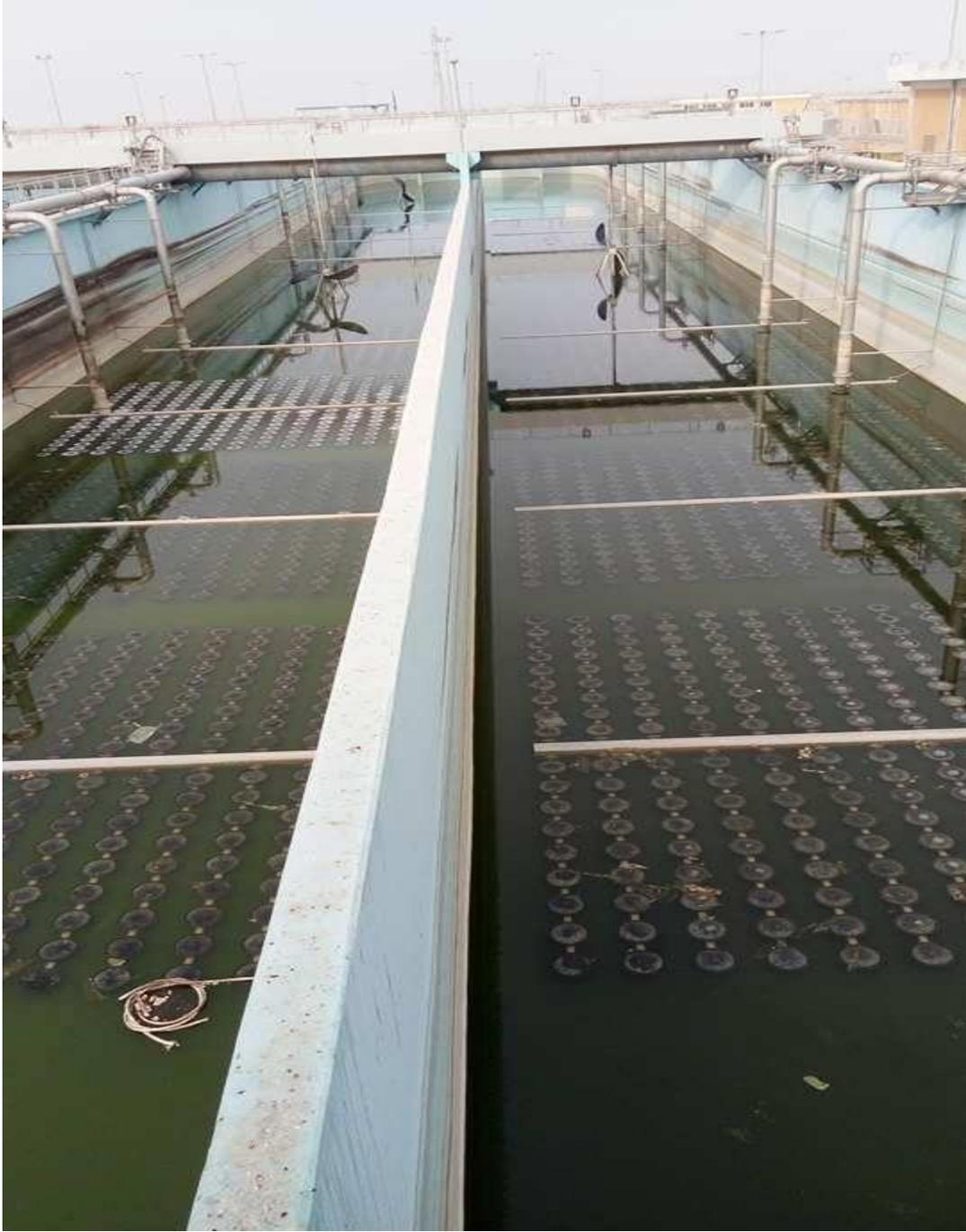
1-5-2 التشغيل بنظام النترة/نزع النترة المتزامن simultaneous nitrification/denitrification process

يتم تشغيل الأحواض الثلاثة في هذه الحالة بالتوازي بحيث يعمل كل حوض على حدة بصورة مستقلة ؛ الا أن حجم المزيج المتخمر (خليط الحمأة الراجعة والمياه الخام) المتدفق من الأحواض اللاهوائية anaerobic tanks يتم توزيعه بالتساوي على الأحواض الثلاثة .

ينقسم كل حوض الى قناتين بجدار على طول الحوض لضمان تدوير المزيج المتخمر

يوجد أسفل الأحواض ناشرات الهواء وقد تم تزويد الحوض رقم 2 بثمانية حقول منها لكل قناة وكذلك الحوض رقم 3 بثمانية حقول لكل قناة أي كل حوض 16 حقل بينما الحوض رقم 1 ثمانية حقول فقط في قناة واحدة من الحوض ولا يوجد بالقناة الثانية للحوض ناشرات هواء ؛ يتكون الحقل الواحد من عدد 270 ناشر هواء وبالتالي فإن القناة تحتوي على 2160 ناشر هواء ويحتوي كل من الحوضين 2؛3 على عدد 4320 ناشر هواء لكل حوض بينما الحوض رقم 1 على 2160 ناشر هواء ويتحكم في كل حقل محبس يدوي ويفصل كل اربعة حقول عن الأربعة الأخرى في كل قناة محبس رئيسي منظم لضغط الهواء .





شكل يوضح ناشرات الهواء أسفل حوض التهوية رقم (2)



تشغيل حوض التهوية رقم (3) بطريقة النترة / نزع النترة المتزامن simultaneous nitrification/denitrification

في حالة التشغيل بنظام النترة/نزع النترة المتزامن سوف يتم اغلاق ناشرات الهواء في أحد قنوات الحوض رقم 2 (أو جزء من الناشرات في القناة حسب مساحة المنطقة anoxic zone المطلوبة) بينما يتم تشغيل كل ناشرات الهواء في القناة الثانية من الحوض (يفضل أن تكون القناة التي تعمل بكامل هي القناة التي تستقبل المزيج المختمر القادم من الأحواض اللاهوائية (anaerobic zone)

يوجد بين كل حقلين لكل قناة بالحوض محبس تحكم يمكن أن يغلق على حقل كامل كما يوجد لكل حقل أربعة محابس يدوية بحيث يمكن التحكم في مساحة المنطقة اللاهوائية anoxic zone وكمية الأكسجين أيضا بينما يتم تغذية الحقل الثاني مباشرة بالأكسجين (عدد

المحابس اليدوية لكل قناة 8 محابس + محبس رئيسي كهربى أي أن الحوض به 16 محبس يدوي + 2 محبس رئيسي)

يتم تشغيل الحوض رقم 3 بنفس الطريقة المتبعة مع الحوض رقم 2 تماما ويوجد به نفس العدد من المحابس وحقول ناشرات الهواء

أما الحوض رقم 1 فلا يوجد به سوى قناة واحدة بها ناشرات هواء والتي يتم تشغيلها والقناة الثانية ليس بها ناشرات هواء تعمل كمنطقة لاهوائية anoxic zone ويحتوي على محبس رئيسي واحد وعدد 8 محابس يدوية في القناة التي تعمل كمنطقة هوائية في حال تشغيله بطريقة النترتة/نزع النترتة المتزامن

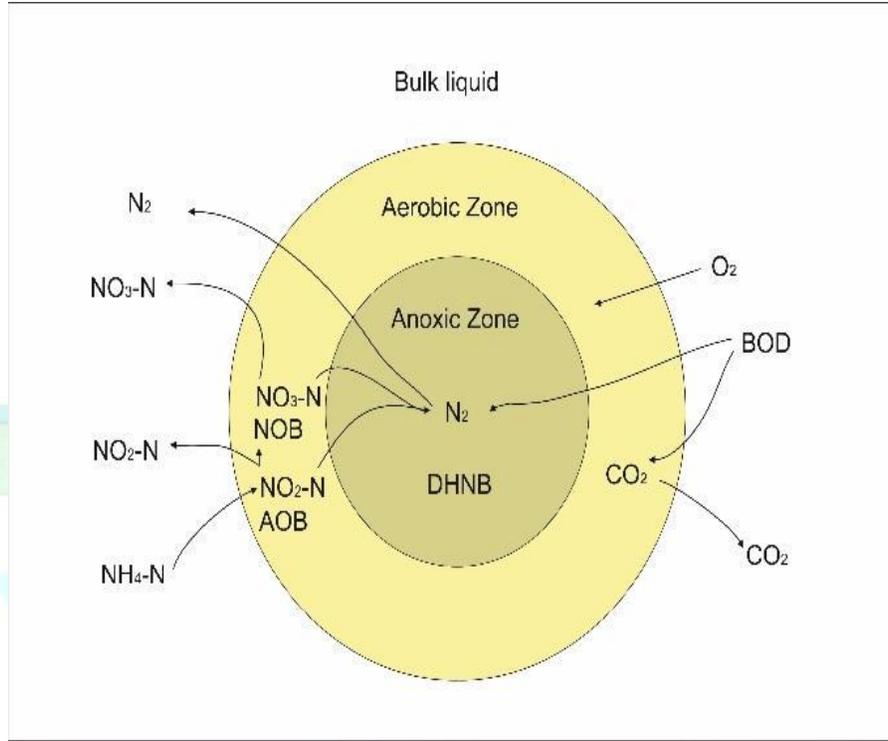
يوجد عند نهاية كل حوض بوابة يتم خروج الخليط المتخمر بعد اكتمال عملية المعالجة منها إلى خزان التوزيع على أحواض الترسيب

تتكاثر البكتريا في أحواض التهوية حيث يتوفر الغذاء والأكسجين اللازم للنمو والتكاثر وتبدأ في تكوين الندف من البكتريا وباقي الكائنات الحية مثل البروتوزوا والخلايا الميتة والمواد الصلبة العالقة العضوية والغير عضوية وتكون الندف صغيرة الحجم وتستطيع هذه الندف امتصاص 40% من BOD الذائب والغير ذائب ويتراوح حجم الندف من 5-500 ميكرومتر تتجمع الندف الصغيرة وتلتصق بالخيوط التي تتواجد بأعداد محدودة والتي تفرز مواد سكرية معقدة تكون كبسوله حول الخلية البكتيرية الخيطية أو طبقة جيلاتينية كما تفرز البروتوزوا أيضا مواد مخاطية لزجة تساعد على التصاق الخلايا البكتيرية وغيرها من المواد العضوية الغير ذائبة والخلايا الحية والميتة بالندف ؛ تلتصق البكتريا الصانعة للندف بهذه الطبقة مع الكائنات الحية الأخرى والمواد العضوية والخلايا الميتة والحية مكونة ندف بحجم مناسب للترسيب ويتوقف حجم الندف على عدد الخيوط فإذا كانت الخيوط معدومة ستظل البكتريا المكونة للندف

مشتتة مكونة ندف دبوسية صغيرة تنتشر في بيئة حوض التهوية ومن ثم في حوض الترسيب تظل معلقة وتخرج مع المياه المروقة مما يقلل من جودة المنتج الثانوي ويتسبب في انسداد المرشحات أما اذا كانت اعداد الخيطيات كثيرة جدا فإن ذلك سوف يؤدي الى تكوين ندف ذات تركيب مفتوح حيث تتراكم وتزداد كمية الندف الصغيرة على الخيطيات وتتشابك الخيطيات بمزيد من الخيطيات مما يؤدي الى تضخم الحماة حيث تحتجز الندف المياه بين الندف بسبب عدم اضاغط الندف بالشكل المطلوب ويزيد مساحة سطح الندف وتطفو على سطح حوض التهوية والمروق الثانوي وتخرج مع المياه المروقة ؛ اذا لا بد من التحكم في نسبة الخيطيات الموجودة ويتم ذلك من خلال حوض الإنتقاء اللاهوائي كما ذكرنا آنفا.

ومن هذا نستخلص أنه اذا سادت الخلايا البكتيرية المكونة للندف بحيث أصبحت أكثر بكثير من الخيطيات سيؤدي ذلك الى تكوين ندف ضعيفة غير صلبة سهلة التكسير ووضغيرة الحجم مشتتة صعبة الترسيب تسمى الندف الدبوسية PIN-POINT FLOC أما اذا حدث توازن بين البكتريا الخيطية والبكتريا المكونة للندف ستتكون ندف بحجم مناسب مضغوطة تترسب بسهولة وأخيرا اذا سادت البكتريا الخيطية فسوف يتكون ندف ذات تركيب مفتوح تتشابك فيه الخيطيات ويحدث تضخم للحماة وطفوها على سطح الأحواض .

يكون الأوكسيجين ذو تركيز عالي عند سطح الندفة ويقل تدريجيا كلما اتجهنا لداخل الندفة وينعدم في مركزها وبالتالي يتوفر بيئة هوائية عند سطح الندفة وبيئة لاهوائية في الطبقات التالية القريبة من سطح الندفة anoxic zone ثم بيئة لاهوائية anaerobic zone



شكل يبين ميكانيكية حدوث نزع النترية داخل الندف في عملية نزع النترية المتزامن

وهذا يفسر كيفية حدوث نزع النترية داخل الندف في عملية نزع النترية المتزامن

بالإضافة الى البكتريا يوجد ثلاث أنواع من البروتوزوا مهمة لعملية المعالجة ويعطي تواجدها أو عدمه مؤشر على جودة المعالجة من عدمه وهي الأميبات والسوطيات والهدبيات ؛ تتواجد الأميبا بكثرة عند مدخل حوض التهوية وعندما يكون عمر الحمأة صغير تكون هي السائدة بين أنواع البروتوزوا ووجودها بكثرة يدل على أن الترسيب سيكون ضعيف والندف ستكون ضعيفة وبزيادة عمر الحمأة تقل أعداد البروتوزوا حتى تصل الى 16/1 من العدد الكلي للبروتوزوا وتبدأ السوطيات في التكاثر بينما يكون الحمل العضوي مازال كبيرا والترسيب لم يتحسن كثيرا وبزيادة عمر الحمأة يتحسن الترسيب قليلا ويقل أعداد السوطيات الى 8/1 مجموع البروتوزوا المتواجدة ؛ وبزيادة عمر الحمأة تبدأ الهدبيات في التزايد حيث تتكاثر الهدبيات من نوع الحرة العائمة والتي تمثل 3/4 من مجموع البروتوزوا وتتغذي الهدبيات الحرة العائمة على البكتريا

وبالتالي توأجدها مؤشر على الوصول الى أعلى جودة للمعالجة حيث يكون الترسيب جيد جدا والمياه رائقة وايضا من انواع الهدبيات ذات السيقان (المسوقة) وهي تتواجد في حالات الترسيب الممتاز والمعالجة المثالية حيث تتشابك مع بعضها لتكون ندف جيدة الترسيب وسوف نتناول شرح دور البروتوزوا بشئ من التفصيل لاحقا عندما نتحدث عن الفحص المجهرى للحمأة النشطة .

يجب أن يكون المشغل حريص على إجراء الفحص المجهرى للحمأة بحوض التهوية وحوض الترسيب لمعرفة ماهو موجود من الكائنات الحية والربط بين إختبار ال 30 دقيقة للترسيب والفحص المجهرى سيعطي بيانات ممتازة عن طبيعة عملية المعالجة وكما سيكون بمثابة إنذار مبكر للمشاكل التي يمكن أن تحدث (مثلا تزايد نمو الخيطيات سيؤدي لمشاكل تضخم الحمأة ومن ثم البحث عن أسباب تزايد الخيطيات وتصحيح الخطأ وسنتناول ذلك بالتفصيل لاحقا عند الحديث عن مشاكل التشغيل وحلولها) فمثلا الترسيب المثالي يحدث حينما يكون حجم الحمأة بالمخبار 500 ملل في غضون 5-10 دقائق من بداية الإختبار مع وجود محلول رائق فوق الحمأة المترسبة كما يكون شكل الندف متماسك

1-5-3 التشغيل بنظام النترة/نزع النترة المسبق

Preceding nitrification/denitrification process

في هذا النظام تعمل الأحواض الثلاثة على التوالي وكأنها حوض واحد مقسم الى 6 قنوات متتالية .

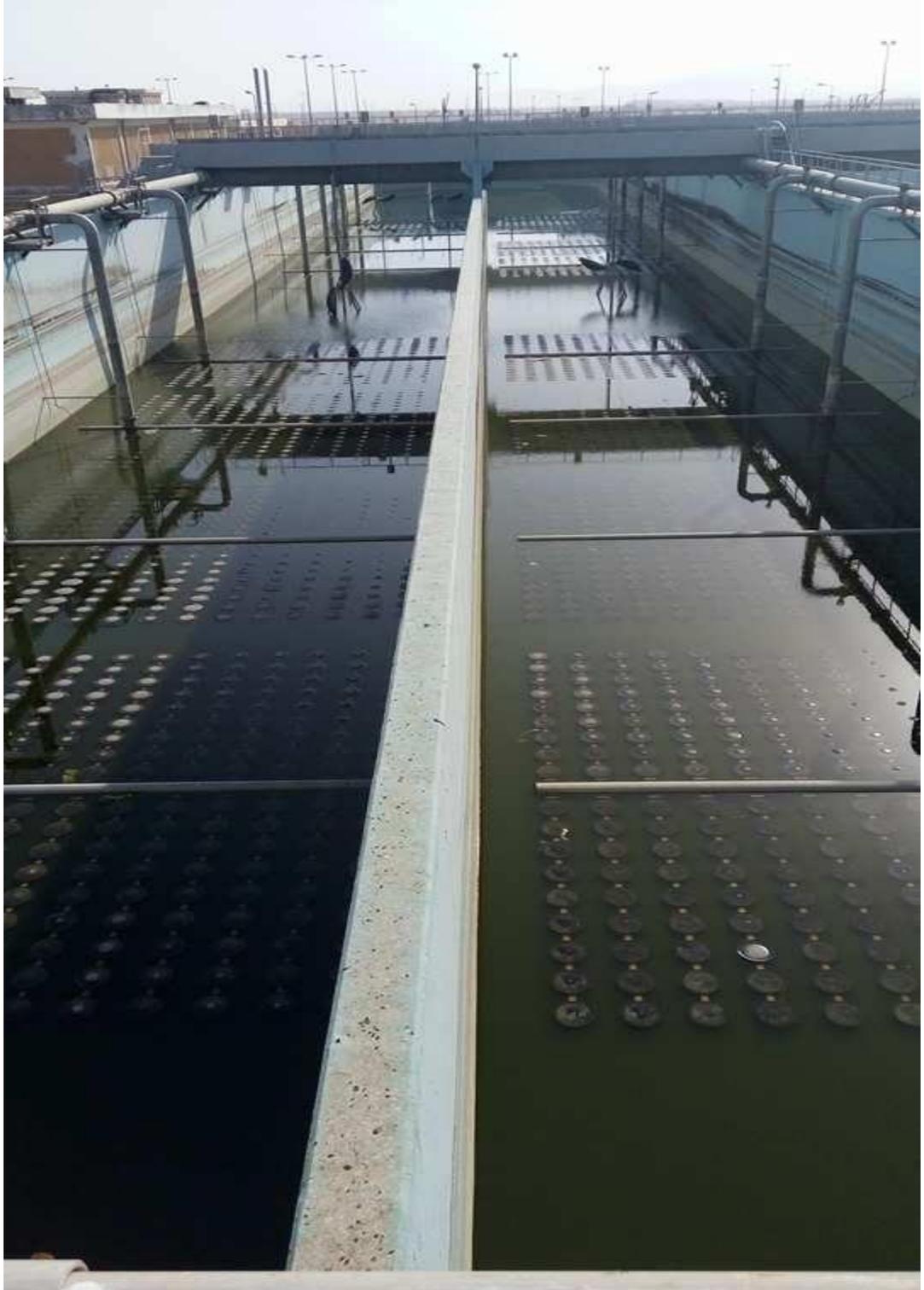
يعمل الحوض رقم 1 الذي يتوسط الحوضين 2 ؛ 3 كحوض توزيع حيث يستقبل المزيج المتخمر القادم من الأحواض اللاهوائية anaerobic tanks ؛ ويتم إيقاف تغذية الهواء للحوض حيث يتم غلق المحابس الفرعية اليدوية الثمانية الموجودة في أحد قناتي الحوض (أو تشغيل جزء منها إذا لزم الأمر لتقليل مساحة المنطقة اللاهوائية anoxic zone) .

يعمل كل من الحوضين 2 ؛ 3 كمنطقة هوائية aerobic zone حيث يتم فتح المحابس الفرعية اليدوية وعددها 16 لكل حوض والمحابس الرئيسية وعددها 2 لكل حوض لتشغيل كل حقول التهوية لناشرات الهواء وعددها 4 حقول لكل حوض .

يخرج المزيج من الحوض رقم 1 (المنطقة اللاهوائية anoxic zone) الى الحوض رقم 2 الموجود يمينه عن طريق بوابة الخروج (المنطقة الهوائية aerobic zone) ثم ينتقل إلى الحوض رقم 3 (امتداد المنطقة الهوائية) .



حوض التهوية رقم (1) والذي يعمل كحوض توزيع في النتربة/نزع النتربة المسبق / preceding nitrification
denitrification ويعمل كله بيئة لاهوائية anoxic zone



حوض رقم (2) الذي يستقبل المزيج المتخمر من الحوض رقم (1) ويعمل كله بيئة هوائية aerobic zone



حوض رقم (3) ويعمل كبيئة هوائية بالكامل aerobic zone ويستقبل المزيج المتخمر من الحوض (2) ثم يغادر المزيج بعده الى أحواض الترسيب



هدار خروج المزيج المتخمر من حوض رقم (3) الى أحواض الترسيب بعد إتمام دورة النترتة /نزع النترتة المسبق

بعد أن تتم عملية أكسدة المواد العضوية والأمونيا في الحوضين 2؛3 تتحول الأمونيا الى نترات ذائبة ولكي يتم تحويل النترات الى غاز نيتروجين للتخلص من النيتروجين وإزالته من المياه المعالجة يلزم لهذه العملية منطقة لا يتواجد بها أكسجين جزئي حتى يتم إجبار بكتريا نزع النترية على استهلاك النترات المحتوية على الأكسجين بدلا من الأكسجين الجزئي أي أنه يلزم لعملية نزع النترية بيئة لاهوائية *anoxic zone* هذا البيئة تم تجهزها مسبقا في الحوض رقم 1 ومن ثم يلزم تدوير الخليط المتخمر الموجود في الحوضين 2؛3 إلى الحوض رقم 1 حتى تتم هذه العملية .

يتم تدوير الخليط المتخمر عن طريق مضخات التدوير المثبتة في الحوض رقم 3 إلى الحوض رقم 1 وعددها أربعة مضخات ثلاثة أساسية ومضخة إحتياطي وسعة المضخة 3475 متر مكعب للساعة لتتحقق نسبة تدوير للخليط يصل الى 240 % من معدل أعلى معدل تدفق (100000 متر مكعب لليوم) ويعاد تدوير الخليط في الأحواض من الحوض رقم 1 إلى الحوض رقم 2 ثم الحوض رقم 3 وبعدها يكون الخليط استوفى زمن المكث الكافي لعملية المعالجة وتمت إزالة النيتروجين بطريقة نزع النترية المسبق ثم يخرج المزيج من بوابة الحوض رقم 3 إلى أحواض الترسيب النهائي وبهذه الطريقة يمكن تحقيق إزارة للنيتروجين أو نزع نترية يصل الى 77% .

إذا لا يتم تشغيل مضخات التدوير في عملية نزع النترية المتزامن بل يتم إيقافها وهي تعمل فقط في نظام نزع النترية المسبق .

تم تركيب أجهزة قياس لمتابعة عملية التشغيل ؛ فقد تم تركيب جهاز لقياس تركيز المزيج المتخمر MLSS كعكارة وجهاز لقياس جهد الأكسدة *Oxidation – reduction potential* و *ORP* والأختزال للتفاعلات الكيموحيوية التي تقوم بها البكتريا أثناء عملية المعالجة للتأكد من

أن العملية البيولوجية تتم على الوجه الصحيح لأن التفاعلات التي تتم المنطقة الهوائية مثل تكسير المركبات العضوية BOD وأكسدة الأمونيا والتفاعلات التي تتم في المنطقة اللاهوائية Anoxic zone مثل إزالة النيتروجين يختلف جهد الأكسدة والإختزال لكل تفاعل عن الآخر وبالتالي يعطي مؤشر لمسار العملية البيولوجية والتفاعلات الحيوية بالأحواض ؛ يكون جهد الأكسدة والإختزال لإزالة الكربون العضوي $cBOD = +5 - +200 \text{ mV}$ بينما يكون لعملية النترنة $denitrification = -50 - +50 \text{ mV}$ nitrification = $+150 - +350 \text{ mV}$ ويكون لعملية نزع النترنة $denitrification = -50 +50 \text{ mV}$ ويكون لإنتاج الفوسفات في الحوض اللاهوائي BIOLOGICAL p-release $-100 \text{ to } -250 \text{ mV}$ ويكون لإزالة الفوسفات في الحوض الهوائي BIOLOGICAL p-removal $+25 \text{ to } +250 \text{ mV}$



أجهزة قياس تركيز المزيغ المتخمّر والأكسيجين الذائب وجهد الاكسدة/الاختزال من اليمين الى اليسار على التوالي

تم تركيب جهاز لقياس الأكسيجين الذائب في نهاية كل حوض وتم ربط الجهاز بالأسكادا كما تم وضع محبس تحكم في ضغط الهواء لكل حوض للتحكم في ضغط الهواء الذي يضح الى الأحواض بحيث يتحكم جهاز قياس الأكسيجين الذائب في فتح وقل أو تقليل كمية الهواء التي تندفع من هذه المحابس طبقاً لتركيز الأكسيجين الذائب الذي تم ضبط جهاز قياس الأكسيجين الذائب عليه وهو 3 - 2 ملجم/ل وبالتالي فإن نافع الهواء المستخدم في العملية سوف يعمل

بحيث يظل ضغط الهواء بخط الهواء الخاص به عند ضغط ثابت يحقق هذه النسبة من تركيز الأكسجين الذائب .

تم تزويد المحطة بعدد 6 نوافخ هواء سعة الواحد 11 الف متر مكعب من الهواء تكفي لتوفير الأكسجين اللازم للعملية البيولوجية عند أقصى تدفق للمياه الخام وأعلى تركيز للمزيج المتخمر بالأحواض ؛ يوجد عدد 2 نافخ رئيسي هواء متغيير السرعة يتم تشغيل أحدهما والآخر يكون احتياطي له وعدد 4 نوافخ مساعدة ثابتة السرعة ؛ عندما يصل النافخ متغير السرعة لأقصى سعة له يوجد احتمالان ؛ الأول تكون كمية الهواء كافية لتوفير تركيز الأكسجين المطلوب بالأحواض والثانية تكون غير كافية .





نوافخ الهواء لتغذية أحواض التهوية بالأكسجين اللازم لعملية المعالجة البيولوجية

في حال انخفاض تركيز الأكسجين عن المعدل المطلوب بسبب عدم كفاية كمية الهواء التي يضخها نافخ الهواء قيد التشغيل تمر الإشارة من جهاز قياس الأكسجين الذائب عن طريق الاسكادا الى محبس الهواء الرئيسي على الحوض لكي يزيد نسبة فتح المحبس فإذا استمر انفاض تركيز الأكسجين فإن عداد قياس الضغط على خط الهواء الرئيسي الذي يكون قياس الضغط به منخفض يعطي أمر لأحد نوافخ الهواء ثابت السرعة للبدء في العمل وقبلها سوف يتم تقليل سرعة النافخ (متغير السرعة) الى النصف ثم يتم تشغيل أحد النوافخ المساعدة ثابتة السرعة ويتم التوازن بين كمية الهواء المعطاة من النافخ الثابت مع كمية الهواء التي يوفرها النافخ متغير السرعة حيث تزيد سرعته تدريجياً لتحقيق الضغط المناسب للهواء الذي يوفر تركيز الأكسجين المناسب ؛ إذا وصل النافخ المتغير السرعة الى أقصى سرعه له وحقق سعته 11 الف متر مكعب للساعة مع النافخ الثابت الذي يحقق هو الآخر نفس الكمية من الهواء ولم يزيد تركيز الأكسجين الى التركيز المطلوب فإنه يتم استدعاء نافخ ثابت ثاني لمساعدة النافخ

الثابت الحالي والنافخ متغير السرعة حيث تتكرر عملية هبوط سرعة النافخ المتغير الى النصف حتى يتثنى ادخال النافخ الثابت رقم 2 الى الخدمة ويثبت المتغير عند النصف بينما يتم ادخال الثابت ثم يحدث التوازن بزيادة سرعة المتغير تدريجيا للحصول على الضغط المناسب الذي يحقق كمية هواء تفي بتزويد الأحواض بتركيز الأكسجين المناسب وهكذا تتكرر العملية كل مرة حتى يتم تحقيق تركيز الاكسجين المناسب حتى اذا لزم الأمر تشغيل كل النواخ الأربعة الثابتة مع النافخ متغير السرعة .

اذا زاد تركيز الأكسجين عن الحد المرغوب فيه يعطي حساس قياس الأكسجين إشارة الى مجلس التحكم الرئيسي على الحوض فيتم غلق المحبس تدريجيا لتقليل كمية الهواء حتى يصل لتركيز الاكسجين المرغوب فيه ومن ثم يزيد ضغط الهواء في الخط الرئيسي فيعطي حساس قياس الضغط الوجود على خط الهواء الرئيسي إشارة لتقليل سرعة نافخ الهواء متغير السرعة حتى يصل لحالة التوازن لتحقيق ضغط مناسب للهواء كافي بتزويد الحوض بكمية هواء تعطي تركيز الاكسجين المرغوب فيه ؛ اذا وصل سرعة النافخ المتغير السرعة الى النصف وظل تركيز الاكسجين مرتفع يتم إيقاف أحد نواخ الهواء ثابتة السرعة وإخراجها من الخدمة مؤقتا ثم يقوم النافخ المتغير بالموازنة للوصول الى ضغط الهواء المناسب ؛ واذا ظل تركيز الأكسجين مرتفع تتكرر العملية حتى يصل ضغط الهواء المطلوب

وفي نظام التحكم يمكن اختيار طريقة التشغيل لعملية نزع النترتة سواء كانت متزامنة أو مسبقة الا انه يجب الأخذ بالإعتبار ان قراءة الأكسجين الذائب لأجهزة قياس الأكسجين الذائب الثلاثة يجب أخذها جميعا بعين الإعتبار في حالة نزع النترتة المتزامنة وذلك لأن الأحواض تعمل بشكل متوازي ويعتبر كل حوض قائم بذاته أما في طريقة نزع النترتة المسبق فيكتفى بأخذ

قراءة الأجهزة على الحوضين 2؛ 3 فقط لأنهم يعملان كمنطقة هوائية بينما حوض رقم 1 كمنطقة لاهوائية anoxic zone .

ولضمان التوزيع المتجانس والخلط المستمر والتلامس الجيد بين المياه والبكتيريا تم تزويد الأحواض بخلاطات أفقية لضمان عملية التقليب والتدوير داخل أحواض التهوية بحيث يضمن تدوير مخزون الحوض كل 20 دقيقة .

1-3-5-1 (أ) عمر الحمأة Sludge age

يتأثر عمر الحمأة كثيرا بدرجة الحرارة حيث يزيد النشاط البكتيري كلما ارتفعت درجة الحرارة ؛ في الأجواء التي يكون فيها درجات الحرارة أقل من 12 درجة مئوية يجب أن يكون عمر الحمأة طويل ؛ وفي نظام المعالجة البيولوجية بالتهوية المطولة اذا كانت درجة الحرارة أقل من 12 درجة مئوية يجب أن يكون عمر الحمأة أكبر من 25 يوم .

يبلغ متوسط درجة الحرارة للمياه في معظم الوقت في مدينة ينبع 27 درجة مئوية وأقصى درجة حرارة للمياه 32 درجة مئوية وبالتالي تم إختيار عمر الحمأة المناسب للنشاط البكتيري والذي يمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$SRT \text{ (sludge age)} = 1.072^{(12-T)} 25$$

عمر الحمأة أو زمن مكث الحمأة التصميمي طبقا لدرجة الحرارة $SRT = 8.8 = 9 \text{ Days}$

يتم حساب عمر الحمأة يوميا بعد التشغيل بأحد الطرق التالية :

يمكن حسابها في حالة تشغيل الاحواض بطريقة النترة / نزع النترة المسبقة كالتالي

أولاً طبقاً للحفاظ على توازن الكتلة بمعنى أن عمر الحمأة يساوي كمية المواد الصلبة بحوض التهوية أو مخزون المواد الصلبة solid inventory الى كمية المواد الصلبة أو الحمأة التي يتم التخلص منها يوميا وبالتالي فإن عمر الحمأة هو :

$$\text{Sludge age} = \frac{16078 \times 3.524}{875 \times 7.047} = 9.19 \text{ days}$$

يمكن أيضاً حساب عمر الحمأة من العلاقة التالية أيضاً التي تمثل اتزان الكتلة ويكون عمر الحمأة النسبة بين مخزون المواد الصلبة الموجودة بحوض التهوية وكمية المواد الصلبة التي تضاف للحوض يوميا حيث أن المواد الصلبة العالقة التي تضاف يوميا هي 350 ملجم/ل وبالتالي

$$\text{Sludge age} = \frac{16078 \times 3.524}{20000 \times 0.350} = 8.1 \text{ days}$$

كما يمكن حسابها في حالة تشغيل الاحواض بطريقة النترية/نزع النترية المسبقة كالتالي

$$\text{Sludge age} = \frac{47815 \times 3.524}{2556 \times 7.047} = 9.35 \text{ days}$$

إنتاجية الحمأة في اليوم العضوي والتي تنتج من متوسط معدل تدفق 60000 متر مكعب من المياه الخام هي

$$S.p = \frac{BOD \frac{\text{loadkg}}{d} \times 0.75 + 0.6 \left(\frac{TSSkg}{m^3} - (1-0.2) \times (0.17 \times 0.75 \times 8.8 \text{ FT}) \right)}{1 + (0.17 \times 8.8 \times \text{FT})}$$

$$\text{Sludge production} = \frac{62000 \times 0.292 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times 0.75 + 0.6 \left(\frac{0.350k}{\text{d}} - \frac{0.292k}{\text{d}} \right) (1-0.2) \times (0.17 \times 0.75 \times 8.8 \times 3.27)}{1 + (0.17 \times 8.8 \times 3.27)}$$

$$\text{Sludge production} = 17199 \text{ kg/d}$$

ينتج من الفوسفات ايضا كمية من الحمأة تقدر بما يعادل 0.01-0.015 من الحمل العضوي الوارد للمحطة وحيث أن المحطة مصممة على ازالة 3-4.5 mg/l فوسفور بمعدل 3 جم مواد صلبة لكل جرام من الفوسفور يتم ازالته وبالتالي فإن كمية الحمأة الناتجة من الفوسفات هي

$$\text{Phosphrous sludge production} = \frac{4.5 \times 3}{1000} \times 62500 = 843.8 \text{ kg/d}$$

الانتاجية الكلية ستكون

$$\text{Total sludge production} = 17199 \text{ kg/d} + 843.8 \text{ kg/d} = 18043 \text{ kg/d}$$

وعندما يصل عمر الحمأة 8.8 يوم سيكون كمية الحمأة بأحواض التهوية هي

$$\text{Sluge quantity after 8.8 d} = 18043 \times 8.8 = 151523 \text{ kg}$$

وبالتالي يجب تخريج كمية من الحمأة التي تتعادل الإنتاج اليومي من الحمأة وتحافظ على عمر الحمأة 8.8 يوم عند هذه الكمية من الحمأة بالأحواض كما سنفصل لاحقا هذه الكمية تحدد حجم حوض أو أحواض التهوية التي سيتم تكوينها واستيعابها بها وذلك بعد إختيار تركيز المزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة MLSS ؛ وحيث أنه تم إختيار تركيز MLSS= 3524 mg/l كما سنوضح لاحقا فإن حجم أحواض التهوية اللازمة لهذا الغرض هي:

$$\text{Aeration tank volume} = \frac{151523 \text{ kg}}{3.524 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 42997.446 = 43446 \text{ m}^3$$

تم التصميم الفعلي للاحواض مساحة اجمالية قدرها 47815 متر مكعب وهي ثلاثة أحواض وفيها حجم حوض التهوية رقم (1) 16078 متر مكعب والحوض رقم (2) 15981 متر مكعب والحوض رقم (3) 15756 متر مكعب

1-5-4 أحواض الترسيب النهائي

Final sedimentation tanks

تم تصميم ثلاثة أحواض ترسيب بحمل هيدروليكي يكفي لاستيعاب حجم التدفق الوارد من أحواض التهوية قطر الحوض 40 متر ومساحة سطحه 1257 متر مربع وحجمه 6543 متر مكعب بالتالي فإن مساحة الترسيب الإجمالية 3770 متر مربع وحجم الأحواض الكلي 19629 متر مكعب وزمن الترسيب بالحوض 2 ساعة وهو زمن مناسب لمنع بكتريا تجميع الفوسفور من إعادة إخراج الفوسفور مما يسبب مشاكل تكوين الزبد على سطح الحوض ؛ كما أنها فترة زمنية قصيرة أيضا لا تمكن بكتريا نزع النترة من النشاط والتكاثر حيث أن البيئة تكون لاهوائية anaerobic zone مناسبة لهذا النشاط مما يسبب حدوث نزع نترة denitrification وتكون النتيجة احتباس غاز النيتروجين الذي لا يذوب في الماء بين ندف الحمأة مما يقلل من كثافة الندف وتتصاعد الحمأة إلى سطح حوض الترسيب .

يوجد كوبري أعلى الحوض يحرك كاشط علوي لجمع الزبد الطافي فوق سطح الحوض ويفرغه في قناة تجميع الزبد ومنه إلى خزان تجميع الزبد حيث تقوم مضخات الزبد scum pump بدفعه إلى حوض تخزين الحمأة والمغلظ thickener وأيضا زحافة أسفل الحوض لتجميع الحمأة المترسبة ودفعها إلى مركز الحوض حيث يتم دفعها بالجاذبية إلى محطة مضخات الحمأة الراجعة والزائدة ؛ تبلغ سرعة الكوبري في الدوران 3 سم/ ثانية حتى لا تحدث تهيج للحمأة المترسبة وتكمل دورة كاملة لتجميع الحمأة حول الحوض في زمن 1.16 ساعة وتجمع 576 m³/hr/FST وللأحواض الثلاثة 1728 m³/ hr



حوض ترسيب ثانوي

1-5-4 (أ) تركيز الخليط المتخمر للمواد الصلبة المعلقة بأحواض التهوية وبالحمأة الراجعة

Concentration of MLSS in aeration tank and return sludge

لضمان الوصول إلى أعلى كفاءة للعملية البيولوجية يجب الحفاظ على تركيز من المواد الصلبة في حوض التهوية MLSS والذي يحتوي على 60-75% خلايا بكتيرية حية تسمى المزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة الطيارة MLVSS يسمح بنمو البكتيريا المرغوب فيها والتي تقوم بعملية المعالجة البيولوجية وأيضا لتكوين ندف بحجم مناسب لعملية الترسيب كما يضمن توازن مناسب بين تركيز الغذاء الوارد مع المياه الخام والكائنات الحية الموجودة بالمزيج المتخمر بأحواض التهوية كما يجب بالتالي الحفاظ على تركيز مناسب من الحمأة النشطة الراجعة والذي يحقق نمو مناسب للندف ومن ثم يحقق ترسيب جيد كما يحافظ أيضا على نسبة معقولة من

البرتوزوا المسئولة عن ترويق المياه في حوض الترسيب النهائي ومن ثم الحصول على مياه رائقة خالية من الندف المشتتة أو البكتريا المبعثرة كما سنفصل هذا الأمر لاحقا .



محطة مضخات الحمأة الراجعة والزائدة RAS & WAS station

تم تصميم أحواض التهوية لمعالجة متوسط معدل تدفق يومي 60000 متر مكعب في اليوم وأعلى معدل تدفق 100000 متر مكعب لليوم ويتم تشغيل الأحواض الثلاثة بأحدى الطريقتين اما نترته / نزع نترته متزامن أو نترته / نزع نترته مسبق

في حالة النترتة المتزامنة كمثال يكون معدل التدفق للحوض الواحد من أحواض التهوية الثلاثة هو 20000 متر مكعب وبالتالي يمكن اجراء الحسابات لتركيز MLSS بأحواض التهوية والحمأة الراجعة وأيضا معدل رجوع الحمأة الزائدة (حيث ان تركيز $MLSS = 3000 - 6000 \text{ mg/l}$ في أنظمة التهوية المطولة عموما)

و حيث أنه تم تصميم أحواض التهوية ليكون عمر الحمأة 8.8 يوم طبقا لمتوسط درجة الحرارة 27 درجة مئوية وتم اختيار مؤشر حجم الحمأة (75 - 125 ملل/جم) (لاحظ أنه في أنظمة التهوية المطولة يتراوح مؤشر حجم الحمأة من (50 - 150 ملل/جم)

وبالتالي يمكن حساب تركيز الخليط المتخمر بأحواض التهوية MLSS بعد حساب تركيز الحمأة الراجعة إما من ائزان الكتلة أو من العلاقة التالية:

$$RAS \text{ MLSS} = 2 \frac{1}{3} \times 1000 / SVI$$

حيث زمن المكث بحوض الترسيب 2 ساعة ومؤشر حجم الحمأة التصميمي 125

$$RAS \text{ MLSS} = 2 \frac{1}{3} \times 1000 / 125 = 10070 \text{ mg/l}$$

وحيث ان التدوير اسفل الحوض بسبب اختلاف التركيز بين اعلى غطاء الحمأة وأسفلها حيث يكون التركيز أعلى غطاء الحمأة يقارب تركيز أحواض التهوية ويزداد كلما اتجهنا أسفل الحوض وهذا ما يسمى short circuiting factor وهو يتراوح من % 70 - 80 فإن تركيز

$$10070 \times 0.70 = 7049 \text{ mg/l}$$

نحسب تركيز MLSS بحوض التهوية وذلك بناء على معدل رجوع الحمأة والذي يتراوح في أنظمة التهوية المطولة من %50 - % 150 حسب حجم المحطة وكمية المياه المعالجة

بفرض اننا استخدمنا معدل 75% ومؤشر حمأة 125 يكون تركيز MLSS كالتالي :

$$MLSS = \frac{RV \times RAS \text{ MLSS}}{1+RV} = \frac{0.75 \times 7049}{1+0.75} = 3021 \text{ mg/L}$$

وعند معدل رجوع 100%

$$MLSS = \frac{RV \times RAS \text{ MLSS}}{1+RV} = \frac{1 \times 7049}{1+1} = 3524 \text{ mg/L}$$

1-5-4 (ب) حساب معدل تدفق الحمأة الزائدة Excess sludge rate calculations

بعد حساب تركيز المواد الصلبة العالقة للمزيج المتخمر في كل من أحواض التهوية والحمأة الراجعة وبمعرفة عمر الحمأة وحجم حوض التهوية يمكن حساب كمية الحمأة الزائدة التي يجب إخراجها للحفاظ على إتران الكتلة أو الحفاظ على نسبة ثابتة من المواد الصلبة العالقة ومن ثم الحفاظ على نسبة غذاء الى كائنات حية ثابتة ومناسبة كما أن ذلك من شأنه منع تراكم الحمأة في النظام مما يؤدي الى زيادة الكائنات الحية مع قلة الغذاء المتوفر لها فتموت الكائنات الحية مما يؤدي لطفو الحمأة الميتة على سطح الأحواض
يتم حساب كمية الحمأة الزائدة من العلاقة التالية :

$$Q \text{ WAS} = \frac{V \text{ aeration} \frac{m^3}{d} \times MLSS \text{ mg/l}}{Sudge \text{ age } d \times RAS \text{ MLSS mg/l}}$$

لاحظ أن تركيز الحمأة الراجعة هو نفسه تركيز الحمأة الزائدة RAS MLSS = WAS

MLSS

$$Q \text{ WAS} = \frac{15756 \frac{m^3}{d} \times 3524 \text{ mg/l}}{9 d \times 7049 \text{ mg/l}}$$

$$Q \text{ WAS} = 875 \text{ m}^3/d$$

وعدت مؤشر حمأة 75 يكون تركيز الحمأة الراجعة

$$\text{RAS MLSS} = 2^{\frac{1}{3}} \times 1000/75 = 16799 \text{ mg/l}$$

$$1699 \times 0.70 = 11759 \text{ mg/l}$$

نحسب تركيز MLSS بحوض التهوية عند مؤشر حمأة 75 ومعدل رجوع 75%

$$\text{MLSS} = \frac{RV \times \text{RAS MLSS}}{1+RV} = \frac{0.75 \times 11759}{1+0.75} = 5040 \text{ mg/L}$$

وعدت معدل رجوع 100%

$$\text{MLSS} = \frac{RV \times \text{RAS MLSS}}{1+RV} = \frac{1 \times 11759}{1+1} = 5880 \text{ mg/L}$$

معدل تدفق الحمأة الزائدة

$$Q \text{ WAS} = \frac{15756 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 5880 \text{ mg/l}}{9 \text{ d} \times 11759 \text{ mg/l}}$$

$$Q \text{ WAS} = 875 \text{ m}^3/\text{d}$$

متوسط التخريخ 875 متر مكعب لليوم

$$895 \times 3 = 2626 \text{ m}^3 / \text{d}$$

في حال التشغيل بالطريقة المسبقة نترتة / نوع نترتة

يوجد ثلاث أحواض تهوية سعتها على الترتيب الحوض رقم (1) وهو يتوسط الحوضين الآخرين وسعته 16078 متر مكعب والحوض رقم (2) وهو يمين الأول وسعته 15981 متر مكعب والحوض (3) سعته 15756 متر مكعب مجموع السعة الكلية 47815 متر مكعب

معدل تدفق الحمأة الزائدة

$$Q_{WAS} = \frac{47815 \frac{m^3}{d} \times 5880 \text{ mg/l}}{9 d \times 11759 \text{ mg/l}} = 2656 \text{ m}^3/d$$

لاحظ أنه يوجد فرق بسيط في سعة الأحواض وبالتالي لو تم حساب كل حوض بدقة ستكون النتيجة لمجموع الأحواض أيضا 2656 متر مكعب تماما .

حيث أن سعة مضخات الحمأة الزائدة هي 75 متر مكعب للساعة لكل مضخة وهي ثلاث مضخات

$$\text{Hours interval} = \frac{2626 \text{ m}^3/d}{3 \times 75 \frac{m^3}{h}}$$

عدد الساعات 12 ساعة لكل مضخة على مدار اليوم

يمكن حساب تركيز الحمأة الراجعة من إتران الكتلة إذا كان تركيز MLSS بأحواض التهوية تم تصميمه مثلا على 3524 ملجم/ل وعند معدل رجوع 100% ومؤشر حمأة 125 يكون كمية المواد الصلبة التي تخرج من حوض التهوية = كمية الحمأة التي تدخل الحوض قادمة من حوض الترسيب

$$(Q_{inff} + Q_{RAS}) \text{ MLSS} = (Q_{RAS} \times \text{RAS MLSS}) + (Q_{effl} \times \text{TSS})$$

وبإهمال قيمة المواد الصلبة الخارجة مع المياه المروقة لصغرهما يكون

$$\text{RAS MLS} = \frac{(Q_{inff} + Q_{RAS}) \text{ MLSS}}{Q_{RAS}} = \frac{(60000 + 60000) 3524}{60000} = 7048 \text{ mg/l}$$

1-5-4 (ج) حساب نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M

ثم نحسب نسبة الغذاء للكائنات الحية بحوض التهوية وذلك بعد حساب نسبة المواد الصلبة

الطيارة MLVSS

عند نسبة مؤشر حمأة 75

$$\text{تركيز المواد الطيارة MLVSS} = 70\%(5040 - 5880) = 3528 - 4116 \text{ mg/l}$$

عند نسبة مؤشر حمأة 125

$$\text{تركيز المواد الطيارة MLVSS} = 70\%(3021 - 3524) = 2114 - 2467 \text{ mg/l}$$

نسبة الغذاء للكائنات الحية

$$F/M = \frac{(BOD5 \times Q_{in} \times fl)}{MLVSS \times V_{aeration}}$$

$$F/M = \frac{(300 \text{ mg/l} \times 20000 \text{ mg/l})}{2467 \text{ mg/l} \times 15756 \text{ m}^3}$$

$$F/M = 0.1543 \text{ kg BOD / d / kg MLVSS}$$

أو

$$F/M = \frac{(300 \text{ mg/l} \times 20000 \text{ mg/l})}{4116 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 15756 \text{ m}^3}$$

$$F/M = 0.0925 \text{ kg BOD / d / kg MLVSS}$$

يتم التعبير عن زمن مكث الحمأة النشطة أو عمر الحمأة بطريقة أخرى وهي زمن مكث الخلية

في النظام mean cell residence time MCRT وهو يختلف عن زمن مكث المواد

الصلبة SRT أو عمر الحمأة Sludge age والفرق بين زمن مكث المواد الصلبة أو عمر الحمأة من ناحية وزمن مكث الخلية بالنظام هو أن زمن مكث الخلية يعبر عن الفترة الزمنية التي تبقى فيها الحمأة النشطة في النظام ككل سواء أحواض التهوية أو أحواض الترسيب بينما عمر الحمأة أو زمن مكث المواد الصلبة يعبر عن الزمن التي تبقى فيه الحمأة النشطة تحت تأثير التهوية بأحواض التهوية فقط ومن هنا نتوقع أن زمن مكث الخلية سيكون أطول من زمن مكث المواد الصلبة أو عمر الحمأة

$$MCRT \ d = \frac{[MLSS \text{ mg/L} \times (\text{Aeration Vol.} + \text{Clarifier Vol.})]}{[(WAS, \frac{\text{mg}}{\text{L}}) \times (\text{WAS flow}) + (\text{TSS out} \times \text{flow out})]}$$

1-5-4 (د) ترسيب الحمأة Sludge Settling



مضخات وخزان تجميع الزيت scum pumps & tank

ينتقل الخليط المتخمر MLSS من حوض التهوية الي غرفة التوزيع ثم إلى أحواض الترسيب حيث يتم فصل الحمأة من المياه المعالجة ثم يعاد جزء من الحمأة الي حوض التهوية



خزان توزيع المزيج المتخمر على أحواض الترسيب النهائي

والباقي يتم التخلص منه كمخلفات خزان تجميع الحمأة الذي يعمل كخزان تجميع ومثخن أو مغظ للحمأة thickner لأكمال المعالجة علي الحمأة المخلفة ؛ تتجمع الخلايا الميكروبية في الندف وتكون كثافتها كافية للترسب في حوض الترويق .



تهدير المياه المروقة في حوض الترسيب النهائي

ترسب الندف يتبع بترويق ثانوي يعود الي تعلق خلايا البكتريا المشتتة والندف الصغيرة الي ترسب الندف وتكون عملية تندف وتجمع الكائنات الدقيقة مؤشر علي قلة الغذاء في البيئة المحيطة والكائنات تستخدم الغذاء بكفاءة لأن نواتج هدم قسم من الكائنات تستخدمه كائنات اخري كغذاء وبالتالي ترسيب الحمأة يعتمد علي نسبة الغذاء الي الكائنات الحية F/M وتكون كفاءة الترسيب جيدة عندما تكون الكائنات في الطور الذاتي endogenous phase من النمو كما سبق والذي يحدث عندما يكون الكربون ومصدر الطاقة محدود وعند انخفاض معدل النمو الخاص للميكروبات ؛ ويحدث ترسيب جيد وتكون ازالة جيدة BOD عند نسبة منخفضة من F/M (بمعنى اخر يكون MLLS مرتفع) ؛ والعكس عندما يكون F/M كبيرة يكون الترسيب ضعيف .

يحدث الترسيب الضعيف عند التغير في المعايير الفيزيائية (مثل الحرارة ودرجة الحموضة) و غياب الغذاء (مثل مركبات النيتروجين والفسفور) ووجود مواد سامة (مثل المعادن الثقيلة) والتي تحدث تفكك لندف الحمأة النشطة .

انتاج مواد تخزين داخل الخلية intracellular مثل Poly- β hydroxybutyric acid هو المسئول عن تجمع البكتريا ؛ وعديد السكريات المتكون حول الخلية Extracellular polysaccharides يكون الكبسولة والطين الذي يتكون بواسطة Zooglea ramigera والكائنات الأخرى الموجودة في الحمأة النشطة تلعب دور هام في التندف وتكوين الندف وبالتالي يمكن القول ان المركبات المتبلمرة العضوية التي تتكون بفعل الكائنات الموجودة في الحمأة هي المسئولة عن تكوين الندف وقد اوضح استخدام الميكروسكوب الاللكتروني وميكروسكوب المسح الضوئي بالليزر انه يوجد الياف خارجية exopolymeric fibrils تساعد علي ثبات الندف وهي تملأ المسحات الفارغة بين الخلايا في الندف وهذه المواد تتكون اثناء

الطور الذاتي من النمو الميكروبي وتعمل كقنطرة تمكن الخلايا من تكوين مصفوفة ثلاثية الأبعاد ويزداد تركيز هذه المواد كلما زاد زمن الإبقاء للمواد الصلبة وتتكون هذه المواد المتبلرة من الكربوهيدرات ووسكريات الأمين وحامض اليورنيك (جالاتوجلوكورونيك جلوكورونيك) والبروتينات والدهون ونسبة صغيرة من الأحماض النووية ووجد ان البروتينات هي الأهم بين هذه المواد في تركيب هذه المواد المتبلرة ؛ كما ان هذه المركبات تشارك في الشحنة السالبة لسطح الندف ولها ايضا خواص محبة للماء وكارهة للوسط المائي ايضا وتكون الخواص الكارهة للماء هامة في تكوين الندف الميكروبية وتكون هذه الخاصية اكثر اهمية في تكوين الندف من شحنة سطح الندف وقد وجد ان تلاصق الإيشريشيا كولاي يزداد مع زيادة خاصية hydrophobicity لسطح الخلية كما وجد ان *Serratia marcescens* المحبة للماء Hydrophobic تكون اكثر التصاقا بندف الحمأة من الإيشريشيا كولاي ووجد ان زمن ابقاء الحمأة SRT يؤثر علي تركيب المواد المتبلرة الخارجية والخواص الفيزيوكيميائية (الشحنة ومحبة وكراهية وسط الماء) لسطح للندف فكلما زاد SRT يكون السطح اقل شحنة سالبة وبالتالي اكثر كراهية للوسط المائي .

الكاتيونات الثنائية تلعب دور هام في تكوين الندف حيث تعمل علي تكوين قنطرة بين جزيئات التبلر EPS سالبة الشحنة الموجودة علي السطح وتكون ثنائي البولمر بينما الكاتيونات الأحادية تؤثر بالسلب علي تكوين الندف حيث تعمل علي تشتيت ثنائي البولمر وجعله معلق وبالتالي تركيز الندف يتأثر بالتركيز الأيوني لمياه الصرف الخام الداخلة الي احواض المعالجة influent wastewater ؛ إلا ان التكوين المتلاحق والمطرّد لجزيئات البولمر يمكن ان يؤدي الي تسبب الحمأة bulking وهذا يؤدي الي جعل الندف مفككة ولا تترسب جيدا وقلة ثباتية الحمأة وبالتالي يكون مؤشر حجم الحمأة كبير SVI ومرتبطة بكمية EPS وهذا الحدث الذي

يسمي التسيب اللاخيطي nonfilamentous bulking يتناقض مع filamentous bulking الذي يتكون نتيجة النمو المتزايد للبكتريا الخيطية .

يمكن تحسين التدفد باضافة مواد متبلمرة صناعية من املاح الحديد والألومنيوم كما ذكرنا في عملية ترويق مياه الشرب سابقا .

المواد المتبلمرة EPS مسئولة ايضا عن ازالة الفسفور في الحمأة النشطة وقد اثبتت الدراسات انه يحتوي علي 27-30 % فسفور ؛ الطريقة التقليدية لمتابعة ترسيب الحمأة يتم عن طريق قياس مؤشر حجم الحمأة SVI حيث يتم سحب كمية من الخليط المتخمر من حوض التهوية في مخبر مدرج سعة لتر ويترك للراحة 30 دقيقة ثم نحسب حجم الحمأة ويعرف انه الحجم الذي يشغل بواسطة جرام واحد من الحمأة ويعطي بالمعادلة التالية

$$SVI = (SV \times 1000) / MLSS$$

حيث SV الحجم المشغول بالحمأة المترسبة في المخبر المدرج ملل ؛ و MLSS الخليط المتخمر للمواد الصلبة المعلقة ملجم/ل .

تم تصميم أحواض الترسيب بمحطة الصرف الصحي بينبع بحيث يكون مؤشر حجم الحمأة 75 - 150 على أن يكون المعدل المثالي عند 125 ملل/جم

1-5-4 (هـ) حمل الحمأة وعمر الحمأة Sludge load and sludge age

تضاعف البكتريا أعدادها من خلال الإنقسام الخلوي ويختلف الزمن اللازم لهذا التضاعف من 30 دقيقة الى عدة أيام طبقا لنوع الخلية البكتيرية هذا بلاضافة الى ان نمو بعض الاصناف غير ثابت ويخضع للظروف البيئية المحيطة مثل درجة الحرارة ودرجة الحموضة وتوافر

الاكسيجن من عدمه ويكون أعلى معدل نمو عندما تتوافر الظروف المثالية للنمو ؛ وواقعا في محطات المعالجة يكون معدل النمو الحقيقي أقل من أعلى زمن لازم لعملية الانقسام الخلوي .

مستوى حمل الحمأة $\text{kg BOD or COD / kg MLSS.d}$ يعبر عن كمية الغذاء المتوفرة للكائنات الحية ؛ سوف تنمو الكائنات الحية بمعدل أكبر كلما زاد الحمل ؛ ولأنه من الضروري المحافظة على تركيز ثابت للحمأة بالأحواض سوف تزيد كمية الحمأة التي يجب تخريجها وبالتالي يقل عمر الحمأة كلما زاد حمل الحمأة ومن ثم فإن حمل الحمأة وعمر الحمأة المرتبط به سوف له له تأثير كبير على أصناف الكائنات الحية المتواجدة واعدائها ويمكن القول بأن الكائنات الحية التي يكون زمن تكاثرها وتخليقها أقل من عمر الحمأة هي فقط التي ستبقى بالحمأة بينما سوف تخرج باقي الكائنات الحية التي يكون زمن تكاثرها أكبر من عمر الحمأة مع الحمأة الزائدة .

يتسبب حمل الحمأة الكبير (عمر الحمأة أيام قليلة) في نقص المغذيات مثل الفوسفور والنيتروجين والحديد (nutrients) وهذا معناه أعلى معدل نمو لبعض أصناف الكائنات الحية وهذا النمو السريع يستهلك المغذيات وتصبح هذه الاصناف هي السائدة وفي هذه الظروف تكون الندف ليست قوية جدا وبالتالي سيتواجد العديد من الخلايا الحية الحرة ؛ ولأن الندف تضم السلالات سريعة النمو فإن تركيبة الندف سوف تتغير في خلال أيام معدودة .

يوجد غذاء قليل نسبيا عند حمل الحمأة القليل (عمر الحمأة أسابيع قليلة) مسببة نمو بطئ للكائنات الحية التي تستغل المغذيات النادرة سوف تكون الان في وضع تنافسي وبالتالي سوف تموت نسبة مهمة من الخلايا الحية بسبب التنافس .

وبسبب عمر الحمأة الكبير فإن الكائنات الحية التي تقوم بتكسير بعض المركبات الخاصة والتي تنمو ببطئ يمكن ان تتواجد في هذه الظروف ومن أمثلتها بكتريا النتريته .

حمل الحمأة المنخفض اذا يمضي يدا بيد مع التنوع في الكائنات الحية وأعدادها وتكون الندف قوية ومتماسكة ولا يتغير تركيبها بسرعة .

1-5-4 (و) استهلاك المغذيات بواسطة ندف الحمأة Floccs uptake of nutrients by sludge

أثناء خلط المياه الخام بالحمأة الراجعة يتم استهلاك العديد من المركبات والحببيات العاقبة

بواسطة الندف ويحد حجم وطبيعة الجزيئات والحببيات الوسيلة التي سوف تستهلك بها

1-المركبات الذائبة صغيرة الوزن الجزيئي سوف تمر من غشاء الخلايا البكتيرية المكونة للندف بسهولة

2-المركبات الذائبة كبيرة الوزن الجزيئي سوف ترتبط بالندف ثم تقوم البكتريا بإفراز الانزيمات اللازمة لتحللها ثم امتصاصها

3-الحببيات الكبيرة يتم امساكها بواسطة الندف ثم تحللها بالانزيمات أيضا

كل العمليات الثلاثة السابقة تسمى الامتصاص البيولوجي bio-sorption ويعتمد حجم ومعدل الامتصاص البيولوجي يعتمد على مكونات المياه الخام وخواص الحمأة النشطة ونسبة الخلط بين المياه الخام والحمأة النشطة .

تسمى نسبة الخلط بين الحمأة النشطة والمياه الخام بحمل الندف Floccs load ويعبر عنها بالجرام من الأكسجين الحيوي الممتص أو الأكسجين الكيميائي المستهلك لكل كيلوجرام من المزيج المتخمر المعالق gm BOD or COD / kg MLSS وحمل الندف هو مقياس تركيز الغذاء المتوفر للكائنات الحية أثناء خلط الحمأة الراجعة مع مياه الصرف الخام

$$\text{Floc loading} = \frac{Q_{iffl} \cdot (COD_{iffl} - COD_{effl})}{RAS \cdot MLSS \cdot Q_{RAS}} \text{ (gm BOD or COD / kg MLSS)}$$

نسبة حمل الندف (حمل الحمأة) هو القوة الدافعة لعملية الامتصاص البيولوجي ؛ ولأن المواد العضوية الذائبة يمكن أن تدخل عمق الندف سوف يتم الكثير منها في الطور المائي بالتناسب مع زيادة حمل الندف .

يرتبط حمل الحمأة إرتباط وثيق مع نوعية الكائنات الحية التي تتواجد بالحمأة النشطة ومن ثم أيضا بمشاكل التشغيل الناتجة من تواجد بعض هذه الكائنات أو عدم تواجد البعض الآخر وسوف نوضح هذا الأمر لاحقا عندما نتحدث عن مشاكل التشغيل المتعلقة بالكائنات الحية والفحص المجهرى للحمأة .

بعد عملية ترسيب الحمأة بحوض الترسيب تنتقل المياه المروقة بالجاذبية إلى وحدة الترشيح الثلاثي حيث تستكمل عملية معالجة المياه بينما تندفع الحمأة إلى خزان محطة مضخات الحمأة الراجعة والزائدة حيث تجري لها عمليتين هما إخراج الحمأة الزائدة عن حاجة عملية المعالجة لعدم تراكمها بالنظام وإحداث مشاكل بالمعالجة حيث تقوم مضخات الحمأة الزائدة بهذه المهمة وهي عدد 3 مضخات غاطسة سعة المضخة 75 متر مكعب للساعة إثنين منها قيد الخدمة والثالثة احتياطي و الثانية تقوم مضخات الحمأة الراجعة بضخ الحمأة إلى الأحواض اللاهوائية Aerobic tanks حيث تختلط مع المياه الخام وهي ثلاث مضخات غاطسة سعة المضخة 1250 متر مكعب للساعة إثنين منها قيد الخدمة والثالثة احتياطي حيث تبدأ عملية معالجة الحمأة في مراحل هي تخزين الحمأة وتثخينها أو تغليظها في خزان الحمأة وهو مصمم كي يعمل كخزان لتجميع الحمأة ومثخن بالجاذبية gravity thickener ثم تغليظ الحمأة بالبرميل الدوار المركب في ماكينات الحزام الضاغط ثم عملية العصر بالأحزمة الضاغطة ثم تجفيف الحمأة بالمجفف الحراري وسوف نتاول عملية معالجة الحمأة لاحقا بالتفصيل بعد الإنتهاء من استكمال معالجة المياه

1-6 الترشيح الثلاثي

Tertiary filtration

1-6-1 وصف المرشحات والوسط الترشيحي filters and filtration media description

المرشحات الموجودة بالمحطة هي من نوع المرشحات الرملية البطة flux decline rate filter وهي مرشحات بالجاذبية ثنائية الوسط الترشيحي تتكون من طبقتين واحدة من المل والثانية من الكربون (الأنتراسيت) hydro-anthracite ويوجد عدد 12 مرشح يمكن أن يعمل كل مرشح بمعزل عن الباقي ؛ يتم استخدام 10 مرشحات تكفي لاستيعاب كمية المياه المتدفقة عند أعلى معدل تدفق يومي 4167 متر مكعب للساعة بينما يون مرشح قيد الغسيل العكسي ومرشح آخر احتياطي



المرشحات

تم تصميم المرشحات واختيار الوسط الترشيحي الذي يحقق مياه مرشحة بمواصفات جيدة بحيث يكون تركيز المواد العضوية في المياه المنتجة عند أعلى تركيز لها هو أقل من 10 ppm ومتوسط التركيز لعينة مجمعة خلال 24 ساعة 5 ppm ويكون تركيز المواد الصلبة العالقة هو أقل من 10 ppm ومتوسط التركيز لعينة مجمعة خلال 24 ساعة 5 ppm

أسفل الطبقتين طبقة داعمة من الحصى سمكها 20 سم وحجم الحصى (3.15 – 5.6 mm) وفوهات أسفل هذه الطبقة nozzels لضخ مياه الغسيل العكسي والهواء 60pcs/m²

تم تصميم دورة الغسيل العكسي بحيث يتم غسيل كل فلتر مرة واحدة يوميا وبشكل أوتوماتيكي يبلغ طول الفلتر الواحد 12 متر وعرضه 261 سم ومساحة سطحه 32.5 متر مربع وعمقه 240 سم وبالتالي فإن المساحة الكلية للفلتر 378 متر مربع .

في حالة متوسط التدفق اليومي 60000 متر مكعب لليوم أو 2500 متر مكعب للساعة فإن سرعة الفلتر ستكون

$$\text{Filtration velocity} = \frac{2500}{10 \times 315} = 7.94 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$$

وعند أقصى تدفق سيكون

$$\text{Filtration velocity} = \frac{4167}{10 \times 315} = 13.20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$$

وهذه السرعة مناسبة لأنه للمرشحات ثنائية الوسط الترشيحي مسموح لسرعة ترشيح تصل الى 15 m³/m²/hr ؛ يبلغ سمك طبقة الرمل بالمرشح 60 سم وحجم الحبيبات 0.75 – 1.25 mm بينما سمك طبقة الكربون 40 سم وحجم الحبيبات 1.4 – 2.5 mm وبالتالي المساحة الفارغة لتمدد الوسط الترشيحي أعلى الوسط الترشيحي 140 سم .

يستطيع الكربون hydro-anthracite حجز 10 كيلو جرام من المواد الصلبة المعلقة لكل واحد متر مكعب من الوسط الترشيحي بينما يحجز الرمل 2.5 كيلو جرام من المواد الصلبة العالقة لكل متر مكعب من الرمل وبالتالي فإن طبقة الكربون سوف تحجز كمية من المواد

الصلبة العالقة يمكن حسابها وهي $10 \times 0.4 = 4 \text{ kg}$ بينما يحجز الرمل $2.5 \times 0.6 = 1.5 \text{ kg}$ وتكون كمية المواد الصلبة الكلية المحتجزة هي 5.5 kg للمرشح الواحد بينما الكمية الإجمالية لعدد 11 مرشح قيد التشغيل (10 قيد التشغيل وواحد قيد الغسيل العكسي وواحد احتياطي) هي $11 \times 31.5 \times 5.5 = 1905 \text{ kg}$

وبالتالي الزمن اللازم حتى يتم انسداد المرشح ومن ثم يحتاج لغسيل عكسي يكون

$$\text{Running time before saturation} = \frac{1905 \times 24}{60000 \times 0.01} = 76.2 \text{ hr}$$

1-6-2 مكونات خلية الترشيح **filtration cell constituents**

تتكون كل خلية من خلايا المرشحات من :

1-بوابة لدخول المياه المروقة penstock valve

2-محبس دخول مياه الغسيل العكسي

3-محبس فراشة لدخول الهواء للغسيل العكسي

4-محبس خروج المياه المرشحة ويفتح بنسبة 55% على الأكثر ويتم التحكم في النسبة الباقية

يدويا اذا لزم الامر وذلك للتحكم في أقصى كمية مياه خارجة من المرشحات وكلها تعمل

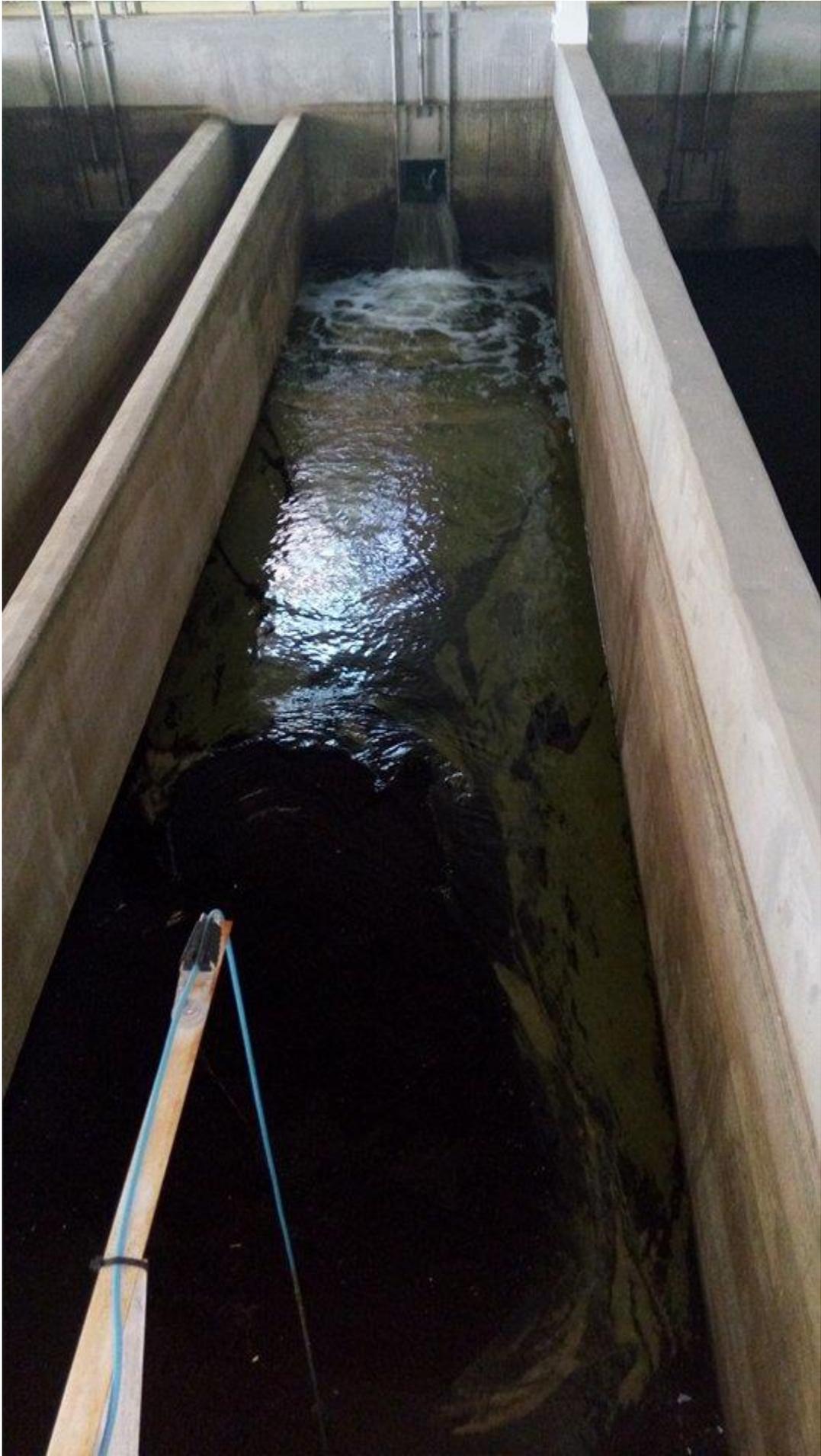
أوتوماتيكيا بالكهرباء عند دخول المرشح دورة الغسيل العكسي

5-حساس هيدروستاتيكي لقياس منسوب المياه فوق الوسط الترشيحي في كل خلية level

detector

6-عداد لقياس فرق الضغط لكل خلية وهو يؤشر الى انسداد الخلية وحاجتها الى غسيل

عكسي وأقل ارتفاع للمياه فوق الوسط الترشيحي 0.3 m لبدء عملية الغسيل العكسي





قياس المنسوب والضغط بالخلية وتدفق المياه من بوابة الدخول

1-6-3 إجراءات تشغيل المرشحات Filter operation procedures

- 1- تنتقل المياه المروقة من حوض الترسيب النهائي بالجاذبية إلى مبنى المرشحات وتتم عملية الترشيح بطريقة آلية حيث تم تزويد الفلاتر بعدادات قياس ضغط يمكن الاستدلال من قراءة العداد على انسداد المرشح ؛ كلما زاد ضغط قراءة الضغط للعداد دل ذلك على انسداد المرشح وحاجته للعسيل ويتلزم هذا مع ضعف تصريف المياه من المرشح وارتفاع منسوب المياه فيه مما يعطي إشارة لمشغل الإسكادا على ان المرشح في حاجة للغسيل فيقوم المشغل بإدخال المرشح دورة العسيل العكسي وإدخال المرشح الإحتياطي مكانه وبالتالي تبدأ عملية الغسيل العكسي آليا طبقا للوصول لأقصى ضغط تم تحديده للمرشح أو أعلى منسوب مياه فوق سطح الوسط الترشيحي وتبدأ العملية آليا أو يبدأها مشغل الاسكادا وفق البيانات المتاحة أمامه
- 2- عندما يصل الضغط خلال المرشح لأعلى قيمة له يبدأ نظام الاسكادا في غلق بوابة دخول المياه للمرشح كي يتم دخوله دورة الغسيل العكسي وتعتمد عدد المرشحات المستخدمة على كمية التدفق الوارد فإذا كانت كمية المياه قليلة سوف يتم إخراج آخر مرشح تم عمل غسيل عكسي له من الخدمة لحين الحاجة له أما اذا زاد تدفق المياه سوف يتم ادخال هذا الفلتر الى الخدمة .
- 3- اذا احتاج أكثر من فلتر لغسيل عكسي يتم اخراج واحد فقط للغسيل بينما يظل الاخر قيد الخدمة لحين الانتهاء من غسيل الاول حيث يقوم برنامج الاسكادا بترتيب المرشحات التي تحتاج لغسيل حسب الترتيب الزمني لها وادخال الفلتر صاحب الدور أولا ثم الذي يليه
- 4- قبل إدخال المرشح الإحتياطي أو أيا من المرشحات للخدمة يتم الانتظار لمدة 3 دقائق بعدها تبدأ بوابة دخول المياه للمرشح في الفتح ويستقبل المرشح المياه
- 5- تتم عملية الغسيل العكسي للمرشحات باستخدام مياه المنتج النهائي المطهرة بالأشعة فوق البنفسجية والهواء المضغوط وتتم دورة الغسيل العكسي اوتوماتيكيا على أربعة مراحل هي :

أ-ضخ الهواء لفصل المواد الصلبة العالقة من الوسط الترشيحي



نوافخ الهواء للمرشحات

ب-الهواء مع المياه بمعدل تدفق منخفض (مضخة غسيل عكسي واحدة) لرفع المواد الصلبة العالقة فوق سطح الوسط الترشيحي

ج -المياه وحدها بتدفق منخفض للتخلص من فقاعات الهواء الموجودة بين طبقات الوسط الترشيحي ودفع المواد الصلبة العالقة (المياه المتسخة) الى قناة خروج مياه الغسيل العكسي

د-المياه بمعدل تدفق عالي (عدد 2 مضخة عسيل عكسي معا) لإعادة ترتيب طبقات الوسط الترشيحي



مضخات الغسيل العكسي

السرعة المثالية لهواء الغسيل العكسي هي $50-60 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$ وسرعة تدفق المياه للغسيل العكسي 40 m/hr ولذلك تم تزويد المرشحات بعدد 2 نوافخ هواء ساعة الواحد منها 1890 m^3/hr واحد قيد التشغيل وواحد احتياطي وعدد 3 مضخات غسيل عكسي ساعة المضخة $1260 \text{ m}^3/\text{hr}$ اثنين قيد التشغيل وواحدة احتياطي.

تستقبل المرشحات المياه المروقة القادمة من أحواض الترسيب النهائي وعند انسداد المرشح يتم إخراج المرشح من الخدمة وإدخال المرشح الاحتياطي مكانه ونبدأ دورة الغسيل العكسي للمرشح المتسخ كالتالي :

6- تتم العملية اوتوماتيكيا بوضع المرشح في وضع الغسيل العكسي حيث يبدأ قفل بوابة دخول المياه المروقة الى المرشح كما تبدأ عملية غلق محبس تصريف المياه من المرشح للإحتفاظ بمستوى مياه مناسب لعملية الغسيل العكسي (30-40 سم)

7- يتم تشغيل نافخ الهواء حتى يتثنى فصل المواد الصلبة العالقة من الوسط الترشحي ويكون زمن تشغيل النافخ 3 دقائق

8- مع استمرار شغل النافخ تبدأ مضخة الغسيل العكسي بضخ المياه الى المرشح (مضخة واحدة فقط) ولمدة 1.5 دقيقة

9- يتوقف النافخ عن التشغيل وتستمر المضخة في دفع المياه لمدة 2 دقيقة

10- يتم تشغيل المضخة الثانية مع استمرار تشغيل المضخة الأولى لمدة دقيقة

ثم تتوقف المضختان عن العمل وبعد خمس دقائق يبدأ فتح محبس تصريف المياه المرشحة ثم يبدأ فتح بوابة دخول المياه المروقة للمرشح أو جعل المرشح في الوضع الاحتياطي لحين الحاجة اليه

11- بعد الانتهاء من دورة الغسيل العكسي تبدأ بوابة تصريف المياه بالفتح ثم تشغيله اذا لزم الامر أو وضعه احتياطيا



خروج المياه المرشحة

- 12- إذا تعطلت احد مضخات الغسيل العكسي يتم دخول المضخة الثانية تؤدي دورها ثم تقوم المضخة الاحتياطي بدور المضخة الثانية وفي دورة الغسيل التي تستلزم تشغيل مضختين لإعادة ترتيب الوسط الترشيحي ستقوم المضختين بهذه المهمة
- 13- يوجد حساس لقياس منسوب مياه بيارة تجميع مياه صرف المحطة ؛ اذا كان المنسوب في البيارة مرتفع يعطي إنذار كي تتوقف مضخات الغسيل العكسي عن العمل لحين انخفاض منسوب المياه بالبيارة ثم تستكمل دورة الغسيل العكسي
- 14- اذا كان مستوى المياه في خزان مياه الغسيل العكسي منخفض سيعطي حساس قياس المنسوب إشارة لتوقيف مضخات الغسيل العكسي لحين ارتفاع منسوب المياه بالخزان
- 15- اذا كان منسوب المياه في خزان تجميع الحمأة sludge -water tank مرتفع سيعطي أيضا حساس قياس المنسوب إشارة لتوقيف مضخات الغسيل العكسي بالتوقف لحين انخفاض المنسوب (لان فائض الخزان يتم تصريفه الى بيارة مدخل المحطة)

16- لن تبدأ عملية الغسيل العكسي اذا كان نافخ الهواء غير جاهز للعمل أو كانت مضخات الغسيل العكسي غير جاهزة أو كان منسوب المياه بخزان مياه الغسيل العكسي أقل من المستوى المطلوب لبدء العملية أو إذا كان مستوى المياه بخزان تجميع الحمأة عالي جدا

17- اذا كان محبس الغسيل العكسي مغلق لن تبدأ مضخة الغسيل العكسي بالعمل واذا كان قراءة منسوب خزان مياه الرائقة ليس عند أو أعلى من أعلى مستوى للمياه بالخزان لن تبدأ مضخة الغسيل العكسي بالعمل ؛ واذا كانت قراءة منسوب المياه بخزان المياه الرائقة دون أقل مستوى للمياه أو عنده سوف تتوقف جميع مضخات الغسيل العكسي عن العمل

18- اذا كانت بوابة دخول المياه للمرشحات أو محبس تصريف المياه منها مفتوح لن يتم فتح محبس الفراشة الخاص بنافخ الهواء قيد الخدمة واذا لم يكن كلا من نوافخ الهواء جاهز للعمل (او احدهما) لن يفتح محبس ضخ الهواء للمرشح

وبحساب كمية المياه المهذرة نتيجة الغسيل العكسي نجد أنها 1270 متر مكعب حيث يتم تشغيل المضخة لمدة 3.5 دقيقة والمضختين معا لمدة دقيقة وسعة المضخة 1260 متر مكعب للساعة وهي تمثل % 2.1 من متوسط معدل التدفق اليومي 60000 متر مكعب لليوم حيث ترجع هذه المياه للمدخل وهي تحتوي على 10 ملجم/ل مواد صلبة أي ما يوازي أقل من 3% من تركيز المواد الصلبة للمياه الخام الواردة للمحطة 350 ملجم/ل

تم تزويد وحدة الترشيح بخزان المياه المفلتره سعته 220 متر مكعب مدمج مع خزان المياه الرائقة بعد وحدة التطهير بالاشعة فوق البنفسجية لضمان توفير مياه الغسيل العكسي وتكون خالية من الميكروبات

ولضمان عدم انسداد الفلاتر بسرعة نتيجة النمو البكتيري تم تزويد وحدة المرشحات بوحدة تعقيم بالكلور السائل وأيضا وحدة لتجريع البوليمر لمساعدة المواد الصلبة العالقة على الترسيب بسهولة عند الترشيح وضمان أعلى كفاءة لعملية الترشيح وجودة المنتج النهائي .

7-1 تطهير المياه المعالجة

Treated water disinfection

1-7-1 وحدة التطهير بالكلور السائل Chlorination disinfection

تم تصميم الوحدة لغرضين الأول استخدام الوحدة في حالة الطوارئ اذا تم توقف وحدة التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية أو في حالة عمل صيانة لها والثاني هو للمحافظة على المرشحات من النمو البكتيري والطحلي وانسدادها



مضخات تجريع الكلور لتطهير المنتج النهائي في حالة تعطل وحدة الأشعة فوق البنفسجية كم تستخدم اختياريًا في تطهير المرشحات لمنع النمو البكتيري والطحلي

تم تزويد الوحدة بمضخات حقن تقي بالحد الأقصى للتجريع للمياه المعالجة وهو 10 جزئ في المليون وبالتالي اذا كان التدفق 60000 متر مكعب في اليوم سوف تقوم المضخات بتجريع 7500 لتر/ يوم من الكلور السائل تركيز 12.5% أو 312.5 لتر للساعة ؛ متوسط التجريع

اليومي للمياه المعالجة يتراوح من 4-5 ملجم/ل وبالتالي لو تم ضخ 5 ملجم/ل ستكون كمية الكلور المطلوب ضخها هي نصف الكمية 3750 لتر/يوم أو 156.25 لتر للساعة ولذلك تم تزويد الوحدة بمضختين سعة الواحدة 249.6 لتر للساعة أحدهما احتياطي ومضخة ثالثة لحقن الكلور للمرشحات ؛ يفضل حقن كلور بتركيز 20 ملجم/ل في المرشحات كل عدد مرات من الغسيل العكسي بين 5-10 مرة غسيل عكسي للتأكد من تطهير الفلاتر ومنع النمو البكتيري والطحلي لتقادي انسداد الفلاتر بمعدل 31.5 لتر في اليوم باعتبار أن كمية المياه المستخدمة للغسيل العكسي هي 1270 متر مكعب وتركيز الكلور %12.5 اذا كان ذلك سيتم كل خمس مرات غسيل عكسي ؛ تم تزويد وحدة التطهير بالكلور بخزان سعته 1000 لتر يكفي لمدة شهر لتطهير المرشحات

1-7-1 (أ) التطهير و متطلب الكلور والكلور الحر Disinfection, chlorine demand and free chlorine

متطلب الكلور هو كمية الكلور التي يجب تجريعها للمياه للتفاعل مع المركبات المختلفة قبل ان تترك نسبة لم تتفاعل هي الكلور الحر

$$\text{Chlorine Demand} = \text{Chlorine Dose (mg/L)} - \text{Chlorine Residual (mg/L)}$$

فمثلا اذا كانت المياه المنتجة تحتاج جرعة من الكلور 5 ملج/ل لكي تترك كلور حر 1 ملجم/ل فإن متطلب الكلور الذي يجب تجريعه هو

$$\text{Chlorine Demand} = 5 \text{ mg/L} - 1.0 \text{ mg/L} = 4 \text{ mg/L}$$

يمكن حساب معدل تجريع الكلور / يوم من العلاقة

$$\text{Chlorine Feed Rate kg/m}^3/\text{d} = \left[\text{Dose} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \frac{1000}{1000000} \right] \times \text{Flow (m}^3/\text{d)}$$

فإذا كانت جرعة الكلور الحالية 5 ملجم/ل ومعدل التدفق 60000 م³/يوم يكون معدل التجريع بالكيلو جرام / يوم هو :

$$\text{Chlorine Feed Rate kg/m}^3/\text{d} = \left[5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \frac{1000}{1000000} \right] \times 60000 \text{ (m}^3/\text{d)} = 300 \text{ kg/d}$$

يمكن حساب جرعة الكلور اللازمة من العلاقة :

$$\text{Dose (mg/L)} = \frac{\text{Chlorine Feed Rate (kg/day)}}{\text{flow} \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}$$

فإذا كانت كمية الكلور المستهلكة في اليوم مثلا هي 468.75 كجم وكان معدل التدفق 60000 م³ / يوم فإن تركيز جرعة الكلور هو :

$$\text{Dose (mg/L)} = \frac{300 \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right) \times 1000000}{60000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 1000} = 5 \text{ mg/L}$$

في حالة استخدام الهيبوكلوريت يجب استخدام الكلور المتاح (بمعنى الحساب على تركيز الكلور المتاح سواء مثلا في هيبوكلوريت الصوديوم او الكالسيوم)

$$\text{Available Chlorine} = \text{Amount of Hypochlorite} \times \% \text{ Available Chlorine}$$

فإذا كان تركيز هيبوكلوريت الصوديوم مثلا 12.5% ومعدل التجريع 468.75 كجم من المادة الخام في اليوم تكون كمية الكلور التي يتم تجريعها هي

$$\text{Quantity of Chlorine} = \frac{468.75 \text{ kg}}{0.125} = 3750 \text{ L/d}$$

يمكن تقدير الكمية الخام الجافة من الهيبوكلوريت من العلاقة التالية :

$$\text{Hypochlorite (kg/day)} = \frac{\text{Required Chlorine Dose} \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \text{Flow (m}^3/\text{d)}}{\% \text{ available chlorine}}$$

فمثلا لو تقارير المختبر تفضل الحفاظ على كلور حر 8.5 ملجم/ل في حالة عطل الاشعة فوق البنفسجية أو تخريج مياه خام غير مطهرة وغير معالجة وتم استخدام هيبوكلوريت الكالسيوم في هذه الحالة وكان معدل التدفق الحالي هو 60000 م³/يوم وكان تركيز الهيبوكلوريت 70% تكون كمية الهيبوكلوريت المستهلكة بالكيلوجرام يوم هي

$$\text{Calcium hypochlorite Hypochlorite (kg/day)} = \frac{8.5 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1000}{1000000} \times 60000 \text{ (m}^3/\text{d)}}{0.70} = 728.60 \text{ kg/d}$$

ويمكن حساب كمية هيبوكلوريت الصوديوم 12.5% في هذه الحالة بنفس الطريقة

$$\text{Hypochlorite (kg/day)} = \frac{8.5 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1000}{1000000} \times 60000 \text{ (m}^3/\text{d)}}{0.125} = 4080 \text{ kg/d}$$

ثم نحولها الى حجم للسائل :

$$\text{Volume of sodium hypochlorite} = \frac{4080 \text{ kg/d}}{0.125} = 32640 \text{ L/d}$$

يمكن حساب احتياج المحطة لمدة عام في حال توقف نظام التعقيم بالاشعة فوق البنفسجية مع الأخذ بالإعتبار الزيادة التي يمكن ان تحدث في معدل التدفق فمثلا لو فرضنا ان معدل الزيادة في التدفق المتوقع سيكون في حدود 7.5% من التدفق الحالي وكان معدل التدفق اليومي الحالي هو 60000 م³/يوم مثلا فإن معدل التدفق المتوقع الزائد يمكن حسابه وكذلك كمية الكلور المتوقع زيادة استهلاكها يمكن حسابها من المعادلات التالية :

$$\text{Projected Flow} = \text{Current Flow (MGD)} \times (1.0 + \% \text{ Change})$$

$$\text{Projected Dose} = \text{Current Dose (mg/L)} \times (1.0 + \% \text{ Change})$$

نحسب معدل التدفق المتوقع يكون :

$$\text{Projected Flow} = 60000 \text{ m}^3 / \text{d} \times (1.0 + 0.075) = 64500 \text{ m}^3 / \text{d}$$

ثم نحسب كمية الكلور اللازمة لفترة معينة من العلاقة :

$$\text{Sodium hypochlorite Required} = \text{Feed Rate (kg/day)} \times \text{No. of Days Required}$$

فمثلا لو كان الإستهلاك الحالي هو 468.75 كجم في اليوم وكنا نريد ان نحسب كمية الكلور اللازمة لمدة 4 شهور بفرض ان الشهور الأربعة 31 يوم للشهر فإن كمية الكلور اللازمة بالكيلو جرام هي :

$$\text{Sodium hypochlorite Required} = 468.75 \text{ kg/day} \times 124 \text{ days} = 58125 \text{ kg}$$

ثم تحويلها الى لتر/يوم

$$\text{Volume of sodium hypochlorite} = \frac{58125 \text{ kg}}{0.125} = 465000 \text{ L/d}$$

أو يتم استخدام هيبوكلوريت الكالسيوم 70% حيث أن الكمية المطلوبة منه ستكون

$$\text{Calcium hypochlorite Hypochlorite (kg/day)} = 728.60 \text{ kg/d}$$

فمثلا لو كان الإستهلاك الحالي هو 728.60 kg/d كجم في اليوم وكنا نريد ان نحسب كمية الكلور اللازمة لمدة 4 شهور بفرض ان الشهور الأربعة 31 يوم للشهر فإن كمية الكلور اللازمة بالكيلو جرام هي :

$$\text{Calcium hypochlorite Required} = 728.60 \text{ kg/d} \times 124 \text{ days} = 90346 \text{ kg}$$

يمكن حساب متطلب الكلور من الكلور الغاز بنفس الطريقة السابق بأخذ عينات واجراء اختبار الكؤوس عليها لتحديد متطلب الكلور jar test وتعين ايضا نسبة الكلور الحر اللازم لنوعية المياه المعالجة

$$\text{Chlorine Demand} = \text{Chlorine Dose (mg/L)} - \text{Chlorine Residual (mg/L)}$$

يمكن ضبط جهاز التعقيم بالكلور الغاز chlorinator من خلال معرفة التركيز المطلوب من الكلور ومعدل تدفق المنتج النهائي فمثلا لو كان معدل التدفق $Q_{\text{effl.}} = 60000 \text{ m}^3/\text{d}$ وكان متطلب الكلور $\text{chlorine demand} = 5 \text{ mg/l}$ كالتالي:

$$\text{Chemical (kg/day)} = \text{chemical (mg/L)} \times \frac{1000}{1000000} \times Q_{\text{effl.}} \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Chemical (kg/day)} = 5 \text{ (mg/L)} \times \frac{1000}{1000000} \times 60000 \text{ m}^3/\text{d} = 300 \text{ kg/day}$$

بتوزيع هذه الكمية على مدار اليوم (24 ساعة) يكون معدل الحقن

$$\text{Chlorine Feed Rate kg/m}^3/\text{hr} = \frac{300}{24} = 12.5 \text{ kg/hr}$$

فإذا كان تركيز هيبوكلوريت الصوديوم 12.5%

$$\text{Volume of sodium hypochlorite} = \frac{12.5 \text{ kg}}{0.125} = 100 \text{ L/hr}$$

ويمكن حساب تركيز الكلور بطريقة عكسية من العلاقة

$$\text{Dose (mg/L)} = \frac{\text{Chlorine Feed Rate (kg/day)}}{f \text{ olw} \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}$$

$$\text{Dose (mg/L)} = \frac{3000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{day}} \right) \times 1000000}{60000 \frac{\text{m}^3 \times 1000}{\text{d}}} = 5 \text{ mg/l}$$

مثلا لو أعطى اختبار الكؤوس jar test جرعة الكلور اللازم هو 5 ملجم/ل لكي يترك كلور حر قدره 0.5 ملجم/ل وكان معدل التدفق للمياه المعالجة ثانويا هو 60000 م³/يوم يمكن ضبط جهاز الكلورة بالغاز كالتالي :

$$\text{Chlorine Feed Rate kg/m}^3/\text{d} = \left[\text{Dose} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \frac{1000}{1000000} \right] \times \text{Flow (m}^3/\text{d)}$$

$$\text{Chlorine Feed Rate kg/m}^3/\text{d} = \left[5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \frac{1000}{1000000} \right] \times 60000 \text{ (m}^3/\text{d)} = 300 \text{ kg/d}$$

يمكن ضبط جهاز الحقن لكل ساعة

$$\text{Chlorine Feed Rate kg/m}^3/\text{hr} = \frac{300}{24} = 12.5 \text{ kg/hr}$$

وتحويلها الى حجم بالتر

$$\text{Volume of sodium hypochlorite} = \frac{12.5 \text{ kg}}{0.125} = 100 \text{ L/hr}$$

2-7-1 وحدة حقن البوليمر للمرشحات polymer dosing unit

والهدف منها تجميع المواد الصلبة العالقة في شكل ندف أكبر لتسهيل ترسيبها على الوسط الترشيحي وزيادة جودة المياه المعالجة



وحدة تجريع البوليمر الخاصة بالمرشحات

يتم تحضير البوليمر بتركيز % 0.6 ثم تخفيفه الى % 0.1 لمنع تحلله اذا بقى مده طويلة بدون تجريع ويتراوح التركيز اللازم للعملية من % 0.05 - 0.1 تم تزويد الوحدة بعدد 2 مضخة سعة المضخة 500 لتر للساعة وخالط وخزان يعمل بشكل اوتوماتيكي لتحضير البوليمر ثم تجريعه في المياه المروقة الداخلة للمرشحات في حالة أقصى تدفق وهو 100000 متر مكعب للساعة أو 4167 متر للساعة تكون كمية البوليمر المستهلكة بتركيز % 0.1 هي $4167 \times 0.0001 = 0.417 \text{ kg/hr}$

8-1 وحدة التطهير بالأشعة فوق البنفسجية

UV designfication unit

عملية التطهير بالأشعة فوق البنفسجية هي عملية فيزيائية تؤدي الى تفاعل كيميائي يحدث تغييرات في الجزيء المستهدف من التفاعل وهي تختلف عن التطهير الكيميائي بالكلور في نقطة جوهرية وهي أن الأشعة لا تترك فائض منها كما يفعل الكلور بترك فائض من الكلور الحر يستمر لفترة لضمان عدم نمو الميكروبات مرة أخرى .

يلزم لاتمام التفاعل الكيميائي photochemical reaction توفر شقين هما الأول إشعاع بطاقة كافية لتحويل أو تغيير طبيعة الروابط الكيميائية بين الذرات أو الجزيئات والثاني هو الجزيء المستهدف من التفاعل وهو هنا الكائن الحي المراد تثبط نشاطه أو القضاء عليه تماما . للحصول على الاشعاع المناسب الذي يملك طاقة كافية لقتل الجراثيم يمكن أن يتولد من لمبات الزئبق منخفضة الضغط والتي تنتج أشعة فوق بنفسجية طولها الموجي 253.7 nm تمتد منطقة الأشعة فوق البنفسجية في طيف الضوء المرئي من 100-400 نانومتر وتنقسم الى أربعة مناطق حسب طولها الموجي وتأثيرها هي :

Vacuum UV 100-200 nm

UV C 200- 280 nm

UV B 280- 315 nm

UV A 315- 400 nm



والضوء الأكثر فاعلية لقتل الميكروبات هو الواقع في المنطقة UV C 200- 280 nm والتي يمكن الحصول عليه من لمبات الزئبق منخفضة الضغط

وتعمل الأشعة في هذا المدى على تغيير أو تكسير جزئ الحامض النووي عن طريق التفاعل الكيموضوئي سواء بتغيير التركيب الجزيئي ومن ثم يفقد الكائن الحي القدرة على التكاثر وهذا يسمى الموت الغير مباشر له أو عدم قدرته على تخليق البروتين الضروري وهذا يسمى الموت المباشر له

تناسب شدة تثبيط الكائن الحي ووقف نشاطه على الجرعة التي يتلاقها من الاشعة والتي تحددها شدة الضوء وزمن المكث أو الزمن الذي يتعرض له الكائن الحي للاشعة وهو مماثل لزمن التلامس في حالة التطهير بالكلور

تتراوح الجرعة المؤثرة من الأشعة فوق البنفسجية للتطهير الفعال من الكائنات الحية الممرضة بين $25-50 \text{ mWs/cm}^2$ ويتم تحديد هذه الجرعة طبقا لمعدل التدفق وزمن المكث من ناحية شدة أو كثافة الضوء من ناحية

$$\text{تقاس وحدة الأشعة بالجول/م}^2 \text{ أو ملل جول/سم}^2 \text{ أو ملل وات . ثانية /سم}^2$$

$$10 \text{ J/m}^2 = 1 \text{ mj/cm}^2 = 1 \text{ mWs /cm}^2$$

UV dose = average UV intensity x retention time seconds

$$\text{Retention time seconds} = \frac{\text{net reactor volume per channel}}{\text{flow per channel}}$$

$$\text{Flow per channel litres / second} = \frac{\text{flow m}^3}{\text{No of channel} \times 24 \times 60 \times 60}$$

يوجد قناة واحدة بالمحطة يمكن حساب معدل التدفق من المعادلة السابقة

$$\text{Flow per channel litres / second} = \frac{100000 \text{ m}^3 \times 1000}{1 \times 24 \times 60 \times 60} = 1157.4$$

حجم مفاعل الاشعة الموجود بالمحطة هو 291685.24 cm^3 وبالتالي يمكن حساب زمن المكث

$$\text{Retention time seconds} = \frac{291685.24 \text{ cm}^3}{1157.4 \text{ litres second} \times 1000} = 0.252 \text{ second}$$

شدة الضوء عند متوسط نفاذية 65% هو $151109.02 \mu\text{w.s/cm}^2$

UV dose = average UV intensity x retention time seconds

UV dose = $151109.02 \mu\text{w.s/cm}^2 \times 0.252 \text{ second} = 38079.46$

UV dose = $38.079 \mu\text{w.s/cm}^2$

هذه الجرعة كافية لتحقيق تطهير جيد للمياه المعالجة

تعتمد آلية التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية على الطاقة الضوئية للأشعة التي تؤثر بشكل مباشر

على الاحماض النووية للخلية الحية .





وحدة التطهير بالاشعة فوق البنفسجية

يقل تأثير الأشعة على الكائنات الحية كلما زادت العكارة نتيجة زيادة المواد الصلبة العالقة بالمياه وذلك لأن الأشعة اما يحدث لها انكسار أو يحدث لها انعكاس أو يتم امتصاصها بالمواد الصلبة العالقة وبالتالي تفقد جزء كبير من طاقة الشعاع هذا فضلا على ان المواد الصلبة ستحمي الكائنات الحية من تأثير الأشعة ؛ تم تصميم وحدة التطهير للعمل عند تركيز من المواد العالقة يصل اقصاه الى 10 ملجم/ل ومتوسط 5 ملجم/ل وتركيز BOD اقصاه 10 ملجم/ل ونفاذية للضوء 65%-70% لكل سم عند طول موجي 253.7 nm على أن يكون متوسط عدد الخلايا البكتيرية الغائطية 23 خلية/100 في خلال شهر .

يختلف تأثير الأشعة فوق البنفسجية باختلاف الكائن الحي المستهدف فلا تتأثر كل الكائنات الحية بالمياه المعالجة بنفس الدرجة بالأشعة فمنها من يتأثر بالجرعات المنخفضة ومنها من يقاوم الجرعات العالية من الأشعة فالبكتريا المكونة للابواغ والموجبة لصبغ جرام تكون أكثر

مقاومة للأشعة من البكتريا السالبة لصبغة جرام كما تعتبر الفيروسات هي الأكثر مقاومة للأشعة تليها البكتريا ثم الطفيليات مثل حويصلات الكريبتوسبورديوم وأكياس الجارديا .
تحدد جرعة الأشعة الفعالة وتتأثر بعدة عوامل منها شدة الإضاءة وهي تتبع قانون الانعكاس مثلها مثل باقي الأطوال الموجية في المدى من $1-200 \text{ mW/cm}^2$ ؛ والامتصاص بواسطة المواد الصلبة العالقة حيث يلزم زيادة زمن التلامس أو شدة الضوء لتحقيق تطهير فعال في حال زيادة تركيز المواد الصلبة العالقة وجزير بالذكر ان التعقيم بالأشعة يكون تأثير درجة الحرارة عليه محدود فلا يرتبط تأثير مثلاً البكتريوفاج male specific bacteriophage بالأشعة إطلاقاً بدرجة الحرارة كما لا تتأثر بدرجة الحموضة ويمكنها التأثير على النشاط الحيوي للميكروبات في درجة حموضة تتراوح من 6-9
يقول تأثير الأشعة بزيادة تركيز الحديد والمنجنيز حيث يترسبان على زجاج اللمبات ويقللان من نفاذية الضوء وتأثيره على الميكروبات خصوصاً إذا تم حقن الكلور قبل لمبات الأشعة حيث يؤكسد الكلور الحديد والمنجنيز ويتسبب على زجاج اللمبات ويقلل من نفاذية الضوء لذلك إذا لزم الأمر يجب حقن الكلور بعد لمبات الأشعة أو معالجة الحديد والمنجنيز باستخدام برمنجات البوتاسيوم في أحواض الترسيب للتخلص من الحديد والمنجنيز قبل الترشيح .
تحتاج الفيروسات الى طاقة قدرها 200 mWs/cm^2 على الأقل وحيث أن تأثير الأشعة يكون ضعيف على الفيروسات ويستلزم طاقة هائلة للتخلص منها يمكن استخدام الكلور مع التطهير بالأشعة ويتم حقنه بعد الأشعة الفوق بنفسجية

Ultraviolet disinfection monitoring report / /2017

Date	Flow m ³ /hr.	Retention time	Transmittance %	intensity	Dose mW.s/cm ²
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					

Chemist

Ibrahim elshamy

operator

1-9 خزان المياه الراقية

Clear water tank

يوجد أربعة مضخات تنقل المياه بعد التطهير بالاشعة إلى خزان المياه الراقية أو المطهرة intermediate pump ثلاثة قيد الخدمة والرابعة احتياطي والهدف منها هو إمكانية إنشاء خزان المياه الراقية على أعلى مستوى للسطح وتوفير المياه اللازمة للغسيل العكسي للمرشحات ؛ سعة المضخة 1400 متر مكعب للساعة وهي مضخات غاطسة submersed mixed flow pump وحجم الحوض 112.500 متر مكعب ويوجد عدد 2 حساس للتحكم في تشغيل المضخات عند منسوب يوف لمضخات الغسيل العكسي كمية من المياه تكفي لعملية الغسيل العكسي للمرشحات

1-10 محطة مضخات الري

Irrigation pump station

تم تزويدها بأربعة مضخات ثلاثة قيد الخدمة والرابعة احتياطي وهي مضخات طاردة مركزية سعة المضخة 833 متر مكعب لساعة ؛ تتدفق المياه المعالجة والمطهرة بالجاذبية الى خزان تجميع المنتج النهائي ؛ يوجد حساس لتشغيل المضخات وإيقافها عند أعلى وأقل منسوب للمياه بالخزان



مضخات الري



مضخات الخدمة

الفصل الثاني



مراحل معالجة الحمأة

Sludge treatment stages

مقدمة

الهدف من عمليات معالجة الحمأة هو تقليل حجم الحمأة الناتجة أولا حتى يسهل تداولها واستخدامها أو دفنها وثانيا لتقليل أو القضاء على الميكروبات التي تحتوي عليها طبقا للطرق المستخدمة في عملية المعالجة ؛ تتم عملية معالجة الحمأة في محطة معالجة مياه الصرف الصحي بمحافظة ينبع على ثلاث مراحل ؛ المرحلة الأولى تتخين أو تغليظ الحمأة في خزان تجميع الحمأة ثم نزع المياه من الحمأة المغلظة ثم تجفيف الحمأة منزوعة المياه .

1-2 ضخ الحمأة الزائدة excess sludge pumping

تنتقل الحمأة بعد ترسيبها بأحواض الترسيب إلى محطة مضخات الحمأة الزائدة والراجعة حيث تقوم مضخات الحمأة الراجعة بتدوير كمية الحمأة اللازمة للحفاظ على كفاءة وجودة المعالجة البيولوجية عن طريق توفير القدر الكافي من الكائنات الحية اللازمة للمعالجة وطبقا للمواصفات التصميمية للمحطة يتم تدوير كمية من الحمأة تساوي 75% من معدل التدفق اليومي للمحطة ويمكن زيادة أو نقص هذا المعدل حسب ظروف التشغيل ونوعية المياه الخام (تتراوح نسبة الحمأة الراجعة في أنظمة التهوية المطولة من 50% - 150% وقد تصل الى 200%) ولهذا الغرض تم تزويد المحطة بعدد 3 مضخات غاطسة سعة المضخة 1250 متر مكعب للساعة يعمل إثنين منها والثالثة احتياطي ؛ بينما يتم التخلص من الحمأة الزائدة عن حاجة المعالجة إلى مثن الحمأة بالجاذبية gravity thickener وهو يعمل في ذات الوقت كخزان تجميع للحمأة الزائدة .

في حالة متوسط التدفق اليومي للمياه الخام يكون إنتاجية الحمأة 18043 كجم/يوم ويكون تركيز الحمأة الزائدة 7.06 kg/m^3 كما سنوضح لاحقا حسابات تركيزات الحمأة الزائدة

والراجعة وفي أحواض التهوية MLSS بالتفصيل وبالتالي فإن كمية الحمأة الناتجة يوميا بالمتر المكعب

$$\text{Sludge production m}^3/\text{d} = \frac{18043 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{7.06 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 2556 \text{ m}^3/\text{d}$$

وعند أعلى تدفق يومي تكون انتاجية الحمأة هي 30072 كجم/يوم وتكون انتاجية الحمأة بالمتر المكعب ومن ثم كمية الحمأة الزائدة التي يجب اخراجها من النظام هي :

$$\text{Sludge production m}^3/\text{d} = \frac{30072 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{7.06 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 4459.4 \text{ m}^3/\text{d}$$

2-2 خزان تجميع الحمأة والمثخن بالجاذبية **excess sludge tank and gravity thickener**

تم تصميم الخزان لكي يستوعب الحد الأقصى من الحمأة الزائدة بسعة 1413 متر مكعب بحيث يتم تثخين الحمأة وتترسب الى قاع الحوض بينما يقوم خط تصريف المياه الناتجة من التثخين الى خط التصريف الرئيس بالمحطة ومنه الى مدخل المحطة ليعاد معالجة المياه مع المياه الخام الواردة للمحطة (لاحظ أن وحدة الاحزمة الضاغطة تعمل على مدار الاسبوع وتسحب حمأة من الخزان باستمرار وبالتالي سيكون الحجم كافي لأعلى معدل انتاج للحمأة).



خزان تجميع الحمأة/مخزن الحمأة بالجاذبية

زمن المكث في مخففات الجاذبية عادة 24 ساعة ونسبة المواد الصلبة بالحمأة نتيجة التثخين تتراوح من 2-3 % وحيث أن الخزان سيعمل كخزان للحمأة ومخزن بالجاذبية فقد تم تصميم حجم الخزان بحيث يسمح بزمن مكث 40 ساعة ولتفادي قيام البكتريا المجمعة للفوسفور بإخراج الفوسفور اذا توفر لها البيئة اللاهوائية بالخزان فقد تم تزويد الخزان بخط ضخ للهواء من خلال أحد نوافخ الهواء التي تستخدم أيضا لوحدة الأحزمة الضاغطة كما تم تزويده بعدد 2 خلاط

لتقليل الحمأة لهذا الغرض كما سيكون الهواء مفيد في زيادة تثبيت الحمأة ومنع الروائح الكريهة أثناء التخزين

2-3 نزع المياه من الحمأة (المواد الصلبة العضوية) - الحزام الضاغط

Sludge (Biosolids) dewatering Belt press

عملية نزع المياه من المواد الصلبة العضوية الهدف منه تقليل حجم المواد الصلبة بقدر الإمكان الا انه يتبقى كمية كبيرة من المياه بعد عملية نزع المياه تصل الى 70% أو اقل من ذلك.

2-3-1 حسابات الأحزمة الضاغطة (أحزمة العصر) belt filter press



الأحزمة العاصرة أو الضاغطة belt press

هي عبارة عن احزمة مثقبة تعصر المواد الصلبة بينها ليخرج الماء من الثقوب وتحمل المواد الصلبة التي تم نزع المياه منها او تجفيفها على سيور خارج الوحدة لدفنها أو اكمال المعالجة .

الوحدة عبارة عن أحزمة ضاغطة (عاصرة) وهي تتكون من جزئين هما برميل التثخين الدوار و prethickening thieve drum والحزام الضاغط ؛ مهمة البرميل الدوار هي زيادة تغليظ و تثخين الحمأة قبيل عملية العصر بالحزام الضاغط وتصل نسبة التثخين الى 6% - 8%
تم تصميم الأحزمة الضاغطة على أساس حمل هيدروليكي $15 \text{ m}^3/\text{hr} <$ لكل حزام ضاغط و حمل حمأة أقل $220 \text{ kg DS/hr} <$ و لتعمل 6 أيام في الاسبوع
وبالتالي عرض الحزام هو

$$\text{Belt width} = \frac{701 \text{ m}^3/\text{d}}{15 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m} \times 16\text{hr}} = 2.92 \text{ m}$$

ويكون العرض الكلي طبقا لحمل الحمأة هو

$$\text{Belt width} = \frac{21050 \text{ m}^3/\text{d}}{220\text{m}^3/\text{hr}/\text{m} \times 16\text{hr}} = 5.98 \text{ m}$$

وحيث أنها تستقبل كمية من الحمأة هي 18043 كجم لليوم فإن كمية الحمأة التي سوف تستقبلها هي:

$$\text{Dewatering sludge quantity} = \frac{18043 \times 7}{6} = 21050 \text{ DSkg/d} = 877 \text{ DSkg/hr}$$

يوجد ثلاثة ماكينات حزام ضاغط تستخدم كلها لنزع المياه من الحمأة ساعة تحميل الحمأة للماكينة الواحدة $400-480 \text{ kg DS/hr}$ وسعة التدفق $14-25 \text{ m}^3/\text{h}$ عند تركيز مواد صلبة بالحمأة 2%-4% وبالتالي سيكون الحمل الهيدروليكي لكل وحدة
يتم حساب الحمل الهيدروليكي لها من العلاقة التالية :

$$\text{Hydraulic loading rate } \text{m}^3 / \text{m} = \frac{\text{flow} \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}}{\text{belt width m}}$$

يتم حساب معدل تغذية المواد الصلبة من العلاقة التالية :

$$\text{Biosolids feed rate kg/ hr} = \frac{375 \text{ chemical } 375 \text{ to be dewatered } \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{\text{operating time } \frac{\text{hrs}}{\text{d}}}$$

$$\text{Biosolids feed rate kg/ hr} = \frac{21050 \text{ DSkg/d}}{16 \text{ hr}} = 1315.6 \text{ kg/hr}$$

وحساب معدل حمل المواد الصلبة من العلاقة التالية :

$$\text{Solids loading rate (kg/hr)} = \text{Feed (kg/hr)} \times (\% \text{TSS}/100)$$

$$\text{Solids loading rate (kg/hr)} = 1315.6 \text{ kg/hr} \times (2.5/100) = 32.9 \text{ kg/hr}$$

تحويل الحمل من كيلوجرام للساعة الى متر مكعب للساعة حيث نسبة المواد الصلبة 2.5%

$$\text{Sludge volume} = \frac{21050 \text{ kg/hr}}{25.000 \text{ kg/m}^3} = 842 \text{ m}^3/\text{d}$$

وحساب معدل التغذية بالمادة المساعدة على التنديف من العلاقة :

$$\text{polymer feed kg/day} = \frac{\text{flocculants } \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1000}{1000000} \times \text{feed rate } \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{24 \frac{\text{hrs}}{\text{d}}}$$

$$\text{polymer feed kg/day} = \frac{1000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1000}{1000000} \times 842 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{24 \frac{\text{hrs}}{\text{d}}} = 34.33 \text{ kg/d} = 1.43 \text{ kg/hr}$$

إذا كان التشغيل لمدة 16 ساعة يكون الكمية هي 2.15 kg/hr

وبمجرد معرفة معدل حمل المواد الصلبة (ton/hr) ومعدل التغذية بمادة التنديف (kg/hr) يمكن حساب

جرعة مادة التنديف kg/ton كالتالي :

$$\text{polymer dosage kg/ton} = \frac{\text{flocculant} \frac{\text{kg}}{\text{hr}}}{\text{solids treated} \frac{\text{ton}}{\text{hr}}}$$

$$\text{polymer dosage kg/ton} = \frac{2.15 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}}{\frac{1315.6 \text{ ton}}{1000 \text{ hr}}} = 1.634 \text{ kg/Dston}$$

$$\text{Hydraulic load} = \frac{701 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{16 \text{ hr} \times 3 \text{ belt}} = 14.6 \text{ m}^3/\text{hr}$$

وحمل الحمأة هو

$$\text{Sludge load} = \frac{21050 \text{ DS} \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{16 \text{ hr} \times 3 \text{ belt}} = 438 \text{ DS kg ss/unit}$$

تصل نسبة المواد الصلبة في الحمأة بعد نزع المياه منها إلى 18%-20% وبالتالي فإن كمية الحمأة المنتجة بعد نزع المياه منها تكون في اسبوع 7 أيام

$$\text{Average daily dewatering sludge production} = \frac{18043 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{180 \text{ kg/m}^3} = 100 \text{ m}^3/\text{d}$$

وفي خلال 6 ايام تشغيل تكون

$$\text{Average daily dewatering sludge production} = \frac{100 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 7}{6} = 117 \text{ m}^3/\text{d}$$

2-3-2 مضخات تغذية الأحزمة الضاغطة feeding pump

تم تزويد كل حزام ضاغط بمضخة تغذية من نوع مضخات الإزاحة الموجبة سعة المضخة 25 متر مكعب للساعة وهذا يناسب تدفق الحمأة الواردة التي تبلغ 701 متر مكعب لليوم اذا تم تشغيله لمدة 16 ساعة لمدة 6 أيام في الأسبوع لأن سعة المضخة المطلوب لهذه الظروف هو

$$\text{Required pump capacity} = \frac{701 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{16 \text{ hr} \times 3 \text{ pump}} = 14.6 \text{ m}^3/\text{hr}$$



مضخات تغذية الاحزمة الضاغطة بالحماة

3-3-2 وحدة تجهيز وتجريع البوليمر polymer preparation and dosing

يستخدم البوليمر لعملية تسهيل وتحسين عملية نزع المياه من الحمأة وتتراوح جرعة البوليمر اللازم لنزع المياه من الحمأة 3-6 kg / ton DS





وحدة تجهيز البوليمر



مضخات ضخ البوليمر

يمكن حساب كمية البوليمر اللازمة لنزع المياه من الحمأة بالمحطة يوميا لوحدات الأحزمة
الضاغطة الثلاثة كالتالي :

$$3(\text{ units }) \times 0.48 \text{ ton DS/hr} \times 6\text{kg/ ton DS} = 8.64 \text{ kg/hr}$$

وحيث أن البوليمر يذخ في صورة محلول يفضل أن يكون تركيزه % 0.1 فإن الكمية بالتر ستكون 8640 لتر / ساعة ؛ تم تزويد وحد نزع المياه من الحمأة بوحدتين تحضير و تجريع سعة التجريع لكل منهما هي 900 لتر للساعة ويستوعب الخزان 9 كيلوجرام من البوليمر الصلب بمعنى أن اللتر سيحتوي على $0.01\text{kg/L}=10 \text{ g/L}= 1\text{g}/100 \text{ mL}$ ولكي يتم تخفيف المحلول للحصول على تركيز % 0.1 يلزم تخفيفه عشرة مرات أي يضاف لكل ملل من المحلول 90 ملل مياه أو كل لتر من المحلول 90 لتر من المياه

يتم حساب كمية البوليمر اللازمة في اليوم لعملية التنديف او عملية فصل المياه من الحمأة بالنسبة لوحدات نزع الحمأة على أساس أن كمية البوليمر النقي اللازمة لكل طن حمأة جافة منتجة هو 6 كجم من البوليمر وهي الجرعة المناسبة 6 kg / ton DS

وحيث أنها تستقبل كمية من الحمأة هي 18043 كجم لليوم هو إنتاجية الحمأة المتوقعة فإن كمية الحمأة التي سوف تستقبلها في ستة أيام من التشغيل اسبوعيا هي :

$$\text{Dewatering sludge quantity} = \frac{18043 \times 7}{6} = 21050 \text{ DSkg/d}=21.05 \text{ DS ton/d}$$

كمية البوليمر بالكيلوجرام :

$$\text{Polymer wight kg/ton DS} = 21.05 \text{ DS ton/d} \times 1.634 \text{ kg/Dston} = 34.40 \text{ kg/d}$$

يوجد ثلاثة ماكينات حزام ضاغط تستخدم كلها لنزع المياه من الحمأة سعة تحميل الحمأة للماكينة الواحدة 400-480 kg DS/hr وسعة التدفق $14-25 \text{ m}^3/\text{h}$ عند تركيز مواد صلبة بالحمأة % 2-4 وبالتالي:

4-3-2 السيور الناقله belt covyer

يوجد عدد 2 سير ناقل الأول يحمل الحمأة منزوعة المياه من وحدات الحزام الضاغط الى خارج المبنى والثاني يحملها إما الى سيارة نقل الحمأة أو الى خزان تغذية مجفف الحمأة وتبلغ سعة الحزام 15 متر مكعب للساعة علما ان كمية الحمأة الناتجة فعليا هي بفرض ان نسبة المواد الصلبة 18% هي :

$$= 8m^3/hr \frac{belt \times 0.48 \text{ ton DS/hr}}{0.18}$$



سير نقل الحمأة من الاحزمة الضاغطة الى خارج المبنى

المياه الناتجة من عملية العصر centerate يكون بها تركيز عالي نسبيا من المواد الصلبة ويمكن حساب كمية المياه الناتجة من العصر وكمية المواد الصلبة بها كالتالي :

كمية الحمأة المنتجة باليوم 1843 kg DS/ d

تركيز المواد الصلبة بالحمأة 7.06 kg/m^3 DS concentration

تركيز المواد الصلبة بالحمأة بعد نزع المياه

DS concentration after dewatering = 180 kg/ m³ (18%)

وبالتالي يكون حجم المياه العكرة الناتجة

$$\text{Turbid water (Centrate) volume} = \frac{18043}{7.06} - \frac{18043}{180} = 2450 \text{ m}^3/\text{d}$$

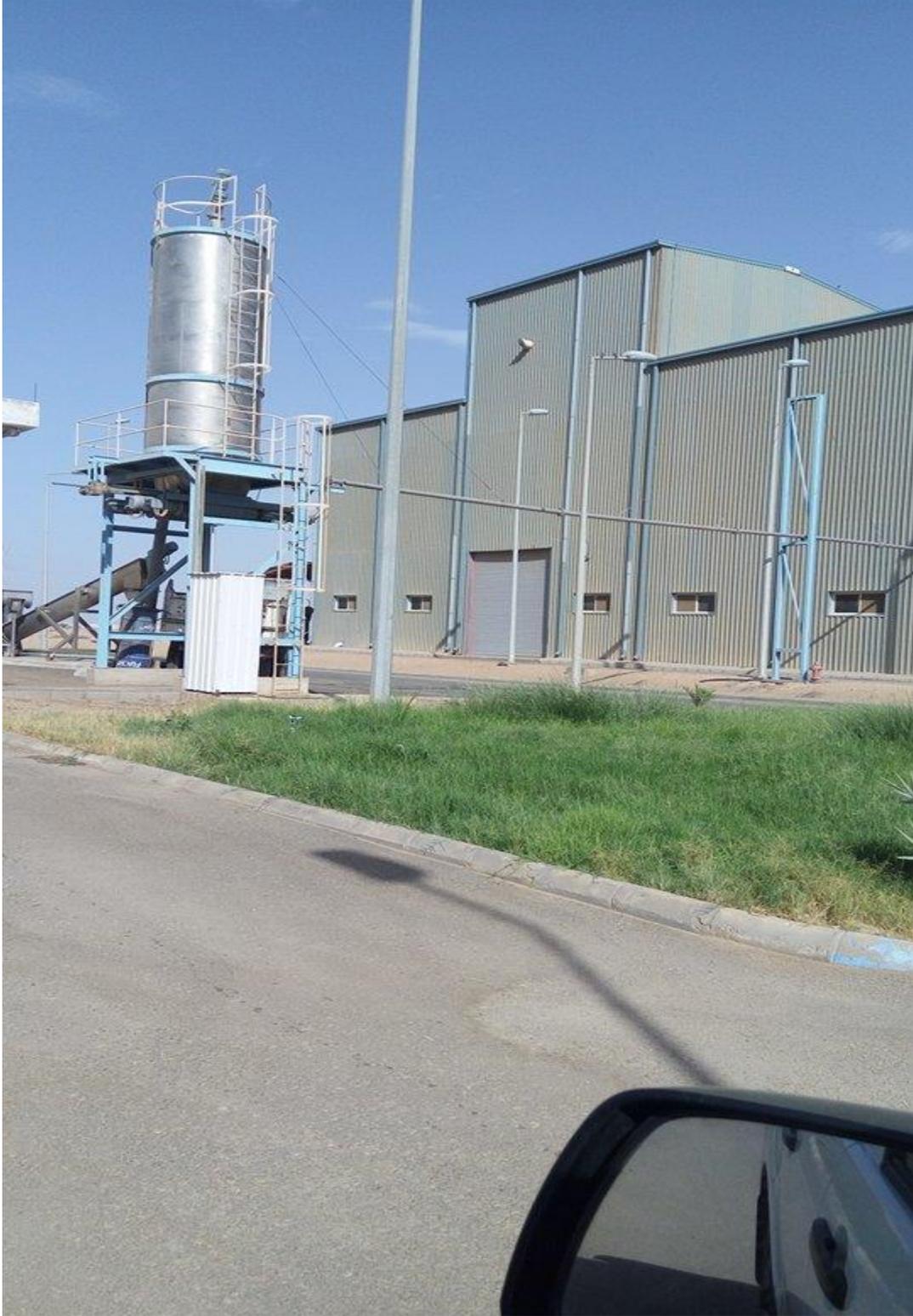
الحمل العضوي BOD للمياه العكرة يكون 100 ملجم/ل ويعادل 250 كجم/يوم ونيتروجين

كداهل الكلي 20 ملجم/ل ويعادل 50 كجم/يوم



سير نقل الحمأة من المبنى الى سيارة نقل الحمأة أو الى وحدة التجفيف

تنتقل الحمأة بعد نزع المياه منها إلى مرحلة تجفيف الحمأة بالمجفف



2-3-5 إجراءات التشغيل operation procedures

1- بعد استقرار الحمأة في المثخن الفترة اللازمة لتغليظ الحمأة تترسب الحمأة أسفل الخزان بينما تتدفق المياه الزائدة عن مستوى ماسورة الفائض الى شبكة التصريف بالمحطة ؛ يكون نسبة المواد الصلبة في الحمأة المغلظة 2-3% .

يقوم مشغل الوحدة يوميا على فترات خلال اليوم بتشغيل نافخ الهواء والخلاطات لمنع النشاط البكتيري في البيئة اللاهوائية التي يمكن ان تتوفر بالخزان وتؤدي الى إخراج الفوسفور من البكتريا المجمعة للفسفور (ان حدث ذلك سينتقل الفوسفور مرة أخرى الى مدخل المحطة ويختلط بالمياه الخام ثم الى احواض التهوية وكأن معالجة الفوسفور لم تحدث) كما يزيد من تثبيت الحمأة ومنع انبعاث روائح كريهه .

2- قبيل بدء تشغيل الوحدة (قبل التشغيل بساعة) يتم ضخ الهواء مع التقليب ثم ترك الحمأة تترسب مرة أخرى

3- في هذه الأثناء يقوم المشغل بتجهز محلول البوليمر حيث يقوم بوزن كمية البوليمر اللازمة لتحسين نزع المياه من الحمأة والتي يقدرها الكيميائي المختص طبقا لنسبة المواد الصلبة بالحمأة لتحديد الجرعة المثالية للعملية عن طريق إجراء إختبار الكؤوس jar test ؛ وبعد وزن كمية البوليمر المناسبة يتم سحب الكمية بالفاكيوم (تفريغ الهواء) ثم تجرير المادة الصلبة بكميات بسيطة بشكل مستمر الى خزان تجهيز البوليمر السائل الذي تم تعبئته بالمياه مع تشغيل خلاط التقليب لإذابة البوليمر تماما

يتم إذابة البوليمر بخلاطة جيدة بخلاط بطيء السرعة (440-500 rpm) لمدة نصف ساعة على الأقل

4- يقوم المشغل أثناء تجهيز البوليمر السائل بطريقة أوتوماتيكية بتشغيل نافخ الهواء وفتح محبس الهواء الخاص بشد الحزام الضاغط لتحقيق ضغط مناسب belt pressure tension لعملية عصر الحمأة وهو 4 بار يستطيع المشغل قراءة ذلك من عداد قياس الضغط
5- ثم يقوم المشغل بتشغيل البرميل الدوار rotating thieve drum الذي يعمل على زيادة تغليظ الحمأة قبل العصر لتصل نسبة المواد الصلبة بالحمأة 6-8%



البرميل الدوار rotating thieve drum

6- يبدأ المشغل بعد الإنتهاء من تجهيز البوليمر بتشغيل مضخات تجريع البوليمر ومضخات تغذية الحمأة وضبط كمية المياه التي يتم خلطها مع محلول البوليمر لتحديد التركيز المناسب من البوليمر اللازم لعملية فصل الحمأة طبقاً لأختبار الكؤوس كما ذكرنا
يتم خلط البوليمر مع الحمأة في خزان الخلط المزود بخلاط لتقليب محلول البوايمر مع الحمأة حيث يتم فصل الحمأة في صورة ندف كبيرة متماسكة ويمر خليط المياه المنزوعة مع الندف

الكبيرة حيث يتم ضغط وعصر الحمأة بين 2 رولة تدور عكس بعضهما تقوم بتدوير الحزام الضاغط .



خزان خلط الحمأة مع البوليمر

البوليمر الكاتيوني هو مركب موجب الشحنة كبير الوزن الجزيئي بينما ندف الحمأة تحمل شحنات سالبة فينتج من التقاء البوليمر والندف تجاذب كهربائي ثابت electrostatic attraction مما يجعل جزئ البوليمر والندف جزئ كبير ثقيل الوزن يسهل ترسيبه كما أن البوليمر يجذب الندف الصغيرة المشتتة في بيئة الحمأة مما يجعل المياه راتقة فتتفصل الحمأة عن المياه ؛ لكن تظل نسبة المياه المحتجزة داخل الندف التي تكونت كبيرة جدا ويكون البوليمر نجح فقط في تقليل كمية المياه الحرة في بيئة الندف .

يوجد عدة أنواع من المياه في خليط الحمأة النشطة MLSS
*المياه الحرة free water وهذا الماء يتم فصله من الحمأة بالترسيب في حوض الترسيب وفي
المثخن thickener

*المياه المرتبطة bounding water وهي التي ترتبط مع الندف بروابط كيميائية أو تكون ضمن غشاء الخلايا البكتيرية وهذه المياه الموجودة في غشاء البكتريا لا يمكن فصلها بالوسائل الميكانيكية المستخدمة مثل الحزام الضاغط والديكانتر وبالتالي زيادة الخلايا الحية سوف تزيد من محتوى المياه وتقلل بالطبع من نسبة المواد الصلبة في الحمأة منزوعة المياه cake sludge

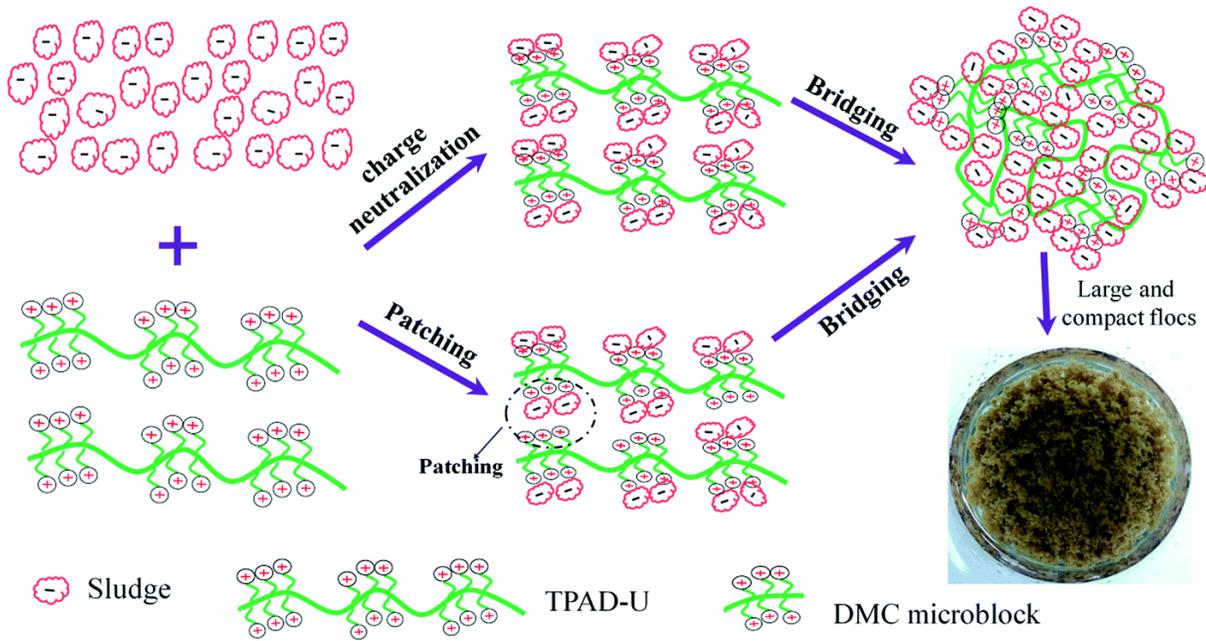
*المياه الموجودة ملاصقة لسطح حبيبات الندف viciency water وهي ترتبط مع الحبيبات بروابط استاتيكية كهربية electrodtstic bonds وهذه أيضا من الصعب نزعها بالوسائل الميكانيكية المستخدمة وكلما زادت مساحة سطح الحبيبات زادت كمية المياه هذه والتي ستخرج مع الحمأة منزوعة المياه sludge cake

*المياه البينية interstesimal water وهذه المياه تتواجد متخلله الفراغ بين الندف ويمكن نزع معظمها بالطرق الميكانيكية مع اضافة البوليمر بجرعات كافية

*المياه الشعرية capillary water وهي تتخلل الشقوق بين المواد الصلبة وتتماسك بالخاصية الشعرية وهذه من الصعب جدا نزعها بالوسائل الميكانيكية

إذا يمكن نزع بعض المياه من الحمأة والبعض يصعب نزع والبعض يستحيل نزعها بالوسائل الميكانيكية وبالتالي فالوسائل الميكانيكية تنزع مقدار قليل من المياه من الحمأة فمثلا الحزام الضاغط ينزع 18%-20% فقط من المياه بعد اضافة البوليمر

جدير بالذكر أنه لا يوجد بوليمر 100% فمثلا البولي أكريل أميد polyacrylamide يكون تركيز المادة الصلبة منه 88%-96% والباقي رطوبة ومواد خاملة نقول ذلك لأن الشركات تضيف بعض المواد الخاملة أيضا للبوليمر بهدف الربح والتجارة لتقليل تركيز المادة الفعالة وبالتالي يجب عمل لإختبارات جودة على البوليمر لتحديد الجرعة المثالية منه اللازمة لعملية نزع المياه ثم إجراء الحسابات لتحديد كمية البوليمر اللازمة والتركيز المحلولي المناسب منها .



شكل يوضح ميكانيكية فصل المياه من الحمأة بالبوليمر

لاحظ أن الخلط الزائد والعنيف يؤدي إلى تقليل الوزن الجزيئي لمحلول البوليمر بكتسير جزيئاته وبالتالي نحتاج للمزيد من البوليمر كما أن المياه التي يتم تحضير المحلول منها يجب أن تكون خالية من المواد الصلبة العالقة لأنها تستهلك جزء من المحلول وتؤثر على التركيز المطلوب ومن ثم نحتاج المزيد من البوليمر .

يتأثر فاعلية البوليمر الكاتيوني بدرجة الحموضة وبالتالي يجب أن تكون المياه المستخدمة درجة حموضتها 6.5-7.5 هي المناسبة لعمل البوليمر الكاتيوني .

من المهم أن يحدث التلامس بين كل ندفة وبين جزيئات البوليمر ومن ثم يوجد قلاب بخزان استقبال خليط البوليمر والحمأة في مقدمة الحزام الضاغط والمهم أيضاً تخفيف البوليمر لتقليل لزوجته بحيث يمكن التلامس الجيد بين الندف وجزيئات البوليمر

7- ثم يقوم المشغل بتشغيل محرك تدوير الحزام الضاغط belt drive ثم بفتح محبس شطف الحزام الضاغط بعد إكمال دورة العصر باستمرار وتخرج الحمأة بعد العصر إلى السير

الناقل بينما تخرج المياه الناتجة من العصر Centrate الى خط التصريف ثم الى مدخل المحطة .



عصر الحمأة

8- بعد الإنتهاء من عملية نزع المياه لكمية الحمأة المستهدفة يتم توقيف مضخات حقن البوليمر ومضخات تغذية الحمأة والإنتظار حتى يتم تدوير كمية الحمأة الموجودة في الحزام الضاغط تماما وفي هذه الأثناء يقوم المشغل برش المياه على الحزام من الخارج مع تشغيل مضخة شطف وحدة الحزام الضاغط لإزالة أي مواد صلبة باقية لتنظيف الحزام تماما

Laboratory operation control report

Dewatering /belt filter press operating report 1

Jan 01 – 2017

Date	Unit 1				Unit 2				Unit 3			
	Op.hrs	F.S m ³	Th SS%	cake To DS	Op.hrs	F.S m ³	Th SS%	cake To DS	Op.hrs	F.S m ³	Th SS%	cake To DS
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												

Laboratory chemist

operator

Laboratory operation control report

Dewatering /belt filter press operating report 2

Jan 01 – 2017

Date	Unit 1				Unit 2				Unit 3			
	P. dose mg/l	Centrate SS mg/l	%WAS S	%Cake S	P. dose mg/l	Centrate SS mg/l	%WAS S	%Cake S	P. dose mg/l	Centrate SS mg/l	%WAS S	%Cake S
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												

Laboratory chemist

operator

الفصل الثالث



إجراءات بدء التشغيل في الظروف الإستثنائية والظروف الطبيعية وفقا للمعايير التصميمية

سوف نوضح الآن بالحسابات الإجراءات الأولية والقياسات والحسابات التي يجب عملها قبيل عملية التشغيل في حالة توفر المعايير التصميمية وأيضا عند عدم توفر هذه المعايير أو إختلافها ؛ مثلا في حالة نقص معدل لتدفق اليومي عن التصميمي أو تغير تركيز أيضا من المعايير التي تم تصميم المحطة عليها مثلا مثل تركيز الأكسجين الحيوي الممتص BOD5 أو تركيز المواد الصلبة العالقة لمياه الخام .. الخ:

3-1 تشغيل المحطة بمعدل تدفق أقل من التصميمي ومعايير مياه تختلف عن المعايير التصميمية

ذكرنا من قبل أن المحطات يتم تصميمها طبقا لعدة عوامل حتى يمكن تطويع الكائنات الحية للقيام بعملية المعالجة بسهولة ومنها متوسط معدل تدفق للمياه الخام وحركية الكائنات الحية والمعايير الكيميائية والفيزيائية التي تنتج من التحاليل ؛ لكن هل يلتزم المشغل بالمعايير التصميمية مثل تركيزات الحمأة في أحواض التهوية وحوض الترسيب النهائي وعمر الحمأة التصميمي ... الخ وغيرها من المعايير التصميمية في حال إختلاف معدل التدفق الوارد عن التصميمي وإختلاف معايير المياه الخام الواردة؟؟ وهل يتم إدخال كل أحواض التهوية والترسيب في الخدمة لأي معدل تدفق وارد صغيرا كان أو كبيرا؟؟

الإجابة هي لا يمكن تطبيق المعايير التصميمية تماما ولكن يقوم المشغل بتغيير المعايير بما يتناسب الحركية البيولوجية للكائنات ويمكنها من القيام بمهامها في المعالجة طبقا للمتغيرات الواقعية وسوف نشرح كيف يتم ذلك .

مثال: تعيين تركيز MLSS الواجب توافره في حوض تهوية واحد يلزم لعملية بدء التشغيل وبمعايير قد تختلف عن المعايير التصميمية

المواصفات التصميمية Design Conditions

ذكرنا سابقا المواصفات التصميمية للمحطة ولكن هنا سنأخذ بعض المعايير التي تم تصميم المحطة عليها

التدفق : 60000 م³ /يوم

تركيز MLSS : 3524 ملجم/ل

تركيز BOD 300 ملجم/ل

المواصفات الواقعية المستخدمة Actual Conditions

التدفق : 6000 م³ /يوم

تركيز BOD : 265 ملجم/ل

تركيز الأكسجين الحيوي الممتص من تحليل عينة من المياه الخام أو من المياه المروقة

لحوض الترسيب الابتدائي إن وجد أو من نسبة BOD5/COD

يمكن حساب أقل تركيز للخليط المتخمر للمواد الصلبة التي يجب ان يوجد بحوض التهوية لكي

نبدأ عملية التشغيل من العلاقة التالية

Actual minimum Start-Up MLSS Concentration for a Single Basin= Design MLSS concentration for

$$\text{Aeration basin to be started} \times \frac{\text{Actual Flow to the Basin}}{\text{Design Flow to the Basin}} \times \frac{\text{Actual BOD Concentration}}{\text{Design BOD Concentration}}$$

$$3524 \times \frac{6000}{20000} \times \frac{265}{300} = 933.86 \text{ mg/l}$$

يمكن تعيين تركيز MLSS في حال استخدام أكثر من حوض تهوية أيضا كالتالي :

تم تصميم 3 أحواض تهوية بسعة اجمالية 47815 متر مكعب وسعة الأحواض على التوالي من رقم 1-3 هي 16078 ؛ 15981 ؛ 15756 م³ لكل حوض

المواصفات التصميمية Design Conditions

التدفق : 60000 م³ /يوم

تركيز MLSS : 3524 ملجم/ل

تركيز BOD 300 ملجم/ل

الحجم الكلي للأحواض العشرة : 47815 م³

المواصفات الواقعية المستخدمة Actual Conditions

التدفق : 32000 م³ /يوم

تركيز BOD : 280 ملجم/ل

عدد الأحواض التي يجب استخدامها يمكن تحديدها من معدل التدفق وحيث أن التدفق هو 60000 م³ / يوم لعدد ثلاثة أحواض أي أن نصيب الحوض 20000 م³ / يوم تقريبا وبالتالي اذا كان التدفق الواقعي أثناء التشغيل هو 32000 م³ بقسمة التدفق الواقعي على سعة الحوض نجد أنها 1.6 حوض وبالتالي نحتاج 2 أحواض يجب أن تكون بالخدمة عند بداية التشغيل والتي ستعطي نسبة F /M أفضل من أن يتم تشغيل الأحواض الثلاثة أو من تشغيل حوض واحد

2-3 تكوين الحمأة النشطة activated sludge formation

يمكن بدء عملية الحمأة النشطة بأحد طريقتين أولى هو تلقيح أحواض التهوية بحمأة نشطة جاهزة من محطة قيد التشغيل والثانية بتكوين الحمأة النشطة من مياه الصرف الخام

الطريقة الأولى : تلقيح أحواض التهوية بحمأة نشطة من محطة أخرى

يتم تلقيح أحواض التهوية بحمأة نشطة جاهزة بحيث يكون تركيز الحمأة بالحوض MLSS على الأقل 500 ملجم/ل ويجب أن يكون الأكسجين الذائب بالحوض 2-3 ملجم/ل كما يجب أن يكون معدل التدفق الوارد لحوض التهوية في هذه الأثناء 10% من إجمالي معدل التدفق الوارد للمحطة ويتم زيادته بنسبة 10% يوميا إذا لم يكن هناك مانع يعوق الإجراء .

الطريقة الثانية : استخدام المياه الخام

في هذه الطريقة يتم ملئ حوض التهوية بالمياه الخام (أو فتح خط الإحتياط by pass في حالة وجود حوض ترسيب ابتدائي) حيث أن المياه الخام تحتوي على كمية من الكائنات الدقيقة التي ستقوم بتكوين الحمأة النشطة ؛ يجب تشغيل نوافخ الهواء قبل دخول المياه الخام للحوض حتى نتجنب إنسداد فواني الهواء وبحيث توفر أكسجين ذائب في حدود 2-3 ملجم/ل ؛ وإن أمكن يتم دخول المياه الخام في 8 ساعات وفي وجود تشغيل لنوافخ الهواء لتوفير الأكسجين الذائب والتقليب أيضا وبعد 7 ساعات يتم إيقاف النوافخ وترك المياه حتى يترسب ما بها من مواد صلبة لمدة من 30-60 دقيقة قبل السماح للمزيد من المياه الخام بالدخول الى الحوض لكي يزيج المياه الرائقة من حوض التهوية الى المروك الثانوي ؛ ثم يتم إعادة تهوية الخليط بحوض التهوية ثم السماح له بالترسيب مره أخرى كما سبق ويتم الإستمرار في هذه العملية حتى يصل تركيز MLSS 500 ملجم/ل بالحوض وهو التركيز الواجب توافره قبل بدء

عملية التدفق المستمر للعملية حتى نصل الى التركيز المناسب حسب التصميمي للمحطة أو الحسابي حسب معدل التدفق الوارد للمحطة (أقل تركيز يجب أن يتوفر لعملية المعالجة) كما يجب متابعة تركيز الأكسجين الذائب باستمرار حتى يكون في الحدود اللازمة للنشاط الحيوي للكائنات الحية بالحوض .

وبعض النظر عن الطريقة المستخدمة لبدء التشغيل لا يتم التخلص من أي كمية حمأة زائدة إطلاقاً في مرحلة بدء التشغيل ويتم تشغيل مضخات الحمأة الراجعة بحيث لا يتكون أي غطاء حمأة في حوض الترسيب بل ستكون كل الحمأة المتكونة راجعة الى حوض التهوية .

بمجرد تكون التركيز المناسب من MLSS بحوض التهوية لمعدل التدفق الوارد للمحطة يتم ضبط مضخات الحمأة الراجعة حتى يكون معدل رجوع الحمأة مناسب لتشغيل العملية بالطريقة التي تحافظ على معدل مناسب من الميكروبات يتناسب مع كمية الغذاء الواردة بالمياه الخام . يمكن حساب وضبط معدل رجوع الحمأة من خلال إختبار ترسيب الحمأة كالتالي :

معدل ضخ الحمأة الراجعة = النسبة المئوية ل MLSS خلال 60 دقيقة X (معدل التدفق الداخل للمحطة + معدل تدفق الحمأة الراجعة) أو ضبطة طبقاً للتصميمي

وبمجرد تقدير معدل ضخ الحمأة الراجعة ستبدأ طبقة الحمأة التي تسمى غطاء بالتكوين في حوض الترسيب الثانوي وعندما يصل سمكها الى 33 سم يتم فوق قاع حوض الترسيب نبدأ في حساب كمية الحمأة الزائدة التي يجب تخريجها .

سوف يغير معدل ضخ الحمأة الزائدة أيضاً معدل ضخ الحمأة الراجعة ويمكن حساب معدل ضخ الحمأة الزائدة كما سنوضح لاحقاً سواء في حال التشغيل بمعدل التدفق التصميمي أو معدل تدفق أقل من التصميمي

يجب ضبط مضخات الحمأة الراجعة والزائدة كما سبق الا أنه إذا تغيرت خواص المياه الخام فيجب تغيير تركيز MLSS المرغوب فيه ؛ يجب تقليل أو زيادة ضخ الحمأة النشطة الزائدة بحيث يتم الحفاظ على تركيز MLSS الأمثل بحوض التهوية ومن ثم تتم عملية المعالجة بأعلى كفاءة ممكنة .

عندما تصل عملية المعالجة لحالة الثبات سوف تبدأ الحمأة النشطة في الترسيب تاركة محلول رائق ليس له رائحة وثابت أيضا وسترى الندف في صورة حبيبات ذات حواف واضحة ومحددة بنية- ذهبية اللون لها رائحة التراب .

إلا أنه في بعض الأحوال أثناء بداية التشغيل يحدث بعض الأمور التي تؤدي الى كفاءة تشغيل غير جيدة ؛ يجب أن يفهم المشغل أنه لن يحصل على نتائج سريعة من أي م وسائل التحكم في عملية الحمأة النشطة والمشغل صاحب الخبرة الكبيرة سوف يكون له قيمة كبيرة عندما تنشأ هذه المشاكل أثناء عملية المعالجة .

أثناء بدء التشغيل سوف يكون المنتج الثانوي غير ثابت ويرجع ذلك ربما إلى عدم إكمال المعالجة البيولوجية لمحتويات المياه الخام ؛ يتم استخدام الكلور لتعقيم المياه الناتجة بالقدر الكافي كما لا يجب زيادة تركيز الكلور حتى لا يؤثر على الكائنات الحية في المياه المستقبلية للمياه المعالجة .

يمكن استخدام كلوريد الحديدك أو كبريتات الألومنيوم أو البوليمر لزيادة تركيز وتخثير المواد الصلبة العالقة بحوض الترسيب ان لزم الأمر لتقليل الحمل العضوي في المياه المعالجة ثانيا لتقليل خطرها على البيئة والمياه المستقبلة لها حيث يتم خلط محتويات حوض التهوية بالبوليمر قبل دخوله الى حوض الترسيب النهائي .

أثناء بدء التشغيل يكون تركيز MLSS صغير ومن المحتمل تكون رغاوي تطفو على سطح حوض التهوية وغالبا تنتج هذه الرغاوي من المنظفات الصناعية الواردة مع المياه الخام ؛ تحتوي الرغاوي على كائنات حية ومواد صلبة وشحوم ويجب السيطرة عليها فورا ويمكن تحقيق ذلك برشها بمياه صرف صحي منزلي خام كما يمكن استخدام مضادات الرغاوي بالتزامن مع ضخ مياه الصرف الصحي المنزلي الخام لتحسين الأداء وسرعة السيطرة على الرغاوي كما يمكن أن يقوم المشغل بخفض معدل التهوية مع الحفاظ على تركيز الأكسجين الذائب أثناء تكوين MLSS للتحكم في الرغاوي .

في بداية التشغيل يمكن أن تتكاثرت الحمأة نتيجة الحمل الزائد على حوض التهوية ؛ وتكثرت الحمأة مؤشر على ضعف الترسيب وعدم إنضغاط الندف أثناء تكوينها بشكل مناسب مما يزيد سمك غطاء الحمأة بحوض الترسيب النهائي وارتفاع الحمأة فوق هدار الحوض وخروجها مع المياه ؛ سوف يتناقص قدرة الحمأة على الترسيب ومن ثم سيرتفع قيمة مؤشر حجم الحمأة SVI وستكون الندف في هذه الحالة خفيفة و رقيقة أو هشه Fluffy وترجع ظاهرة تكثرت الحمأة الى الخيطيات التي تربط نفسها من ندفة الى أخرى وبالتالي تمنع تقارب الندف وإنضغاطها بصورة كافية لتكون كتل بحجم ووزن مناسب للترسيب ؛ سبب آخر لتكثرت الحمأة هو الماء المرتبط بالندف bound water والذي يحتوي البكتيريا التي تشكل الندف

مما يجعل الندف منتفخة وتقل كثافتها ؛ يرجع تكثرت الحمأة الى إنخفاض درجة الحموضة أو الأكسجين الذائب أو النيتروجين أو المخلفات الصناعية أو صرف البيارات أو التسمم أو زيادة نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M والحل في هذه الحالة هو زيادة عمر الحمأة أو تقليل نسبة F/M كما يجب مراجعة تركيزات درجة الحموضة لمعرفة سبب إنفاضاها وكذلك الأكسجين الذائب وضبط تركيزه في الأحواض وفحص معدات التهوية لمعرفة ما إذا كانت تعمل بشكل

مناسب يوفر التركيز اللازم (2-3 ملجم/ل) ؛ في حالة لإنخفاض درجة الحموضة يمكن استخدام الجير مع مساعد تخثير لرفع درجة الحموضة وتحسين خواص الترسيب ومن ثم السيطرة على تكتل أو تضخم الحمأة ؛ بالنسبة لإرتفاع نسبة F/M (إنخفاض عمر الحمأة) يمكن زيادة عمر الحمأة بتقليل معدل تخريج الحمأة الزائدة وزيادة معدل رجوع الحمأة الراجعة الى حوض التهوية والذي ينتج عنه زيادة تركيز MLSS وبالتبعية زيادة MLVSS بحوض التهوية وكل هذه الحلول سوف تؤدي الى زيادة عمر الحمأة .

يجب مراجعة بيانات التشغيل والنتائج السابقة إن وجدت وتسجيل البيانات الحالية وسبب حدوث المشكلة وكيفية حلها حتى يتثنى للمشغل حل المشاكل المستقبلية بسهولة إذا ما حدثت مجددا .

يجب ألا نخلط بين ارتفاع الحمأة وتكتل الحمأة لأنهما حالتان مختلفتان تماما ؛ في حالة إرتفاع الحمأة تكون خواص الترسيب وأيضا إنضغاط الندف جيدة وهي تنتج من زيادة زمن مكث الحمأة في حوض الترسيب مما يؤدي الى ارتفاع الحمأة في صورة قطع تتراوح في حجمها من حجم حبة البازلاء الى حجم كرة السلة مكونة رغوة أو زيد بني اللون على سطح حوض الترسيب ؛ ونتيجة لزيادة زمن مكث الحمأة بحوض الترسيب يقل الأكسجين الذائب بالحوض وبالتالي تتوفر البيئة المناسبة لعملية نزع النترتة denitrification والتي ينتج منها غاز النيتروجين شحيح الذوبان في الماء والذي يتخلل الندف مما يقلل من كثافة الحمأة ويجعلها تتصاعد الى أعلى سطح الحوض ؛ بزيادة معدل رجوع الحمأة ومعدل تخريج الحمأة سوف يقل عمر الحمأة وأيضا سوف يقل زمن مكث الحمأة بحوض الترسيب وسيتوقف ارتفاع أو تصاعد الحمأة الى سطح الحوض .

إذا كانت عملية بدء التشغيل في الشتاء ستأخذ عملية تكوين MLSS وقتا طويلا وسيتغير الحمل ومعدل التهوية بمعنى أن العملية سوف تحتاج الى تهوية أقل ومواد صلبة أكثر لزيادة

فاعلية العملية ؛ يجب أن يكون المشغل حذرا عند تغيير أسلوب التشغيل ؛ يجب أن يتم التغيير تدريجيا وخطوة بخطوة لأن التغيير السريع اذا كان خطأ سوف يبعد العملية الى مسار خاطئ سريع يترتب عليه انتقال لخطأ أكبر في الخطوة التالية .

3-3 التجهيز لبدء التشغيل

Preparation for Start-Up

يجب عند بدء تشغيل عملية الحمأة النشطة فحص ومراجعة الآتي :

3-3-1 مراجعة المنشورات والكتيبات

- 1- منشورات الشركة المصنعة لمكينات والمعدات المستخدمة في عملية المعالجة
- 2- دليل تشغيل وصيانة معدات وحدات المعالجة (المعالجة الأولية ومعالجة الإبتدائية والمعالجة الثانوية والمعالجة الثلاثية والتعقيم والتطهير ومعالجة الحمأة مثل نزع المياه وتجفيف الحمأة... الخ
- 3- قراءة طرق تشغيل الحمأة النشطة من دليل تشغيل محطات معالجة مياه الصرف لوكالة حماية البيئة الأمريكية

3-3-2 مقابلة كل من فريق المهندسين الإستشاريين وخبراء التشغيل

- 1- معرفة المواصفات التصميمية للمحطة (مثل كمية التدفق الداخلة لحواض التهوية والحمل العضوي BOD درجة الحرارة ؛ حجم حوض التهوية ؛ سعة المضخات للحمأة الراجعة والزائدة ؛ تركيز MLSS
- 2- تقدير نسبة COD/BOD (يجب قياس كلا منهما قبل أسبوع من بداية التشغيل) ؛ وحساب نسبة COD/BOD5

3-3-3 تقدير الظروف الواقعية أثناء بدء التشغيل

1-معدل التدفق الحقيقي عند بدء التشغيل

2-تقدير الحمل العضوي وتركيز BOD5 عند بدء التشغيل

3-درجة الحرارة عند بدء التشغيل

4-حجم الأحواض أو الحوض التي سوف تدخل الخدمة فعليا عند بدء التشغيل طبقا لمعدل

التدفق الحقيقي عند بدء التشغيل

3-3-4 تقدير تركيز المواد الصلبة بحوض التهوية

يتم تقدير التركيز الحقيقي MLSS المطلوب (أقل تركيز يناسب العملية تحت هذه الظروف)

لعملية بدء التشغيل بناء على المعطيات السابقة



3-4 خطوات بدء التشغيل Start-Up Procedure

توجد طريقتان لبدء عملية التشغيل وتكوين الحمأة النشطة لبدء العملية البيولوجية

3-4-1 باستخدام طريقة حمأة التلقيح seed sludge

1- يتم تشغيل نوافخ الهواء بحيث تعطي تركيز للأوكسيجين الذائب لا يقل عن 2 ملجم/ل

2- يتم تعبئة أحواض التهوية بياه الصرف الخام أو الماء

3- تضاف حمأة التلقيح النشطة بحيث يصل تركيز MLSS بحوض التهوية الى 500 ملجم/ل

على الأقل يتم ضبط التدفق لحوض التهوية بحيث يكون 10% فقط من معدل التدفق

التصميمي ثم يزداد تدريجيا بزيادة قدرها 10% يوميا من معدل التدفق التصميمي

4- يتم إعادة كل الحمأة بمضخات الحمأة الراجعة وعدم تكوين أي غطاء حمأة في حوض

الترسيب

3-4-2 باستخدام تدفق مياه الصرف الخام

1- هذه الطريقة يتم ملئ حوض التهوية بالمياه الخام (أو فتح خط الإحتياط by pass في

حالة وجود حوض ترسيب ابتدائي) حيث أن المياه الخام تحتوي على كمية من الكائنات

الدقيقة التي ستقوم بتكوين الحمأة النشطة

2- يجب تشغيل نوافخ الهواء قبل دخول المياه الخام للحوض حتى نتجنب إنسداد فواني الهواء

وبحيث توفر أكسيجين ذائب في حدود 2-3 ملجم/ل

3- وإن أمكن يتم دخول المياه الخام في 8 ساعات وفي وجود تشغيل لنوافخ الهواء لتوفير

الأوكسيجين الذائب والتقليب أيضا وبعد 7 ساعات يتم إيقاف النوافخ وترك المياه حتى يترسب ما

بها من مواد صلبة لمدة من 30-60 دقيقة قبل السماح للمزيد من المياه الخام بالدخول الى الحوض لكي يزيج المياه الرائقة من حوض التهوية الى المروق الثانوي

4- ثم يتم إعادة تهوية الخليط بحوض التهوية ثم السماح له بالترسيب مره أخرى كما سبق ويتم الإستمرار في هذه العملية حتى يصل تركيز MLSS 500 ملجم/ل بالحوض وهو التركيز الواجب توافره قبل بدء عملية التدفق المستمر للعملية حتى نصل الى التركيز المناسب حسب التصميمي للمحطة أو الحسابي حسب معدل التدفق الوارد للمحطة (أقل تركيز يجب أن يتوفر لعملية المعالجة) كما يجب متابعة تركيز الأوكسجين الذائب باستمرار حتى يكون في الحدود اللازمة للنشاط الحيوي للكائنات الحية بالحوض .

وبعض النظر عن الطريقة المستخدمة لبدء التشغيل لا يتم التخلص من أي كمية حمأة زائدة إطلاقا في مرحلة بدء التشغيل ويتم تشغيل مضخات الحمأة الراجعة بحيث لا يتكون أي غطاء حمأة في حوض الترسيب بل ستكون كل الحمأة المتكونة راجعة الى حوض التهوية .

بمجرد تكون التركيز المناسب من MLSS بحوض التهوية لمعدل التدفق الوارد للمحطة يتم ضبط مضخات الحمأة الراجعة حتى يكون معدل رجوع الحمأة مناسب لتشغيل العملية بالطريقة التي تحافظ على معدل مناسب من الميكروبات يتناسب مع كمية الغذاء الواردة بالمياه الخام .

3-5 متابعة العملية أثناء بدء التشغيل

Process Monitoring During Start-Up

1- يتم قياس معايير التحكم في العملية وتشمل (تركيز الخليط المتخمر للمواد الصلبة MLSS و تركيز الأكسجين الذائب D.O والأكسجين الحيوي الممتص والكميائي المستهلك BOD5 & COD تركيز المواد الصلبة في حوض الترسيب النهائي SS وقياس حجم الحمأة SV ومشر حجم الحمأة SVI وحساب نسبة F/M

2- حساب معدل التدفق للحمأة الراجعة عندما يصل تركيز MLSS الى أقل تركيز يناسب عملية بدء التشغيل

3- السماح للحمأة في حوض الترسيب الثانوي بتكوين غطاء أو بطانية الحمأة

4- حساب كمية الحمأة الزائدة والبدء في تخريجها

3-5-1 التشغيل الطبيعي Normal Operation

1- استمرار قياس معايير التحكم في التشغيل وقياس معايير المياه الناتجة من المعالجة (مثل BOD5 للداخل والخارج و تركيز MLSS في حوض التهوية والمواد الصلبة العالقة TSS في حوض الترسيب الثانوي وكذلك قياس حجم الحمأة ومؤشر حجم الحمأة لكل من حوض التهوية والحمأة الراجعة والأكسجين الذائب بحوض التهوية ونسبة F/M)

2- ضبط العملية (ضبط معدل رجوع الحمأة QRAS ومعدل تخريج الحمأة QWAS وكمية الهواء لتوفير الأكسجين المطلوب)

3-6 إجراءات بدء تشغيل محطة معالجة مياه الصرف بمحافظة ينبع والعمليات الحسابية لها

سوف نتناول إجراءات بدء تشغيل محطة معالجة مياه الصرف الصحي بمحافظة ينبع لتطبيق بدء التشغيل على الأحواض بمعايير تختلف عن المعايير التصميمية ثم أيضا إجراءات التشغيل وفقا للمعايير التصميمية وحساباتها

المعايير التصميمية للمحطة

*متوسط معدل التدفق اليومي $Q_{inff.} = 60000 \text{ m}^3$

* عدد أحواض التهوية 3 أحواض بمساحة اجمالية 47815 متر مكعب وسعة الأحواض على التوالي من رقم 1-3 هي 16078 ؛ 15981 ؛ 15756 متر مكعب وسنطبق على الحوض الأخير كنموذج

*تركيز الاكسجين الحيوي الممتص للمياه الخام $BOD_5 = 300 \text{ mg/l}$

*تركيز المواد الصلبة العالقة للمياه الخام $TSS = 350 \text{ mg/l}$

* تركيز المزيج بحوض التهوية $MLLS = 3524 - 5880 \text{ mg/l}$

* حجم حوض التهوية قيد الخدمة $V_{\text{aeration}} = 15756 \text{ m}^3$

المعايير الحالية

تم تشغيل المحطة مع البيانات التالية :

أولا : بيانات حوض التهوية قيد التشغيل الحالي

متوسط معدل التدفق اليومي $Q_{inff} = 5000 \text{ m}^3$

تركيز الاكسجين الحيوي الممتص للمياه الخام $BOD_5 = 268 \text{ mg/l}$

تركيز المواد الصلبة العالقة للمياه الخام $TSS = 237 \text{ mg/l}$

ثانيا : حسابات الحمأة الزائدة والراجعة $Q_{WAS} \text{ \& } Q_{RAS}$

1- يتم حساب تركيز المزيج المتخمر لحوض التهوية اللازم لعملية التشغيل كالتالي :

$$\text{Minimum MLSS conc.} = \text{design MLSS} \times \frac{\text{actual } (BOD_5 \times Q_{inff})}{\text{design } (BOD_5 \times Q_{inff})}$$

لأقل تركيز تصميمي

$$\text{Minimum MLSS conc.} = 3542 \times \frac{(268 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 5000 \text{ m}^3/\text{d})}{\text{design } (300 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 20000 \text{ m}^3/\text{d})}$$

تركيز المزيج بحوض التهوية $MLSS = 787.03 \text{ mg/l}$

لأعلى تركيز تصميمي

$$\text{Minimum MLSS conc.} = 5880 \times \frac{(268 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 5000 \text{ m}^3/\text{d})}{\text{design } (300 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 20000 \text{ m}^3/\text{d})}$$

تركيز المزيج بحوض التهوية $MLSS = 1313.2 \text{ mg/l}$

2- حساب معدل تدفق الحمأة الراجعة

يتم حساب تركيز الحمأة الراجعة من ائزان الكتلة للمواد الصلبة التي تخرج وتدخل الى

حوض الترسيب كالتالي :

من المعادلة نجد ان

$$(Q_{inffl.} + Q_{RAS}) \times MLSS = Q_{RAS} \times MLSS_{RAS} + Q_{effl.} \times TSS_{effl.}$$

وحيث ان تركيز المواد الصلبة الخارجة مع المياه المروقة صغير يمكن اهماله

$$(Q_{inffl.} + Q_{RAS}) \times MLSS = Q_{RAS} \times MLSS_{RAS}$$

$$MLSS_{RAS} = \frac{(Q_{inffl.} + Q_{RAS}) \times MLSS}{Q_{RAS}}$$

اذا كان معدل تدفق الحمأة الراجعة هو 75% من معدل التدفق الداخل للمحطة

$$MLSS_{RAS} = \frac{(5000 + 5000 \times 0.75) \times 787}{5000 \times 0.75} = 1836.3 \text{ mg/l}$$

أو في حالة التركيز الأعلى ستكون

$$MLSS_{RAS} = \frac{(5000 + 5000 \times 0.75) \times 1313}{5000 \times 0.75} = 3063.66 \text{ mg/l}$$

تركيز الحمأة الراجعة والزائدة :

$$WAS \ \& \ RAS \ MLSS_{RAS} = 1836.3 \text{ mg/l} - 3063.66 \text{ mg/l}$$

(تركيز المواد الصلبة للحمأة الراجعة = تركيز المواد الصلبة للحمأة الزائدة)

ثم نحسب معدل تدفق الحمأة الراجعة

معدل تدفق الحمأة الراجعة

$$Q_{RAS} = \frac{Q_{inffl.} (MLSS - TSS)}{(MLSS_{RAS} - MLSS)}$$

في حالة ما اذا كان العكس موجود وهو ان تركيز الحمأة معلوم وكمية التدفق غير معلومة او اذا كان مطلوب تغيير معدل تدفق الحمأة الراجعة ؛ وحيث أن تركيزات MLSS في حوض التهوية يجب أن تتحصر بين

$$MLSS = 787 \text{ mg/m}^3 - 1313 \text{ mg/m}^3$$

وتركيزات الحمأة الراجعة تتحصر بين :

$$WAS \ \& \ RAS \ MLSS \ RAS = 1836.3 \text{ mg/l} - 3063.66 \text{ mg/l}$$

1-معدل تدفق الحمأة الزائدة

$$Q \ WAS = \frac{V \ x \ MLSS}{SRT \ x \ MLSS \ WAS}$$

من المعادلة التالية تم حساب عمر الحمأة التصميمي :

$$SRT \ (\ \text{sludge age} \) = 1.072^{(12-T)} \ 25$$

حيث ان عمر الحمأة عند درجات الحرارة التي تكون أقل من 12 درجة مئوية يكون أكثر من 25 يوم بينما يقل عمر الحمأة كلما زادت الحرارة عن 12 درجة مئوية بسبب زيادة معدل النمو البكتيري مع الحرارة وبالتالي تجد ان عمر الحمأة من المعادلة باعتبار درجة الحرارة 27 درجة مئوية اغلب الوقت هو

$$SRT = 8.8 = 9 \ \text{Days} \ \text{عمر الحمأة أو زمن مكث الحمأة التصميمي طبقا لدرجة الحرارة}$$

كل البيانات الان متاحة لحساب معدل تدفق الحمأة الزائدة من العلاقة التالية :

معدل تدفق الحمأة الزائدة

$$Q \text{ WAS} = \frac{15756 \frac{m^3}{d} \times 787 \text{ mg/l}}{9 \text{ d} \times 1836 \text{ mg/l}}$$

$$Q \text{ WAS} = 750.42 \text{ m}^3/\text{d}$$

وعند التركيز الاعلى سيكون

معدل تدفق الحمأة الزائدة

$$Q \text{ WAS} = \frac{15756 \frac{m^3}{d} \times 1313 \text{ mg/l}}{9 \text{ d} \times 3063.66 \text{ mg/l}}$$

$$Q \text{ WAS} = 750.29 \text{ m}^3/\text{d}$$

وحيث أن سعة مضخات الحمأة الزائدة هي 75 مترمكعب للساعة لكل مضخة فإنه يكون عدد ساعات التشغيل هو :

$$\text{Hours interval} = \frac{750.29 \text{ m}^3/\text{d}}{75 \frac{m^3}{h}}$$

عدد الساعات 10 ساعة ويفضل ان يكون تخريج الحمأة موزع على مدار اليوم

ثم نحسب نسبة الغذاء للكائنات الحية بحوض التهوية وذلك بعد حساب نسبة المواد الصلبة

الطيارة MLVSS

$$\text{MLVSS} = 75\% (787) = 590.25 \text{ mg/l}$$
 تركيز المواد الصلبة الطيارة بالمزيج

$$\text{MLVSS} = 75\% (1313) = 984.75 \text{ mg/l}$$
 أو تركيز المواد الصلبة الطيارة بالمزيج

نسبة الغذاء للكائنات الحية

$$F/M = \frac{(BOD5 \times Q_{inffl})}{MLVSS \times V_{aeration}}$$

$$F/M = \frac{(268 \frac{mg}{l} \times 5000 \text{ mg/l})}{590.25 \text{ mg/l} \times 15756 \text{ m}^3}$$

$$F/M = 0.144086 \text{ kg BOD / d / kg MLVSS}$$

أو

$$F/M = \frac{(268 \frac{mg}{l} \times 5000 \text{ mg/l})}{984.75 \text{ mg/l} \times 15756 \text{ m}^3}$$

$$F/M = 0.086364 \text{ kg BOD / d / kg MLVSS}$$

يمكن حساب معدل تدفق الحمأة الزائدة أيضا عن طريق إنتاجية الحمأة في اليوم كالتالي:

$$S.P = O.L \times (Q_{RAS} + Y \frac{TSS}{BOD} - (1-0.2)) \times \frac{0.17 \times Q_{RAS} \times S.A \times FT}{1 + (0.17 \times S.A \times FT)}$$

حيث S.P إنتاجية الحمأة لليوم ؛ O.L الحمل العضوي لليوم ؛ Q_{RAS} معدل رجوع الحمأة ؛

FT معامل درجة الحرارة

$$\text{Organic load } O.L = BOD5 \text{ kg/m}^3 \times Q_{inffl} \text{ m}^3/\text{d} = 0.268 \times 5000 = 1340 \text{ kg/d}$$

$$S.P = 1340 \text{ kg/d} \times (0.75 + 0.6 \frac{308}{268} - (1-0.2)) \times \frac{0.17 \times 0.75 \times 8.8 \times 3.27}{1 + (0.17 \times 8.8 \times 3.27)} = 1928.4$$

إزالة الفوسفور تنتج حمأة أيضا ؛ كل جرام يتم إزالته من الفسفور يعطي مواد صلبة ثلاثة

جرامات 3gm D.S

وحيث أن المحطة مصممة لإزالة 3mg/L – 4.5mg/L تكون كمية المواد الصلبة الناتجة من إزالة الفوسفور هي :

$$\text{Sludge production from P} = \frac{4.5\text{mg/L} \times 3\text{gm D.S} \times 5000\text{m}^3/\text{d}}{1000} = 67\text{kg/d}$$

$$\text{Total sludge production} = 1928.4 + 67 = 1995.4 \text{ kg/d}$$

وتركيزات الحمأة الراجعة تتحصر بين :

$$\text{WAS \& RAS MLSS}_{\text{RAS}} = 1836.3 \text{ mg/l} - 3063.66 \text{ mg/l}$$

بقسمة انتاجية الحمأة في اليوم على تركيز الحمأة الراجعة نحصل على كمية الحمأة الناتجة بالمتر المكعب في اليوم وهي نفس كمية الحمأة الزائدة التي يجب تخريجها يوميا QWAS

$$\text{QWAS} = \frac{1995.4 \text{ kg/d}}{3.064 \text{ kg/m}^3} = 651.24\text{m}^3/\text{d}$$

سعة المضخة الواحدة للحمأة الزائدة $75\text{m}^3/\text{hr}$ فيلزم تشغيلها 8 ساعات و 40 دقيقة يوميا.

في حالة التشغيل بمتوسط معدل التدفق التصميمي 60000 متر مكعب في اليوم سيتم تشغيل الأحواض الثلاثة بأحدى الطريقتين اما نترته / نزع نترته متزامن أو نترته / نزع نترته مسبق

في حالة النترته المتزامنة يكون معدل التدفق للحوض الواحد 20000 متر مكعب وبالتالي

يمكن اجراء الحسابات لكمية الحمأة الزائدة حيث ان تركيز MLSS 3524– 5880 mg/l

وعمر الحمأة 8.8 يوم ومؤشر حجم الحمأة 125 مل/جم وبالتالي يمكن حساب تركيز الحمأة

الراجعة اما من اوزان الكتلة كما سبق أو من العلاقة التالية:

$$\text{RAS MLSS} = 2\frac{1}{3} \times 1000/\text{SVI}$$

حيث زمن المكث بحوض الترسيب 2 ساعة ومؤشر حجم الحمأة التصميمي 125

(مؤشر حجم الحمأة يتراوح من 75 - 150)

$$RAS \text{ MLSS} = 2^{\frac{1}{3}} \times 1000 / 125 = 10070 \text{ mg/l}$$

وحيث ان التدوير اسفل الحوض بسبب اختلاف التركيز بين اعلى غطاء الحمأة وأسفلها حيث

يكون التركيز أعلى يقارب تركيز أحواض التهوية ويزداد كلما اتجهنا أسفل الحوض وهذا ما

يسمى عامل التدوير short circuiting factor وهو يتراوح من 70 - 80 % فإن تركيز

$$10070 \times 0.70 = 7049 \text{ mg/l}$$

نحسب تركيز MLSS بحوض التهوية وذلك بناء على معدل رجوع الحمأة والذي يتراوح في

انظمة التهوية المطولة من 50% - 200% حسب معدل التدفق

بفرض اننا استخدمنا معدل 75% ومؤشر حمأة 125 يكون تركيز MLSS كالتالي :

$$MLSS = \frac{RV \times RAS \text{ MLSS}}{1+RV} = \frac{0.75 \times 7049}{1+0.75} = 3021 \text{ mg/L}$$

واعتد معدل رجوع 100%

$$MLSS = \frac{RV \times RAS \text{ MLSS}}{1+RV} = \frac{1 \times 7049}{1+1} = 3524 \text{ mg/L}$$

معدل تدفق الحمأة الزائدة

$$Q \text{ WAS} = \frac{15756 \frac{m^3}{d} \times 3524 \text{ mg/l}}{9 d \times 7049 \text{ mg/l}}$$

$$Q \text{ WAS} = 875 \text{ m}^3/\text{d}$$

وعند مؤشر حمأة 75 يكون تركيز الحمأة الراجعة

$$\text{RAS MLSS} = 2^{\frac{1}{3}} \times 1000/75 = 16799 \text{ mg/l}$$

$$1699 \times 0.70 = 11759 \text{ mg/l}$$

نحسب تركيز MLSS بحوض التهوية عند مؤشر حمأة 75 ومعدل رجوع 75%

$$\text{MLSS} = \frac{RV \times \text{RAS MLSS}}{1+RV} = \frac{0.75 \times 11759}{1+0.75} = 5040 \text{ mg/L}$$

وعدت معدل رجوع 100%

$$\text{MLSS} = \frac{RV \times \text{RAS MLSS}}{1+RV} = \frac{1 \times 11759}{1+1} = 5880 \text{ mg/L}$$

معدل تدفق الحمأة الزائدة

$$Q \text{ WAS} = \frac{15756 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 5880 \text{ mg/l}}{9 \text{ d} \times 11759 \text{ mg/l}}$$

$$Q \text{ WAS} = 875 \text{ m}^3/\text{d}$$

متوسط التخريج 875 متر مكعب لليوم

للاحواض الثلاثة سيكون $895 \times 3 = 2626 \text{ m}^3 / \text{d}$

في حال التشغيل بالطريقة المسبقة نترتة / نوع نترته

يوجد ثلاث أحواض تهوية سعنها على الترتيب الحوض رقم (1) وهو يتوسط الحوضين الاخرين وسعته 16078 مترمكعب والحوض رقم (2) وهو يمين الأول وسعته 15981 متر مكعب والحوض (3) سعته 15756 متر مكعب مجموع السعة الكلية 47815 متر مكعب

معدل تدفق الحمأة الزائدة

$$Q_{WAS} = \frac{47815 \frac{m^3}{d} \times 5880 \text{ mg/l}}{9 d \times 11759 \text{ mg/l}} = 2656 \text{ m}^3/d$$

لاحظ أنه يوجد فرق بسيط في سعة الأحواض وبالتالي لو تم حساب كل حوض بدقة ستكون النتيجة لمجموع الأحواض أيضا 2656 متر مكعب تماما .

حيث أن سعة مضخات الحمأة الزائدة هي 75 متر مكعب للساعة لكل مضخة وهي ثلاث مضخات

$$\text{Hours interval} = \frac{2626 \text{ m}^3/d}{3 \times 73 \frac{m^3}{h}}$$

عدد الساعات 12 ساعة لكل مضخة على مدار اليوم

يمكن حساب كمية الحمأة الزائدة أيضا من إنتاجية الحمأة في اليوم وحيث أنه تم تصميم المحطة على تركيز الأكسجين الحيوي الممتص 300 ملجم/ل والخارج بعد المعالجة 8 ملجم/ل (والمتوسط لعينة مركبة طول اليوم 5 ملجم/ل) وتركيز المواد الصلبة العالقة للمياه الخام 350 ملجم/ل وفي المياه المعالجة ثنائيا 14 mg/L ؛ و متوسط معدل تدفق يومي 60000 متر مكعب والفاقد من الغسيل العكسي للمرشحات والحزام الضاغط 2500 متر مكعب لليوم يتم اضافتهم للتدفق الوارد فيكون اجمالي متوسط التدفق 62000 متر مكعب في اليوم ويضيف الفاقد 10 ملجم/ل مواد صلبة عالقة TSS للمياه الواردة للمحطة

يمكن حساب معدل تدفق الحمأة الزائدة أيضا عن طريق إنتاجية الحمأة في اليوم كالتالي:

$$S.P = O.L \times (QRAS + Y \frac{TSS}{BOD} - (1-0.2)) \times \frac{0.17 \times Q RAS \times S.A \times FT}{1+(0.17 \times S.A \times FT)}$$

حيث S.P إنتاجية الحمأة لليوم ؛ O.L الحمل العضوي لليوم ؛ QRAS معدل رجوع الحمأة ؛ FT معامل درجة الحرارة

$$\text{Organic load } O.L = BOD5 \text{ kg/m}^3 \times Q_{in} \text{ m}^3/\text{d} = 0.292 \times 62500 = 18250 \text{ kg/d}$$

$$S.P = 18250 \text{ kg/d} \times (0.75 + 0.6 \frac{336}{292} - (1-0.2)) \times \frac{0.17 \times 0.75 \times 8.8 \times 3.27}{1+(0.17 \times 8.8 \times 3.27)} = 17199 \text{ kg/d}$$

إزالة الفوسفور تنتج حمأة أيضا ؛ كل جرام يتم إزالته من الفسفور يعطي مواد صلبة ثلاثة

جرامات 3gm D.S

وحيث أن المحطة مصممة لإزالة 4.5mg/L – 3mg/L تكون كمية المواد الصلبة الناتجة من إزالة الفوسفور هي :

$$\text{Sludge production from P} = \frac{4.5 \text{ mg/L} \times 3 \text{ gm D.S} \times 62500 \text{ m}^3/\text{d}}{1000} = 844 \text{ kg/d}$$

$$\text{Total sludge production} = 17199 + 844 = 18043 \text{ kg/d}$$

وتركيزات الحمأة الراجعة تنحصر بين :

$$\text{WAS \& RAS MLSS RAS} = 7049 \text{ mg/l} - 11759 \text{ mg/l}$$

بقسمة إنتاجية الحمأة في اليوم على تركيز الحمأة الراجعة نحصل على كمية الحمأة الناتجة

بالمتر المكعب في اليوم وهي نفس كمية الحمأة الزائدة التي يجب تخريجها يوميا QWAS

$$QWAS = \frac{18043 \text{ kg/d}}{7.049 \text{ kg/m}^3} = 2559.65 \text{ m}^3/\text{d}$$

يوجد ثلاث مضخات سعة المضخة الواحدة للحمأة الزائدة $75\text{m}^3/\text{hr}$ اثنان في الخدمة والثالثة احتياطي ؛ يلزم تشغيل المضختين (مجموع سعة المضختين معا $150\text{m}^3/\text{hr}$) 17 ساعة يوميا

يتم حساب عمر الحمأة يوميا بعد التشغيل بأحد الطرق التالية :

يمكن حسابها في حالة تشغيل الاحواض بطريقة النترية / نزع النترية المسبقة كالتالي

أولا طبقا للحفاظ على توازن الكتلة بمعنى أن عمر الحمأة يساوي كمية المواد الصلبة بحوض التهوية أو مخزون المواد الصلبة solid inventory الى كمية المواد الصلبة أو الحمأة التي يتم التخلص منها يوميا وبالتالي فإن عمر الحمأة هو :

$$\text{Sludge age} = \frac{16078 \times 3.524}{875 \times 7.047} = 9.19 \text{ days}$$

يمكن أيضا حساب عمر الحمأة من العلاقة التالية أيضا التي تمثل اتزان الكتلة ويكون عمر

الحمأة النسبة بين المواد الصلبة الموجودة بحوض التهوية solid inventory وكمية المواد

الصلبة التي تضاف للحوض يوميا حيث أن المواد الصلبة العالقة التي تضاف يوميا هي 350

ملجم/ل وبالتالي

$$\text{Sludge age} = \frac{16078 \times 3.524}{20000 \times 0.350} = 8.1 \text{ days}$$

كما يمكن حسابها في حالة تشغيل الاحواض بطريقة النترية/نزع النترية المسبقة كالتالي

$$\text{Sludge age} = \frac{47815 \times 3.524}{2556 \times 7.047} = 9.35 \text{ days}$$

7-3 حساب نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M

ثم نحسب نسبة الغذاء للكائنات الحية بحوض التهوية وذلك بعد حساب نسبة المواد الصلبة الطيارة MLVSS

عند نسبة مؤشر حمأة 75

$$\text{MLVSS} = 70\%(5040 - 5880) = 3528 - 4116 \text{ mg/l}$$

عند نسبة مؤشر حمأة 125

$$\text{MLVSS} = 70\%(3021 - 3524) = 2114 - 2467 \text{ mg/l}$$

نسبة الغذاء للكائنات الحية

$$F/M = \frac{(BOD5 \times Q_{in} \times fl)}{MLVSS \times V_{\text{aeration}}}$$

$$F/M = \frac{(300 \text{ mg/l} \times 20000 \text{ mg/l})}{2467 \text{ mg/l} \times 15756 \text{ m}^3}$$

$$F/M = 0.1543 \text{ kg BOD / d / kg MLVSS}$$

أو

$$F/M = \frac{(300 \text{ mg/l} \times 20000 \text{ mg/l})}{4116 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 15756 \text{ m}^3}$$

$$F/M = 0.0925 \text{ kg BOD / d / kg MLVSS}$$

يتم التعبير عن زمن مكث الحمأة النشطة أو عمر الحمأة بطريقة أخرى وهي زمن مكث الخلية في النظام mean cell residence time MCRT وهو يختلف عن زمن مكث المواد

الصلبة SRT أو عمر الحمأة Sludge age والفرق بين زمن مكث المواد الصلبة أو عمر الحمأة من ناحية وزمن مكث الخلية بالنظام هو أن زمن مكث الخلية يعبر عن الفترة الزمنية التي تبقى فيها الحمأة النشطة في النظام ككل سواء أحواض التهوية أو أحواض الترسيب بينما عمر الحمأة أو زمن مكث المواد الصلبة يعبر عن الزمن التي تبقى فيه الحمأة النشطة تحت تأثير التهوية بأحواض التهوية فقط ومن هنا نتوقع أن زمن مكث الخلية سيكون أطول من زمن مكث المواد الصلبة أو عمر الحمأة

$$\text{Mean Cell Residence Time, day} = \frac{[\text{MLSS mg/L} \times (\text{Aeration Vol.} + \text{Clarifier Vol.})]}{[(\text{WAS, } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times (\text{WAS flow}) + (\text{TSS out} \times \text{flow out})]}$$



3-8 إستراتيجيات التحكم في عملية المعالجة

Treatment Process Control Strategies

توجد عدة استراتيجيات متبعة للتحكم في عملة المعالجة بالحماة النشطة هي

- التحكم في معدل رجوع الحماة QRAS
- التحكم في معدل تخريج الحماة QWAS
- إتران الكتلة Mass Balance

ويتم استخدام هذه الإستراتيجيات الثلاثة عن طريق التحكم بعوامل أخرى تشمل

- التحكم في نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M
- التحكم في زمن مكث الخلية بالنظام MCRT
- التحكم في عمر الحماة الذهبي Gould sludge age GSA
- التحكم في تركيز الخليط المتخمر للمواد الصلبة في حوض التهوية MLSS
- جودة الحماة المنتجة Sludge quality

يتم مراجعة بيانات التشغيل ونتائج المختبر بغرض إختيار أنسب المعايير للتحكم في العملية

بحيث تظل في أفضل حالات التشغيل الممكنة مثل MCRT , GSA ,MLSS, & F/M

كما يتم اختبار جودة الحماة في حوض التهوية لمعرفة جودتها كحماة معادة أو حماة زائدة .

يجب ملاحظة ان الترسيب الضعيف يمكن ان يرجع الى قلة الاكسيجين الذائب بأحواض

التهوية (أقل من 0.5 mg/l) .

3-9 إختيار استراتيجية التحكم

Selecting a Control Strategy

العديد من المشغلين يفضل استخدام كمية المواد الصلبة التي يتم تخريجها يوميا أو معدل تدفق الحمأة الزائدة QWAS للحفاظ على مخزون مواد صلبة ثابت ؛ ويعتبر زمن مكث الخلية MCRT (أو زمن مكث المواد الصلبة SRT أو عمر الحمأة الذهبي GSA) هو المستخدم غالبا في محطات معالجة مياه الصرف المنزلي ؛ عند زمن مكث خلية ما في النظام MCRT يتم تخريج نفس كمية الحمأة يوميا من النظام ما لم يتغير معدل التدفق اليومي للمحطة ؛ على العكس من ذلك فإن معدل تدفق الحمأة الزائدة QWAS المبني على نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M سوف يعتمد على التغير في تركيز الكربون العضوي BOD الداخل للمحطة وايضا معدل تخريج الحمأة المبني على ثبات تركيز الخليط المتخمر للمواد الصلبة بحوض التهوية MLSS سوف يعتمد على التغير في معدل نمو الكائنات الحية (الناتج اصلا من التغير في معدل التدفق ومكونات المياه الخام) ومن ثم فإنه أسهل للمشغل أن يحافظ على زمن مكث للخلية في الزمان MCRT أفضل من المحافظة على نسبة ثابتة F/M أو تركيز ثابت من MLSS وهذا يجعل المشغل أكثر تحكم بالعملية ويجعل العملية ذاتها أكثر ثباتا عندما تستخدم طريقة MCRT (الا انه في بعض الحالات لا تكون هذه الطريقة هي الأمثل).

بالنسبة للمحطات التي تستقبل مياه صرف لمصانع الأغذية يكون هناك حمل عضوي زائد من BOD يمكن توقعه وفي هذه الحالة تكون نسبة F/M هي الأنسب عن MCRT و MLSS لأنه في هذه الحالة لا توفر MCRT مخزون من المواد الصلبة العضوية (الحمأة النشطة أو الكائنات الحية) يكفي لإستهلاك الحمل العضوي الداخل للمحطة .

بالنسبة للمحطات الصغيرة تستخدم MLSS في عملية التحكم وذلك لأن التحاليل المخبرية اللازمة لتعيين تركيزها بسيطة ولا تحتاج لأجهزة في عملية تقدير التركيز وإذا لم يحبذ المشغل استخدامها فتكون طريقة MCRT هي البديل المثل .

لاحظ ان درجة الحرارة تؤثر على كل العوامل التي من خلالها يمكن التحكم في عملية المعالجة فمثلا في الطقس البارد او أثناء فصل الشتاء اذا ظل المشغل على نفس معدل تخريج الحمأة الذي كان يقوم به في فصل الصيف فسيؤدي ذلك الى نقصان كمية الكائنات الحية بالنظام (معدل نمو الكائنات الحية يقل كلما انخفضت درجة الحرارة) وبالتالي لكن تكون كمية الكائنات الحية أو بمعنى آخر المخزون الصلب للمواد العضوية بأحواض التهوية أو الحمأة النشطة غير كافية لمعالجة الكربون العضوي COD ولا الأمونيا الداخلة للمحطة وبالتالي يجب تقليل معدل تخريج الحمأة لكي يطول زمن مكث الخلية MCRT فتتكون كمية الكائنات الحية أو يزيد تركيز MLSS وبالتالي تركيز MLVSS .



3-9-1 التحكم في معدل تدفق الحمأة الراجعة QRAS

Return Activated Sludge Rate Control

يوجد اسلوبين للتحكم في كمية الحمأة الراجعة RAS أو معدل تدفق الحمأة الراجعة QRAS ومن ثم جودة عملية الحمأة النشطة عموماً

1-التحكم في RAS بغض النظر عن معدل التدفق الداخل للمحطة (تتميز هذه الطريقة انها بسيطة - اعلى معدل حمل للمواد الصلبة على حوض الترسيب عن لحظة اعلى تدفق يصل للحوض في ساعة الذروة)

2-التحكم في RAS بنسبة ثابتة من معدل التدفق الداخل للمحطة (تتميز هذه الطريقة انها تخفض التغيير في تركيز MLSS ويكون التغيير في نسبة F/M ضئيل - كما ان MLSS سوف يبقى في حوض الترسيب لمدة قصيرة مما يقلل احتمالية حدوث نزع نترتة denitrification في حوض الترسيب والذي يؤدي ان حدث لطفو الحمأة على سطحه نتيجة تصاعد غاز النيتروجين حاملاً معه كتل الحمأة)

عيب استخدام اسلوب التدفق الثابت للتحكم هو أن نسبة F/M متغيرة ؛ بينما عيب الاسلوب الثاني في التحكم هو ان حوض الترسيب لأعلى حمل مواد صلبة عندما يحتوي حوض الترسيب على أكبر كمية من المواد الصلبة مما قد يؤدي الى فيضان المواد الصلبة خارج الحوض من فوق الهدار .

المحطات التي يكون فيها معدل التدفق للمياه الخام لها في حدود 35 الف متر مكعب أو أقل غالباً تخضع لما يسمى العمليات الهيدروليكية الكبيرة >

في الأنظمة التي يكون فيها زمن مكث الخلية قصير MCRT ومخزون المواد الصلبة SI قليل يكون معدل تدفق الحمأة الراجعة 25%-50% من معدل التدفق الداخل للمحطة (والمثالي 30%-40%) ؛ وفي الأنظمة التي يكون فيها زمن مكث الخلية طويل MCRT ومخزون المواد الصلبة SI كبير يكون معدل تدفق الحمأة الراجعة يكون 100%-150% من معدل التدفق الداخل للمحطة ويمكن فهم ذلك بأنه كلما زاد المخزون من المواد الصلبة ارتفع زمن مكث الخلية وتكون الحاجة لمعدلات عالية من الضخ للحمأة لأزالتها من حوض الترسيب .

طبقا لحسابات التصميم لمحطة يتبع يتم تشغيل المحطة بحيث يكون معدل تدفق الحمأة الراجعة 75% من معدل تدفق المياه الخام .

التحكم في الحمأة الراجعة يتم عن طريق التحكم في أكثر من عامل مثل غطاء أو بطانية الحمأة ؛ إتران الكتلة (الداخل للنظام والمعاد لاحواض التهوية والخارج) ؛ الترسيب ومؤشر الحمأة SVI .

بصفه عامة تكون عمليات الحمأة النشطة يكون آدائها أفضل وتحتاج الى احذر أقل اذا تم استخدام اسلوب معدل تدفق ثابت للحمأة المعادة

3-10 طرق التحكم في معدل تدفق الحمأة الراجعة

Q_{RAS} Flow rate control

لأي من أسلوبي التحكم في الحمأة المعادة RAS توجد عدة تقنيات يمكن استخدامها لتثبيت معدل تدفق الحمأة المعادة وهي

1-متابعة عمق غطاء الحمأة

2-مبدأ ائزان الكتلة

3-قابلية الترسيب

4-مؤشر حجم الحمأة SVI

3-10-1 قياس غطاء الحمأة sludge blanket measuring :

يتم قياس غطاء الحمأة على مدار اليوم وتوجد أجهزة يتم تركيبها على احواض الترسيب تعطي قراءات عن سمك الغطاء ويفضل ان يكون ما بين 30-90 سم .

3-10-2 إئزان الكتلة Mass balance :

إذا كان معدل التدفق لمياه الصرف الخام الى المحطة هو Q ومعدل تدفق الحمأة المعادة R فإن مجموع ما يدخل وما يخرج لحوض التهوية هو Q+R ذلك لأن الحوض يكون ممتلئ بحجم ثابت من MLSS ؛ ايضا سيكون التدفق الذي يدخل حوض الترسيب هو ايضا Q+R وينقسم بعد حوض الترسيب حيث يخرج R كحمأة معادة و Q مياه مروقة .

مثال يوضح التحكم بالحمأة المعادة باستخدام ائزان الكتلة

البيانات المطلوبة :

Q influent wastewater flow = 60000 m³

MLSS concentration = 3524 mg/l

RASss return sludge concentration = 7047 mg/l

3-10-3 يتم تقدير معدل تدفق الحمأة الراجعة QRAS طبقاً لنسبة MLSS الى RAS

كالتالي

$$QRAS \text{ m}^3 / \text{d} = \frac{Q_{\text{infl}} \times \text{MLSS}}{\text{RASss} - \text{MLSS}}$$

$$QRAS \text{ m}^3 / \text{d} = \frac{60000 \times 3524}{7047 - 3524} = 60017.03$$

وتكون النسبة المئوية المعادة هي

$$QRAS \text{ m}^3 / \text{d} = \frac{60017}{60000} \times 100 = 100\%$$

بالتأكيد سوف يختلف معدل الرجوع مع اختلاف تركيزات الحمأة الراجعة وتركيزات MLSS

3-10-4 التحكم في غطاء الحمأة الراجعة عن طريق بيانات إختبار الترسيب خلال 30

دقيقة

وهو يعبر عن الحجم الذي تشغله الحمأة بعد تركها تترسب لمدة 30 دقيقة .

البيانات المطلوب هي

Q = 60000 M³ معدل التدفق الداخل للمحطة

SV ml/L = 430 حجم الحمأة المرسب بعد 30 دقيقة

يمكن حساب معدل تدفق الحمأة الراجعة بناء على اختبار الترسيب من المعادلة التالية

$$QRAS \text{ m}^3\text{d} = \frac{SV}{1000-SV} \times 100 = 75.4\% \text{ influent flow rate}$$

وبالتالي فإن معدل تدفق الحمأة المعادة يساوي

$$QRAS = 75.4\% \times 60000 = 45240 \text{ m}^3\text{d}$$

يمكن رسم علاقة بيانية بين الحجم المترسب بعد 30 دقيقة و R/Q أو النسبة المئوية للحمأة

المعادة من الداخل للمحطة على المحور السيني واصادي على التوالي ثم قراءة R/Q من المحور الرأسي ولحساب QRAS يتم ضرب R/Q x Q. ومن المنحي نوجد هذه العلاقة

$$R/Q = \frac{SV}{1000-SV} \times 100$$

طريقة حساب معدل الحمأة الراجعة طبقا للترسيب غير دقيقة واقل في الدقة من طريقة اتران المواد الصلبة او اتران الكتلة وذلك لأن طريقة الترسيب هي محاكاة غير مطابقة تماما لحوض الترسيب إلا انه يمكن تقليب المخلوط المراد ترسيبه بسرعة 1-2 مرة / دقيقة للتقليل من الخطأ

3-10-5 تقدير معدل رجوع الحمأة عن طريق معرفة تركيز الخليط المتخمر

determination of QRAS using MLSS concentration

يتم رجوع الحمأة من اسفل حوض الترسيب الثانوي الى حوض التهوية حتى تتمكن الكائنات

الحية الدقيقة التي تمثل معظم مكونات الحمأة من التغذية على المواد الغذائية والمغذيات

(المواد العضوية والمغذيات التي تدخل مع مياه الصرف الخام) واذا لم يتم رجوع الحمأة فإن

سمك غطاء الحمأة أو بطانية الحمأة في حوض الترسيب يزداد سمكها حتى تفيض من فوق

هدار الحوض مما يؤدي لرفع نسبة المواد الصلبة العالقة في المنتج النهائي وانسداد الفلاتر اذا

كانت المعالجة ثلاثية والنتيجة منتج ضعيف الجودة كما سيتناقص تركيز الخليط المتخمر في

حوض التهوية MLSS وبالتالي تقل اعداد الكائنات الحية وبالتالي تزيد نسبة الغذاء او المواد العضوية لعدم وجود كائنات حية كافية للتغذية عليها وتصبح ايضا البيئة في حوض الترسيب لاهوائية مناسبة لنمو البكتريا المسؤولة عن نزع النترة مما يؤدي لتصاعد غاز النيتروجين حاملا معه كتل الحمأة على سطح الحوض وسيكون المنتج النائي سئ وتفشل عملية المعالجة اجمالا .

$$\% \text{ QRAS} = \frac{MLSS \frac{mg}{l} \times 100}{\frac{1000000}{SVI} - MLSS \frac{mg}{l}}$$

ثم نضرب النسبة المئوية في متوسط معدل التدفق اليومي للحصول على معدل رجوع الحمأة فمثلا لو كان معدل التدفق للمحطة هو 60000 م³/يوم وتركيز MLSS=3524 mg/l في حوض التهوية وكان مؤشر حجم الحمأة هو SVI= 125

$$\% \text{ QRAS} = \frac{3524 \frac{mg}{l} \times 100}{\frac{1000000}{125} - 3524 \frac{mg}{l}} = 78.37\%$$

$$\text{QRAS } 77.77\% \times 100000 = 77777.77 \text{ m}^3/\text{d}$$

لاحظ ان النسبة المئوية لمعدل رجوع الحمأة يتراوح من 75% الى 150% وأكثر وقد يصل الى 200% حسب نوع عملية المعالجة وجودة المياه المطلوبة للمنتج النهائي وظروف التشغيل والعوامل التي قد تطرأ على العملية التشغيلية وخواص المياه الخام علما أن التصميم القياسي للمحطة تم على معدل رجوع قدره 75% من معدل التدفق الوارد للمحطة ؛ ويتراوح تركيز المواد الصلبة في الحمأة الراجعة من 0.8%-1.176% (0 - 11760 - 7047) لبعض ويتراوح تركيز MLSS 3524-5880 ملجم/ل لمحطة ينبع .

حجم الحمأة التي يجب تخريجها يتم إما في ضوء الحفاظ على تركيز ثابت من MLSS أو في ضوء فترة زمنية مرغوب فيها للخلية الحية MCRT .

*إذا تم بطريقة الحفاظ على تركيز ثابت من MLSS يجب مراعاة ان تركيز MLSS المرغوب فيه يحافظ على نسبة مرغوب فيها من F/M وهذه الطريقة هي الأكثر شيوعا في الإستخدام للتحكم في عملية الحمأة النشطة ويتم حساب الحمأة الزائدة بناء على تركيز MLSS كما سيتم شرحه بالمثل لاحقا من العلاقة التالية

$$\text{Waste sludge } m^3 = \frac{(\text{actual MLSS} - \text{desired MLSS}) \times 1000}{1000000} \times \text{Aeration volume } m^3$$

$$\text{WAS concentration } \frac{mg}{l} \times \frac{1000}{1000000}$$

وبمجرد حساب حجم الحمأة التي يجب تخريجها يتم حساب معدل تدفق الحمأة الزائدة التي يجب تخريجها في اليوم ؛ لاحظ ان معدل تدفق الحمأة الزائدة الحقيقي بالمتر المكعب في اليوم الذي يتم اخراجه يعتمد على طول الوقت أو عدد الساعات الذي يتم خلاله تخريج الحمأة .

$$QWAS \ m^3 = \frac{\text{wast sludge } m^3 \times 24 \frac{hrs}{d}}{\text{wasting period hrs}}$$

*أما اذا تم في ضوء الحفاظ على فترة زمنية مرغوب فيها للخلية الحية MCRT فإنه يتم أولا حساب كمية الحمأة التي يتم تخريجها في اليوم م³/يوم من العلاقة التالية :

$$WAS \ kg/d = \frac{[MLSS \ mg/L \times (Aeration \ Vol. + Clarifier \ Vol.)]}{[desired \ MCRT]} - TSS \ out \times Q \ effl.$$

وبمجرد حساب حجم الحمأة التي يجب تخريجها يتم حساب معدل تدفق الحمأة الزائدة التي يجب تخريجها في اليوم من العلاقة :

$$QWAS \ m^3/d = \frac{\text{waste } kg/d}{WAS \ concentration \ mg/l}$$

3-10-6 تقدير معدل تدفق رجوع الحمأة بأسلوب جودة الحمأة The sludge quality approach

يتم رسم علاقة بين زمن الترسيب وتركيز الحمأة المترسبة ؛ يوجد ثلاث حالات لترسيب الحمأة وهي الترسيب الطبيعي والترسيب السريع والترسيب البطيء ؛ اذا رسمنا العلاقة سنجد ان الترسيب البطيء سنجد ان وقت الترسيب المثالي قرب نقطة الانقلاب inflection point حيث يبدأ التناقص في زيادة التركيز أما بالنسبة لترسيب الطبيعي والسريع يكون الوقت المثالي قبل التحول في المنحني (منطقة الركبة في المنحني) .

يكون الترسيب سريع اذا كان الزمن 15-30 دقيقة وطبيعي من 40-60 دقيقة وبطيء 100-140 دقيقة والمعادلات التالية تستخدم لإنشاء منحنيات تركيزات الحمأة المترسبة وتستخدم في حساب تركيز الحمأة المترسبة المثالي :

Settled Sludge Concentration (SSC) = Aeration Tank Concentration

$$(MLSS) \times \frac{1000 \frac{ml}{L}}{SSV}$$

مثال ؛ احسب تركيز الحمأة المترسبة المثالي SSC من منحني الترسيب اليومي اذا كان زمن الترسيب 40 دقيقة وكان حجم الحمأة المترسب (Settled Sludge Volume (SSV) في

نهاية 40 دقيقة هو 430 ml/L وكان تركيز حوض التهوية (تركيز MLSS) = ATC

RSC = 7047 mg/L وتركيز الحمأة الراجعة = 3524 mg/L

$$\text{Settled Sludge Concentration (SSC)} = 3524 \times \frac{1000 \frac{ml}{L}}{430} = 8195$$

فإذا كان التركيز الحقيقي للحماة الراجعة $RSC = 8195 \text{ mg/L}$ أعلى من التركيز التصميمي 7047 فإنه يجب تقليل معدل الرجوع لكي نتمكن من تقليل تركيز الحماة الراجعة لتصل الى التركيز المثالي .

توجد ملاحظات مهمة يجب الإنتباه لها في عملية التحكم في معدل رجوع الحماة هي :

* يجب الحفاظ على التوزيع المثالي للمواد الصلبة بين حوض الترسيب وحوض التهوية وذلك بإطالة زمن مكث المواد الصلبة في حوض التهوية وسرعة اعادة الحماة الراجعة من حوض الترسيب لحوض التهوية لتجنب توفير ظروف لاهوائية في حوض الترسيب والوصول لتركيز مثالي للحماة الراجعة

*مقارنة معدل الرجوع الحالي مع معدل الرجوع المناسب للعملية

*اختيار طريقة تحكم مناسبة (نسبة مئوية من الداخل ثابتة أو معدل رجوع ثابت للحماة)

*مراقبة سمك غطاء الحماة

*يجب تغيير معدل رجوع الحماة عندما يتغير معدل التدفق اليومي للمحطة أو يتغير خواص

الترسيب للحماة

*يجب ان يكون التغير في معدل رجوع الحماة في حدود $+/- 15 - 25 \%$ / يوم

*النظام الذي يستجيب للتغير في معدل تدفق الحماة الراجعة يكون سريع وعادة يستجيب النظام

في وقت يقدر بنصف زمن مكث حوض التهوية

11-3 التحكم في تخريج الحمأة الزائدة

Waste Activated Sludge Control

يتم التحكم في عملية المعالجة بالحمأة النشطة أساسا عن طريق التحكم في كمية الحمأة الزائدة التي يتم إخراجها من النظام WAS

تؤثر كمية الحمأة الزائدة التي يتم إخراجها من النظام على كل من

- جودة المنتج النهائي
- معدل نمو الكائنات الحية المستخدمة في عملية المعالجة
- معدل استهلاك الاكسجين
- جودة عملية الترسيب للخليط امتمخر المعلق MLSS
- كمية المغذيات اللازمة للعملية
- حدوث رغوة أو زبد
- إمكانية حدوث النترية

الهدف من عملية تخريج الحمأة هو الحفاظ على التوازن بين كمية الغذاء الى الكائنات الحية الموجودة بالعملية .

من المعلوم أنه عندما تقوم الكائنات الحية باستهلاك BOD من مياه الصرف فإن كمية الحمأة النشطة (تنمو الكائنات الحية وتتكاثر) والمعدل الذي تنمو به هذه الكائنات الحية هو الزيادة في كمية الحمأة النشطة التي تحدث في اليوم الواحد وبالتالي فإن الغرض من تخريج الحمأة هو التخلص من كمية الحمأة التي تضاف في اليوم وتكون زائدة عن حاجة العملية وحينما يتم ذلك فإن كمية الحمأة التي يتم تكوينها من النشاط الحيوي للبكتريا ونموها تكون متزنة مع الكمية

التي يتم التخلص منها مما يجعل كمية الحمأة الموجودة بالنظام الى حد ما ثابتة وهذه الحالة تسمى حالة الإتزان (steady state) وهذه الحالة تقريبا بسبب طبيعة وكمية الغذاء BOD وتعداد الكائنات الحية بالعملية وبالتالي لكي يتم التحكم في عملية الحمأة النشطة بصورة جيدة لابد من الوصول لحالة الإتزان وذلك بالتحكم في واحد أو أكثر من هذه العوامل :

- متوسط زمن مكث الخلية MCRT
- نسبة الغذاء للكائنات الحية F/M
- عمر الحمأة الذهبي (G.S.A(Gould sludge age)
- مخزون المواد الصلبة الطيارة VSS (Volatile solid inventory)
- تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة MLVSS concentration
- التحكم في جودة الحمأة Sludge quality control

يتم التخلص من الحمأة الزائدة وذلك بالتخلص من جزء من الحمأة الراجعة RAS ثم تضخ الى المكثفات ثم الى الهواضم أو وحدات نزع المياه وقد يتم ضخها الى احواض الترسيب الإبتدائية ثم الى الهواضم الحمأة الخام .

الطريقة الثانية للتخلص من الحمأة الزائدة يتم بالتخلص من جزء من MLSS من احواض التهوية ؛ الا ان التخلص من جزء من الحمأة المعادة عملي اكثر لأن الحمأة تكون ذات تركيز عالي ونحتاج للتخلص من جزء اصغر بكثير من كما ان معظم المحطات لا تكون مجهزة للتخلص من الحمأة الزائدة عن طريق احواض التهوية MLSS .

3-11-1 طرق تخريج الحمأة الزائدة Methods of sludge wasting

إذا تم التخلص من الحمأة الزائدة عن طريق التخلص من جزء من الحمأة الراجعة يجب ان يقوم المشغل بقياس تركيز المواد الصلبة العالقة المتطايرة في الحمأة الراجعة RAS فإذا كان التركيز يتناقص فإن معدل تدفق الحمأة الزائدة WAS يجب ان يزيد لتخريج كمية مناسبة من VSS اما إذا كان هناك زيادة في تركيز المواد الصلبة المتطايرة للحمأة الراجعة فإن معدل تدفق الحمأة الزائدة WAS يجب ان يقل بدرجة مناسبة .

إذا كان المشغل يستخدم طريقة متواصلة للتخلص من الحمأة الزائدة فإن عليه ان يختبر تركيز RASs مرة كل وردية على الأقل لمعرفة الكمية المناسبة من QWAS .

مثال توضيحي ؛ البيانات المطلوبة :

$$1- \text{معدل تدفق الحمأة الزائدة الحالي } QWAS \text{ m}^3\text{d} = 2556$$

2- تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة في اليوم الأول (أفضل يوم تشغيلي)

$$RASVSS1 \text{ mg/l} = 7047$$

3- تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة في اليوم الثاني

$$RASVSS2 \text{ mg/l} = 8500$$

يتم تقدير معدل تدفق الحمأة الزائدة WAS طبقاً لزيادة تركيز RASVSS من 7047 ملجم/ل الى 8500 ملجم/ل كالتالي :

$$QWAS \text{ m}^3\text{d adjusted} = \frac{RASVSS1}{RASVSS2} \times QWAS = \frac{7047}{8500} \times 2556 = 2119.07$$

إذا كان المشغل يستخدم طريقة متقطعة للتخلص من الحمأة الزائدة فعليه ان يختبر RASVSS لحساب معدل التدفق الضروري للعملية QWAS .

مثال توضيحي ؛ البيانات المطلوبة :

1- معدل تدفق الحمأة الزائدة من المعادلة السابقة $QWAS m^3d = 2255.3$

2- عدد ساعات التخريج الذي يتم اختياره في اليوم $p, hrs/day = 4$

يتم تقدير معدل تدفق WAS لعدد ساعات التخريج المختار كالتالي

$$QWAS m^3 @ 4hrs = \frac{24hrs/day}{P1 hrs/day} \times QWAS \text{ adjusted} = \frac{24}{4} \times 2255.3 = 13531.8$$

يجب ان يعيد المشغل حساب تخريج الحمأة لكل فترة تخريج لكي يأخذ في الإعتبار التغيير
الحاصل في RASVSS

تتميز طريقة التخريج المتقطع بأنها تحدث تغيير طفيف في تركيز المواد الصلبة العالقة اثناء فترة تخريج الحمأة كما ان كمية الحمأة التي يجب التخلص منها تكون معروفة بدقة أكثر الا ان عيب هذه الطريقة يظهر اذا كان معدل الحمل الهيدروليكي مرتفع لا تتحملة مرافئ المحطة وتكون عملية الحمأة النشطة خارج الإئزان لفترة زمنية حتى يتم نمو كائنات حية لكي تحل محل الكائنات التي يتم التخلص منها مع الحمأة الزائدة في فترة زمنية قصيرة .

وبالرغم من ذلك ايا كانت الطريقة المستخدمة في التخلص من الحمأة الزائدة سواء متقطعة أو متواصلة لا يمكن التحكم بشكل كامل في كمية الحمأة الزائدة بسبب كمية الحمأة التي تخرج مع المياه المروقة مما يجعل العملية بدرجة أو أخرى خارج عملية الإئزان التام أو الكامل ويمثل كمية الحمأة التي تخرج مع المياه المنتجة في هذه المرحلة (المعالجة الثانوية) أقل من 5% من كمية الحمأة المستهدف التخلص منها .

يؤدي التحكم في تخريج الحمأة الزائدة بطريقة مناسبة الى منتج جيد جدا ؛ ويوجد خمس تقنيات يمكن استخدامها للتحكم في الحمأة الزائدة WAS وهي :

• التحكم في ثبات تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة MLVSS

- التحكم في عمر الحمأة الذهبية GSA
- التحكم في نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M
- التحكم في زمن مكث الخلية الحية MCRT
- التحكم في جودة الحمأة

3-11-2 التحكم في ثبات تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة MLVSS

يستخدم العديد من المشغلين هذه الطريقة لأنها سهلة ولا تحتاج الكثير من المراقبة المخبرية والإختبارات وهي تعطي منتج جيد اذا كانت مواصفات وخصائص المياه الخام ثابتة لحد ما ولا يحدث بها الكثير من التغي في معايير المياه الخام .

يتم تثبيت تركيز MLVSS في أحواض التهوية لكي يعالج الحمل العضوي للمياه الداخلة للمحطة ؛ ولكي نبسط الموضوع وجد أنه إذا كان تركيز $MLVSS = 2625 \text{ mg/l}$ فإن المياه المنتجة تكون جيدة وبالتالي فإن المشغل يجب ان يخرج حمأة للحفاظ على التركيز في هذه الحدود .

$$MLVSS = 0.75 \times MLSS = 0.75 \times 3524 = 2643 \text{ mg/l}$$

إذا زاد تركيز MLVSS عن التركيز المناسب للعملية فإن تركيز الحمأة سوف يزداد بالنظام ومن ثم يجب إخراج الحمأة الزائدة للوصول بالتركيز الى المستوى المناسب .

البيانات التشغيلية التي يحتاجها المشغل للقيام بهذه الطريقة هي :

- 1-تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة في احواض التهوية MLVSS
- 2-تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة في الحمأة الراجعة RASVSS
- 3-معدل تدفق المياه الداخلة للمحطة Qinf.

4-حجم حوض التهوية V aeration

وسواء أكانت المحطة جديدة في بداية تشغيلها أو محطة قيد الخدمة فعليا فإن هذه التقنية للتحكم تستخدم لكي تعطينا مؤشر على وجوب تخريج الحمأة ؛ الا انه في معظم الأحيان وبالرغم من بساطة و أهمية هذه التقنية إلا أنها تقنية غير موثوق بها تماما لأنها تهمل متغيرات مهمة مثل نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M ومعدل نمو الكائنات الحية الدقيقة للحفاظ على أفضل نظام لإتزان عملية المعالجة وبالتالي إذا حدث مشكلة في التشغيل فإن المشغل لا يكون قادر على عمل تعديل مناسب في عملية التشغيل بسبب نقص البيانات التشغيلية اللازمة للتحكم في العملية .

يتم التحكم في عملية التشغيل باستخدام هذه التقنية وذلك بإختيار تركيز MLVSS الذي ينتج عنه أفضل منتج نهائي بحيث تكون عملية المعالجة مستقرة مع أقل تكلفة ممكنة .

يتم تقدير معدل تخريج الحمأة الزائدة في هذه الحالة كالتالي :

البيانات المطلوبة :

*مخزون المواد الصلبة المرغوب فيه في أحواض التهوية

*مخزون المواد الصلبة الحالي في حوض التهوية

يتم حساب حجم الحمأة اللازم تخريجها للحفاظ على التركيز المرغوب فيه من MLVSS من

المعادلة التالية

$$QWAS \text{ m}^3\text{d} = \frac{SI_2 - SI_1}{RASVSS}$$

3-11-3 التحكم في ثبات عمر الحمأة الذهبية (Constant Gould Sludge Age) (GSA)

عمر الحمأة الذهبية GSA هو النسبة بين إجمالي تركيز المواد الصلبة العالقة للمياه الخام الداخلة للمحطة أو الداخلة لحوض التهوية من المروقات الإبتدائية (inf. Waste water or primary effl.) في اليوم و مخزون المواد الصلبة العالقة في حوض التهوية (SI) ويحسب من تركيز MLSS بحوض التهوية .

$$\text{Sludge Age, days} = \frac{\text{SS in Tank kg}}{\text{SS Added kg/d}} = \frac{\text{MLSS kg}}{\text{SS add kg/day}}$$

البيانات المطلوبة:

* تركيز المواد الصلبة في المياه الخام للمحطة

* معدل تدفق المياه الخام للمحطة

* تركيز المواد الصلبة العالقة في حوض التهوية

* حجم أحواض التهوية

يتم تقدير عمر الحمأة الذهبية كالتالي :

$$\text{Gould sludge age GSA , days} = \frac{\text{SS in Tank kg}}{\text{SS Added kg/d}}$$

ثم يتم تقدير معدل تدفق الحمأة الزائدة WAS كالتالي :

البيانات المطلوبة :

* تركيز المواد الصلبة العالقة في المياه الداخلة

* معدل تدفق المياه الخام

* حجم حوض التهوية

*مخزون المواد الصلبة العالقة في أحواض التهوية

يتم تقدير عمر الحمأة الذهبية كالتالي :

$$GSA, \text{ days} = \frac{SI}{(pri.effl.or 438hemi.kg)(Q m^3/d)}$$

بعد تقدير عمر الحمأة يمكن تطبيق تقنية ثبات عمر الحمأة للتحكم في معدل تدفق الحمأة

الزائدة WAS كالتالي :

البيانات المطلوبة :

*عمر الحمأة الذهبية المرغوب فيه $GSA \text{ days} = 8.8$

*الكيلو جرامات من المواد الصلبة الموجودة في التدفق الداخل

*مخزون المواد الصلبة العالقة بأحواض التهوية

*تركيز المواد الصلبة العالقة في الحمأة الراجعة

يتم تقدير الكيلوجرامات من MLSS اللازم الحفاظ عليها في أحواض التهوية للحفاظ على عمر

الحمأة عند 8.8 يوم كالتالي :

$$MLSS, \text{ kg desired} = GAS \times 438hemi$$

ثم يتم تقدير معدل تدفق الحمأة الزائدة للحفاظ على عمر الحمأة المرغوب فيه وهو 8.8 يوم

عند درجة حرارة 27 درجة مئوية ويختلف باختلاف درجة الحرارة حيث ان زيادة الحرارة تزيد من

النمو البكتيري وبالتالي نحتاج الى عمر حمأة أقل ويتم حسابها من العلاقة كالتالي :

$$QWAS \text{ m}^3\text{d} = \frac{(SI - MLSS_{desired})kg}{RAS \text{ kg}}$$

4-11-3 التحكم في نسبة الغذاء الى الكائنات الحية Constant Food to

Microorganisms F/M Ratio

يتم التحكم في نسبة F/M في عملية الحمأة النشطة بحيث يتم استهلاك كل الحمل العضوي (أو على الأقل معظمه) للمياه الخام الذي يتم تزويد المحطة بها بواسطة الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الخليط المتخمر للمواد الصلبة العالقة الطيارة MLVSS في أحواض التهوية.

إذا كانت نسبة الغذاء أكثر بكثير أو أقل بكثير عن حاجة الكائنات الحية فإنه من المؤكد أن يقل نشاط وتكاثر الكائنات الحية ومن ثم حدوث مشاكل تؤثر على جودة المنتج النهائي .

طبقا لحسابات تصميم المحطة تم تصميم الأحواض لتوفير نسبة هي $F/M = 0.119$ للتشغيل المثالي مع العلم أنه في أنظمة التهوية المطولة مثل نظام الكاروسيل كما في محطة ينبع تكون النسبة $0.05 - 0.15 \text{ kg vss / kg BOD}$

يوجد أربعة أشياء مهمة يجب أن نتذكرها دائما بخصوص نسبة F/M هي :

1- أن تركيز الغذاء يتم تقديره عن طريق حساب كمية أيا من COD أو BOD وهذا يعطينا التركيزات الحقيقية تقريبا التي تعبر عن تركيز الغذاء التقريبي فعليا والذي يتم إستهلاكه أو إزالته بواسطة الكائنات الحية

2- كمية الغذاء التي تحتوي عليها مياه الصرف الخام هامة جدا لحساب نسبة F/M

3- كمية الكائنات الحية يتم التعبير عنها بالخليط المتخمر للمواد الصلبة العالقة الطيارة MLVSS وهو تركيز تقريبي موثوق به لحد كبير حيث أثبتت الدراسات التي أجريت عليه أنه صحيح وأقرب الى العد الخلوي للكائنات الحية مخبريا (لاحظ أن عملية عد وتقدير هذا الكم الهائل من الكائنات الحية في أحواض التهوية يكون عملية مرهقة ومعقدة في كل مرة وبالتالي

لجأ خبراء المعالجة لإيجاد وسيلة لتقدير كمية الكائنات الحية وعندما أجريت الدراسات أثبتت أن مفهوم MLVSS للتعبير عن الكائنات الحية دقيق وأقرب للعد الخلوي الحقيقي في المختبر .

1-البيانات المحسوبة لنسبة F/M تبنى على متوسط 5 أيام .
البيانات المطلوبة :

2-تركيز الأكسجين الحيوي الممتص أو الكيميائي المستهلك

3-معدل التدفق اليومي للمحطة

4-مخزون المواد الصلبة العالقة الطيارة في أحواض التهوية

5-معدل التدفق اليومي للمحطة أو منتج أحواض الترسيب الابتدائي

6-حجم حوض التهوية أو الأحواض قيد الخدمة

7-تركيز المواد الصلبة العالقة المتطايرة في أحواض التهوية

(لاحظ أن مخزون المواد الصلبة العالقة الطيارة بأحواض التهوية يتم حسابه من تركيز

MLVSS بالكيلو جرام مضروباً في حجم حوض التهوية بالمتر المكعب V) .

يتم تقدير نسبة F/M كالتالي :

$$F/M = \frac{(BOD \text{ or } COD \frac{kg}{m^3})(Q \text{ m}^3)}{SI \text{ kg}}$$

3-11-5 التحكم في ثبات متوسط زمن مكث الخلية Constant Mean Cell

(Residence Time MCRT) Control

تعد هذه الوسيلة أهم وأفضل الوسائل التي يمكن للمشغل استخدامها لأنها تمكن المشغل من التحكم في الحمل العضوي المتمثل في نسبة F/M كما يكون قادر على حساب كمية الحمأة التي يجب تخريجها من النظام WAST بطريقة موثوقة تعتمد على خبرته .

يمكن تعريف MCRT أنها متوسط الزمن التي تقضيه الحمأة النشطة في النظام كله (ليس فقط حوض التهوية كما في عمر الحمأة) ؛ يتم إختيار MCRT التي عندها تكون المياه المنتجة هي الأفضل من ناحية معايير المياه المعالجة وايضا الترسيب وباقي مراحل المعالجة على أن تتأخر هذه القيمة حمل F/M التي تم تصميم الأحواض عليها بمعنى على سبيل المثال لو فرضنا ان العملية التي تم تصميمها هي عملية معالجة بطريقة الحمأة النشطة التقليدية Conventional activated sludge يمكن ألا تعطي منتج نهائي ذو جودة عالية إذا تم تشغيلها عند MCRT منخفضة لأنه من المحتمل أن تكون نسبة F/M التي تم تصميم العملية عليها مرتفع ؛ لذلك يجب على المشغل إيجاد أفضل MCRT للعملية بإرجاعها إلى نسبة F/M التي تم تصميم المحطة عليها وأيضا كل من BOD , COD , TSS .

تحدد أيضا MCRT أنواع الكائنات الحية التي سوف تسود في عملية المعالجة بالحمأة النشطة لأنها سوف تؤثر بشكل مباشر على درجة النترية التي يمكن أن تحدث بالعملية .

المحطات التي يتم تشغيلها عند فترات MCRT طويلة (20-15) يوم يتم بها عمليات نترته بينما التي يتم تشغيلها لفترة (10-5) يوم يمكن ألا يحدث بها نترته مالم تكن درجة الحرارة مرتفعة حيث تؤثر درجة الحرارة على سرعة حدوث نترته ؛ الجدول التالي يوضح فترات MCRT التي تمكن من حدوث نترته عند درجات حرارة مختلفة .

تم تصميم عمر الحمأة في محطة ينبع طبقاً لمتوسط درجة حرارة 27 درجة مئوية وأعلى درجة حرارة للمياه 32 درجة مئوية

MCRT days	درجة الحرارة C ⁰
30	10
20	15
15	20
10	25
7	30

يمكن تقدير قيمة MCRT ومعدل تدفق الحمأة الزائدة WAS كالتالي :

$$\text{MCRT, day} = \frac{[\text{MLSS mg/L} \times (\text{Aeration Vol.} + \text{Clarifier Vol.})]}{[(\text{WAS, } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times (\text{WAS flow}) + (\text{TSS out} \times \text{flow out})]}$$

$$\text{MCRT, days} = \frac{\text{SI}}{[(\text{RASss})(\text{QWAS}) + (\text{efflvss})(\text{Q})]}$$

البيانات المطلوبة :

- 1- مخزون المواد الصلبة في حوض التهوية
- 2- تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة في الحمأة الراجعة
- 3- معدل تدفق الحمأة الزائدة (بفرض النسبة المحسوبة من الحمأة الراجعة RAS)
- 4- تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة في المنتج النهائي
- 5- معدل التدفق الداخل
- 6- زمن مكث الخلية بالنظام المرغوب فيه

7-تركيز

8-حجم حوض التهوية

$$\text{MCRT days} = \frac{\text{SI}}{[(\text{RASss})(\text{QWAS})+(\text{efflvsss})(\text{Q})]}$$

ثم يتم تقدير معدل تدفق الحمأة الزائدة للحفاظ على MCRT

$$\text{QWAS m}^3\text{d} = \frac{\text{SI}}{(\text{MCRT desired})(\text{RASvss})}$$

لإستخدام MCRT في التحكم في عملية الحمأة النشطة

$$\text{Mean Cell Residence Time, day} = \frac{[\text{MLSS mg/L} \times (\text{Aeration Vol.} + \text{Clarifier Vol.})]}{[(\text{WAS, } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times (\text{WAS flow}) + (\text{TSS out} \times \text{flow out})]}$$

يتم تحديد افضل قيمة MCRT بمقارنتها بجودة المنتج النهائي لنفس اليوم وعند الحصول على

افضل منتج نهائي يمكن تقدير كمية الحمأة بالكيلو جرام التي يجب تخريجها كالتالي :

$$\text{WAS kg/d} = \frac{[\text{MLSS mg/L} \times (\text{Aeration Vol.} + \text{Clarifier Vol.})]}{[\text{desired MCRT}]} - \text{TSS out} \times \text{Q effl.}$$

ثم نحسب معدل تدفق الحمأة الزائدة QWAS بالمتر المكعب في اليوم لنفس البيانات السابقة

كالتالي :

$$\text{QWAS m}^3\text{/d} = \frac{\text{waste kg/d}}{\text{WAS concentration mg/l}}$$

$$\text{Mean Cell Residence Time, day} = \frac{[\text{MLSS mg/L} \times (\text{Aeration Vol.} + \text{Clarifier Vol.})]}{[(\text{WAS, } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times (\text{WAS flow}) + (\text{TSS out} \times \text{flow out})]}$$

أو يمكن كتابة المعادلة كالتالي :

$$\text{MCRT days} = \frac{\text{SI}}{[(\text{RASss})(\text{QWAS})+(\text{efflvsss})(\text{Q})]}$$

حيث SI هو مخزون الحمأة في أحواض التهوية solids inventory

$$\text{Mean Cell Residence Time, day} = \frac{[3524 \text{ mg/L} \times (16078 + 6591)]}{[(7047, \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times (875)) + (15 \times 20000)]} = 12.4 \text{ days}$$

يمكن استخدام زمن مكث الخلية في التحكم في عملية الحمأة النشطة للمحطة حيث يتم تحديد

افضل قيمة MCRT بمقارنتها بجودة المنتج النهائي لنفس اليوم وعند الحصول على افضل

منتج نهائي يمكن تقدير كمية الحمأة بالكيلو جرام التي يجب تخريجها كالتالي :

$$\text{WAS kg/d} = \frac{[\text{MLSS mg/L} \times (\text{Aeration Vol.} + \text{Clarifier Vol.})]}{[\text{desired MCRT}]} - \text{TSS out} \times \text{Q effl.}$$

ثم نحسب معدل تدفق الحمأة الزائدة QWAS بالمتر المكعب في اليوم لنفس البيانات السابقة

كالتالي :

$$\text{QWAS m}^3/\text{d} = \frac{\text{waste kg/d}}{\text{WAS concentration mg/l}}$$

3-12 التحكم في جودة الحمأة sludge quality control

يمكن استخدام تقنية التحكم في جودة الحمأة بشكل مفرد أو إقرانها مع تقنيات التحكم الأخرى التي شرحناها آنفا وهذا يتطلب الإختبارات التالية :

- إختبار ترسيب الحمأة في 30 دقيقة
- عمق غطاء الحمأة
- تركيز المواد الصلبة للخليط المتخمر MLSS بطريقة الطرد المركزي
- تركيز المواد الصلبة للحمأة الراجعة بطريقة الطرد المركزي
- عكارة المنتج للمعالجة الثنائية (المنتج الثانوي بعد احواض الترسيب)
- الأوكسيجين الذائب
- الفحص المجهرى للخليط المتخمر في احواض التهوية MLSS
- الملاحظات العينية على أحواض التهوية وأحواض الترسيب
- ثم يتم رسم البيانات على ورق رسم بياني مقابل الوقت لفترة قدرها 5 أيام من الإختبارات أو متوسطها في 5 أيام وهو ما يعرف متوسط الحركة Moving average test

3-12-1 حجم الحمأة المترسب Settled Sludge Volume

يمكن تقدير حجم الحمأة المترسب لأي فترة زمنية إلا أن الغالب تقديره خلال 30 دقيقة SSV30 أو / و 60 دقيقة SSV60 ويمكن تقديره ملل/ل أو نسبة مئوية من الحجم الكلي

$$\text{Settled Sludge Volume (mL/L)} = \frac{\text{Settled Sludge Volume (mL)}}{\text{Sample Volume (L)}}$$

$$\text{Settled Sludge Volume \%} = \frac{\text{Settled Sludge Volume (mL)}}{\text{Sample Volume (L)}} \times 100$$

2-12-3 مؤشر حجم الحمأة Sludge Volume Index SVI

وهو مؤشر على جودة ترسيب الحمأة ؛ اذا كانت قيمته في تزايد مضطرد كان الترسيب بطئ والندف غير متماسكة ويزيد تركيز المواد الصلبة العالقة في المنتج النهائي وعمر الحمأة صغير أو يوجد تكتل بالحمأة (وفي هذه الحالة يجب تقليل التخريج WAS وزيادة معدل الحمأة الراجعة RAS) ؛ وكلما كان في تناقص تكون الندف أو الحمأة أكثر كثافة والترسيب يكون سريع وعمر الحمأة كبير (وفي هذه الحالة يجب زيادة معدل التخريج WAS وخفض معدل الحمأة الراجعة RAS) أما اذا كانت ثابت تقريبا فهي الحالة الطبيعية ولا يتم اتخاذ اي اجراء .

$$\text{Sludge Volume Index (SVI)} = \frac{\text{SSV (mL/L)} \times 1000}{\text{MLSS mg/l}}$$

توجد تقديرات مختلفة لقيمة مؤشر حجم الحمأة 50-150 أو 80-120 أو 100-200 وعموما اذا كانت قيمتها أقل من 100 تشير الى حمأة ذات عمر كبير وتوجد ندف دبوسية والمنتج النهائي أو الثانوي عكر ؛ واذا كانت 100-200 تكون في المعدل الطبيعي ويكون الترسيب جيد والمنتج النهائي رائق ؛ واذا زادت عن 250 تكون الحمأة صغيرة ويحدث تكتل حمأة وترسيب ضعيف

تم تصميم محطة ينبع على مؤشر حجم للحمأة 125

3-13 إنتاج المواد الصلبة العضوية وحسابات الضخ

Biosolids production and pumping calculations

3-13-1 تقييم كمية الحمأة المنتجة في اليوم Estimating Daily Sludge

Production

يتم حساب معدل تصريف المضخة كالتالي :

$$\text{Estimated Pump rate m}^3/\text{hrs} = \frac{\text{Influent TSS Conc} - \text{Effluent TSS Conc}}{\% \text{ Solids in Sludge}}$$

3-13-2 زمن تشغيل المضخة pump operating time

كمية الحمأة المتوقع إنتاجها في اليوم حيث أن إنتاجية الحمأة في اليوم هي

$$\text{Sludge production kg DS/d} = 18043 \text{ kg DS/d}$$

وعند تركيز حمأة راجعة 7074 mg/L تكون إنتاجية الحمأة بالمتر المكعب

$$\text{Sludge production kg W.S/d} = \frac{18043 \text{ kg DS/d}}{7.074 \text{ kg/m}^3} = 2550.6 \text{ m}^3 \text{ WS/d}$$

ويوجد ثلاث مضخات للحمأة الزائدة سعة المضخة 75m³/hr مضختان بالخدمة والثالثة

احتياطية ؛ لكي يتم ضخ كل كمية الحمأة الناتجة من العملية يلزم تشغيل كل مضخة من

مضخات الخدمة 17.04 hr

التصرف الكلي للمضخات الثلاثة : 150 m³/hr = 2 x 75 m³/hr

m³/hr

عدد ساعات تشغيل المضخات 17.004 hr = 2550.6 m³ WS/d / 150 m³/hr

يتم تقسيم زمن تشغيل المضخات على مدار اليوم بحيث يتم توزيع عدد ساعات التشغيل على الورديات الثلاثة :

عدد ساعات تشغيل المضخات لكل وردية :

$$17.04 \text{ hr}/3 \text{ shieft} = 5.68\text{hr}/\text{shieft}=341\text{minutes}/\text{shieft}$$

يمكن حساب نسبة المواد الصلبة المتطايرة في الحمأة المنتجة كالتالي :

كمية الحمأة المنتجة بالكيلوجرام هي تساوي عدد الأمتار المكعبة المنتجة لأن الفرق في الكثافة بين الماء والحمأة المنتجة بسيط يمكن اهماله حيث يكون (كثافة الحمأة 1080 g/L) وزن الحمأة في المتر المكعب 1080كجم/م³ ؛ فإذا كانت كمية الحمأة المنتجة بالمتر المكعب هي 2556م³/d يكون وزنها بالكيلوجرام :

$$= 2550.6 \text{ m}^3 \text{ WS}/\text{d} \times \text{Total Sludge Production (kg)}$$

$$1080\text{kg}/\text{m}^3=2754648 \text{ kg}/\text{d}$$

يمكن حساب انتاج الحمأة لكل 1000 م³ ايضا

$$\text{Sludge (kg}/1000 \text{ m}^3) = \frac{\text{Total Sludge Production (kg)}}{\frac{\text{Total Wastewater Flow}}{1000\text{m}^3}}$$

$$\text{Sludge (kg}/1000 \text{ m}^3) = \frac{2754648 \text{ kg}/\text{d} \times \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times 1000}{60000\text{m}^3/\text{d}} = 45910.8(\text{kg}/1000 \text{ m}^3)$$

انتاج الحمأة بالوزن في السنة Sludge Production in Wet Tons per Year

يمكن التعبير عن الحمأة المنتجة في صيغة كمية الحمأة (مياه + مواد صلبة) أو مايسمى

wet tons وهي عادة تستخدم لحسابها في العام .

$$\text{Sludge (wet tons/yr)} = \frac{\text{Sludge Produced} \left(\frac{\text{kg}}{1000\text{m}^3} \right) \times \text{Avg. Daily Flow (m}^3/\text{d)} \times 365 \text{ days/yr}}{\frac{1000\text{kg}}{\text{ton}}}$$

$$\text{Sludge (wet tons/yr)} = \frac{45910.8(\text{kg}/1000 \text{ m}^3) \times \frac{60000}{1000} \times 365 \text{ days/yr}}{\frac{1000\text{kg}}{\text{ton}}} = 1005446.5(\text{wet tons/yr})$$

تزيل عملية المعالجة المواد الصلبة و BOD من مياه الصرف قبل صرف المياه المعالجة على المجاري المائية والباقي يسمى حمأة sludge أو مواد صلبة عضوية hemical449449 ؛ يطلق اسم الحمأة على المواد الصلبة المتبقية من عملية المعالجة وإذا تم استخدام هذه المواد الصلبة في اعمال اخرى مثل السماد الطبيعي تسمى مواد صلبة عضوية hemical449449 ؛ مصطلح مواد صلبة solids يطلق على المواد الصلبة فقط اما مصطلح المواد الصلبة العضوية 449hemical449 يطلق على المواد الصلبة + الماء .

تمثل المواد الصلبة العضوية 2% من حجم مياه الصرف المعالجة وحتوي المواد الصلبة العضوية على 97% مياه مما يجعل من الصعب التعامل معها والتخلص منها بطريقة آمنة لذلك يجب معالجتها لتقليل المحتوى المائي لها ويتم ذلك بطرق عدة .

3-13-3 النيتروجين المتاح Plant Available Nitrogen (PAN)

من العوامل التي تأخذ في الإعتبار عند دفن الحمأة في المكامر أو أماكن الدفن هو نسبة النيتروجين المتواجد بها وتشمل نيتروجين - الأمونيا والنيتروجين العضوي ؛ يجب تحويل النيتروجين العضوي الى نيتروجين غير عضوي او معدني mineralized وفي الواقع لا يتم تحويل سوى جزء منه سنويا .

عامل التمعدن $f1 = 0.2$ ؛ كمية الأمونيا المتاحة ترجع مباشرة الى الوقت المطبق بين plowing وعملية الدفن للحماة و يتم حسابها كالتالي :

$$\text{PAN (kg/dry ton)} = \left[\left(\text{Organic Nitrogen} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) \times f1 + \text{Ammonia Nitrogen mg/kg} \times V1 \right) \times 0.0044 \text{ kg/dry ton} \right]$$

حيث :

معدل تمعدن النيتروجين العضوي $f1 = 0.20$

معدل تطاير نيتروجين الأمونيا $V1 = 1.00$ لو تم حقن الحماة injected

معدل تطاير نيتروجين الأمونيا $V1 = 0.85$ لو تم plowed الحماة خلال 24 ساعة

معدل تطاير نيتروجين الأمونيا $V1 = 0.70$ لو تم plowed الحماة خلال 7 أيام

مثال : اذا كانت الحماة تحتوي على 21000 ملجم/كجم من النيتروجين العضوي وتحتوي على 10500 ملجم/كجم من نيتروجين - الأمونيا N-NH_3 ويجب دفن الحماة في التراب خلال 24 ساعة فما هو نيتروجين المحطة المتاح PAN لكل يوم بالطن من المواد الصلبة

PAN/dry ton

$$\text{PAN (kg/dry ton)} = \left[\left(21000 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) \times 0.2 + 10500 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) \times 0.85 \right) \times 0.0044 \frac{\text{kg}}{\text{dry ton}} \right] = 57$$

3-13-4 Application Rate Based on Nitrogen Requirement

يتم اولا تحديد كمية النيتروجين الازم لنمو النبات ثم حساب كمية الحمأة بالطن الجاف اللازمة لذلك :

$$\text{Dry tons/m}^2 = \frac{\text{Plant Nitrogen Requirement (kg/ m}^2\text{)}}{\text{Plant Available Nitrogen (kg/dry ton)}}$$

3-13-5 Metals Loading

بما ان الحمأة تدفن في التربة فيجب متابعة تركيز المعادن لأنها ستؤثر على البيئة ويتم حساب حمل المعادن كالتالي :

$$\text{Loading (kg/m}^2\text{)} = \text{Metals Concentration (mg/kg)} \times 0.0044 \text{ lb/dry ton} \times \text{Application Rate (dry tons/m}^2\text{)}$$

الا يكون يكون هناك معدل لتكرار دفن الحمأة في نفس المكان حتى لا تزيد نسبة تركيز المعادن في المكان ويحسب اقصى معدل يمكن تكرار دفن الحمأة في نفس المكان من العلاقة :

$$\text{Applications} = \frac{\text{Maximum Allowable Cumulative Load (kg/m}^2\text{)}}{\text{Metal Loading (kg/m}^2\text{/application)}}$$

ويمكن استخدام اعلى معدل تطبيق أو دفن مبني على حمل المعادن وعدد مرات الدفن لكل عام في لتقدير اقصى عمر لمكان الدفن .

$$\text{Site Life (yr.)} = \frac{\text{Maximum Allowable Applications}}{\text{Number of Applications Planned per Year}}$$

الفصل الرابع



إختبارات مراقبة الجودة والتشغيل

Quality and operation control tests

مقدمة

دور المختبر في محطات معالجة مياه الصرف

عملية معالجة مياه الصرف الصحي بالحماة النشطة هي ببساطة استخدام التكنولوجيا في تطويع الكائنات الحية الموجودة أساسا في هذه المياه لمعالجتها وذلك بتحديد مجال محدد أو حجم محدد يتوفر فيه الظروف الملائمة لنمو أنواع محددة من هذه الكائنات أكثر من غيرها للقيام بهذه المهمة ومن ثم فإن تصميم الأحواض وشكلها وترتيبها وكل الوسائل المساعدة مثل الخلطات ونوافخ الهواء والمضخات كلها وسائل الغرض منها توفير هذه الظروف .

عند توفر هذه الظروف تنمو الاثنيات الحية بشكل جيد وتبدأ عملية المعالجة عن طريق سلسلة من التفاعلات الكيموحيوية biochemical reactions نتيجة النشاط الحيوي للكائنات الحية التي تقوم بعملية أساسية تنتج منها هذه التفاعلات وهي عملية التمثيل الغذائي metabolism وتشمل اتجاهين رئيسيين هما الهدم catabolism والبناء anabolism تتضمن تكسير المواد العضوية والغير عضوية الذائبة في المياه (الملوثات) داخل وخارج الخلايا الحية ومن ثم تحويلها الى مواد جديدة يمكن التخلص منها بسهولة بالإضافة الى زيادة عدد الكائنات الحية عن طريق التكاثر وكلها تسمى الكتلة الحيوية Biosolids .

من هنا تكون أهمية المختبر الذي يقوم بمهمتين أساسيتين الاولى هي مراقبة جودة المياه المعالجة والتأكد من مطابقتها للمعايير والثانية مراقبة عملية التشغيل وذلك لأن عملية التشغيل ماهي الا سلسلة من التفاعلات الكيموحيوية حيث يقوم المختبر بإجراء التحاليل اللازمة لكل مراحل المعالجة للتأكد من سير عملية التشغيل بالشكل الصحيح .

نتائج تحاليل متابعة عملية التشغيل في المراحل المختلفة هي المرآة التي توضح كفاءة عملية التشغيل من عدمها ؛ ولا يمكن للمشغل السير بطريقة صحيحة في عملية تشغيل الحمأة النشطة الا إذا تابع بشكل جيد تحاليل المختبر المتعلقة بعملية التشغيل ومراقبة المنتج النهائي لأنه وطبقا لنتائج هذه التحاليل يتم إتخاذ القرار المناسب بتعديل عملية التشغيل ؛ فمثلا القياسات الخاصة بتركيز الحمأة في أحواض التهوية MLSS أو الحمأة الراجعة أو معدل تدفق الحمأة الراجعة Q RAS أو معدل تدفق الحمأة الزائدة Q WAS أو عمر الحمأة في النظام كلها رغم توافر البيانات التصميمية الا أنه غالبا ما يتم التشغيل في حدود تختلف عن الحدود التصميمية بسبب إختلاف المعايير للمياه الواردة للمحطة وحجمها عن المعايير التصميمية ؛ ولا يمكن تحديد المعايير التي يتم التشغيل عليها بدقة الا من خلال نتائج التحاليل .

أيضا تمكن نتائج التحاليل المشغل من اتخاذ إجراءات وقائية لتفادي حدوث مشاكل تشغيلية للحمأة النشطة فمثلا إختبارات الفحص المجهرى للحمأة في أحواض التهوية و الترسيب للتعرف على نوعية الكائنات الحية السائدة هام جدا لأنه يعتبر بمثابة إنذار مبكر للمشغل مثلا في حال إكتشاف تزايد أعداد البكتريا الخيطية ومن ثم يقوم المشغل بالبحث عن أسباب تزايدها وحل المشكلة ؛ بل إن تواجد أنواع من البكتيريا الخيطية بعينها يدل على مشكلة بعينها موجودة يتم إتخاذ الإجراء المناسب حيالها فورا .

أيضا وجود أنواع معينة من الكائنات الحية تكون سائدة في أحواض الترسيب أو التهوية يكون مؤشر على جودة عملية التشغيل من عدمه مثلا عندما تسود أنواع من البروتوزوا مثل الهدبيات ذات السيقات أو الهدبيات الحرة العائمة التي تُؤشر على جودة الترسيب وكفاءة عملية التشغيل ؛ وقد يدل بعضها على عمر حمأة طويل مثل الديدان... الخ وسوف نتناول بالتفصيل كيفية

قراءة نتائج التحاليل الكيموحيوية والكيميائية والفحص المجهرى للحمأة وكيف يمكن أستخدم هذه التحاليل والفحص في التحكم في كفاءة عملية تشغيل الحمأة النشطة بالمحطة .



4-1 الإختبارات الضرورية للمياه الخام والمعالجة والحماة

Necessary laboratory tests for raw water, treated water and sludge

يتم عمل إختبارات يومية لمتابعة التشغيل وأيضا لمتابعة جودة المنتج النهائي ونعرض هنا نموذج من التقارير المستخدمة والتي توضح مختلف الإختبارات الضرورية لمتابعة عملية التشغيل وجودة المنتج النهائي وكذلك كفاءة المحطة وكفاءة كل وحدة من وحدات المعالجة بالمحطة

4-1-1 الإختبارات الكيميائية والكيموحيوية والخواص الفيزيائية chemical , biochemical and physical tests

تنقسم الإختبارات التي تجرى في مختبر محطة معالجة مياه الصرف الصحي إلى قسمين رئيسيين هما إختبارات الجودة وإختبارات متابعة عملية التشغيل .

إختبارات الجودة وهي الإختبارات التي تجرى على المياه المعالجة لتقييم كفاءة المحطة في معالجة المياه والتأكد من مطابقة المياه المعالجة للمعايير طبقا للملائحة التنفيذية الخاصة بمعايير مياه الصرف الصحي المعالجة ؛ كما أنها تعطي مؤشرات على الخلل أو المشاكل التي يمكن أن تكون متواجدة في عملية التشغيل ويتم استخدام بياناتها في حسابات كفاءة كل وحدة من وحدات المعالجة وتقييم كفاءة عملية المعالجة بصفة عامة .

إختبارات متابعة التشغيل وهي تلزم لكي يستطيع المشغل إجراء الحسابات اللازمة لمعرفة العديد من معايير عملية التشغيل مثل عمر الحماة ومعدل تدفق الحماة الراجعة ومعدل صرف الحماة

الزائدة ؛ كما تستخدم في تفسير مشاكل المعالجة البيولوجية وكيفية التحكم في عملية الحمأة النشطة والمشاكل المرتبطة وكيفية معالجة هذه المشاكل ؛ تستخدم أيضا مع اختبارات الجودة واختبارات المياه الخام في تقييم كفاءة وحدات المعالجة والمحطة عموما .

لا يمكن أن تتم عملية تشغيل بطريقة صحيحة وكفاءة عالية بدون متابعة بيانات التحاليل التي تجرى يوميا على المياه والحمأة ولا يمكن التحكم بشكل فعال وصحيح في عملية الحمأة النشطة بالمحطة بدون الرجوع لهذه الإختبارات واستخدامها في الحسابات التي تجرى لضبط عملية التشغيل ؛ ويمكن إجمال القول في أن كل الحسابات الواردة في خطة التشغيل هذه مبنية على نتائج هذه الاختبارات فضلا على المعايير التي تم عليها تصميم المحطة .

إن الاختبارات الكيميائية والكيموحيوية والفحص المجهرى للمياه والحمأة وتطوير بياناتها هو حجر الزاوية في نجاح عملية المعالجة البيولوجية ؛ كما أن دراية المشغل بهذه البيانات والقدرة على تحليل البيانات وربط هذه البيانات بعملية التشغيل مع قاعدة المعرفة العلمية بسلوك الكائنات الحية ونشاطها وحركية هذه الكائنات هو الأساس في نجاح عملية المعالجة اذا كانت عمليات الصيانة جيدة .

وأخيرا لا يمكن لخبراء تصميم محطات معالجة مياه الصرف الصحي إجراء تصميمات صحيحة لمحطة ما دون معرفة جيدة بحركية الكائنات الحية وخصائصها ونشاطها البيولوجي والكيموحيوي حيث أن عملية التصميم كلها تبنى على هذه المعرفة مع خصائص المياه الخام الكيميائية .

سوف نشرح بعض الاختبارات وعلاقتها بعملية التشغيل وكيف يمكن الاستفادة منها وماهي دلائل هذه الاختبارات ونظر الباقي في نماذج

يتم إجراء كل الإختبارات الموضحة بال نماذج التالية :





التدفق/يوم (3م)	18-10-1437	تاريخ جمع العينة	اليوم / Day
نوع المعالجة البيولوجية	23/7/2016	Date of Sample	الجمعه
حماة نشطة	18-10-1437	تاريخ تحليل العينة	الاسبوع / Week
	23/7/2016	Date of Analyses	الاسبوع الأول

المواصفات القياسية Standard Specification		نتائج التحاليل Analysis Results				الرمز	الاختبار
المعالجة الثلاثية	المعالجة الثانية	الداخل	المعالجة الثلاثية	المعالجة الثانية	الداخل	Unity	Test
CCT	FST	Inlet	CCT	FST	Inlet		
6-8.4	6-8.4	9- 6 1.				--	الرقم الهيدروجيني pH
-	-	-				Mg/L	الأكسجين الذائب Dissolved oxygen
5	5	-				NTU	العكارة Turbidity
-	-	200				Mg/L	القلوية Alkalinity
-	-	1000				Mg/L	الكلوريدات Chlorides
-	-	-				Mg/L	المواد الصلبة الكلية Solids Total
10	40	600				Mg/L	المواد الصلبة العالقة الكلية Solids Suspended Total
-	-	1000				Mg/L	الاحتياج الكيميائي للأكسجين Chemical Oxygen Demand
10	40	500				Mg/L	الاحتياج الحيوي للأكسجين Bio Chemical Oxygen Demand
10	10	-				Mg/L	نترات - نتروجين Nitrate – Nitrogen
-	-	-				Mg/L	نترت - نتروجين Nitrite – Nitrogen
5	5	80				Mg/L	أمونيوم - نتروجين Ammonium – Nitrogen
-	-	25				Mg/L	الفوسفات الكلي Total Phosphate
25	0	-				mw.s/cm	الأشعة فوق البنفسجية ultra violet
-	-	-				Mg/L	نتروجين كدال الكلي Total Kjeldahl Nitrogen
2.2	1000	-				عدد/100مل	بكتيريا القولون الكلية Total Coliform Bacteria
2.2	1000	-				عدد/100مل	بكتيريا القولون البرازية Fecal Coliform Bacteria
1	-	-				عدد/لتر	بويضات الديدان Eggs of worms

كفاءة المحطة (%)			
COD	BOD	TSS	NH4

كمية الحمأة المنصرفة (3م/يوم)	كمية الحمأة المعادة (3م/يوم)
-------------------------------	------------------------------



6696	التدفق/Flow (م3/يوم)			الشهر (Month)		الاسبوع / Week
	نوع المعالجة البيولوجية حماء نشطة			السنة (Year)		الأول

معايير التشغيل التصميمية Operating standards	نتائج التحاليل Analysis Results	الوحدة Unity	الرمز Symbol	الاختبار Test	مكان اخذ العينة Place of sampling	
8.4 -- 6		--	pH	الرقم الهيدروجيني pH	مدخل حوض التهوية	
--		Mg/L	S ²⁻	الكبريتيدات Sulphides		
Nil		NTU	FOG	الدهون والزيوت والشحوم Fats, oils and grease		
--		Mg/L	COD	الاحتياج الكيميائي للأوكسجين Chemical Oxygen Demand		
--		Mg/L	BOD5	الاحتياج الحيوي للأوكسجين Bio Chemical Oxygen Demand		
25		°C	TEM	درجة الحرارة Temperature	حوض التهوية	
4 -- 2		Mg/L	DO	الأكسجين الذائب Dissolved Oxygen		
6000 -- 3000		Mg/L	MLSS	المواد الصلبة العالقة Mixed liquor suspended solids		
--		Mg/L	MLVSS	المواد الصلبة العالقة المتطايرة Mixed liquor volatile suspended solids		
0.3 -- 0.05		--	F/M	نسبة الغذاء للكائنات الحية Food / Microorganisms		
600 -- 300		ML	SV	حجم الحماة Sludge Volume		
120 -- 80		Mg/L	SVI	معامل حجم الحماة Sludge Volume Index		
--	الكتيريا الخيطية filamentous الطريات Fungi	--	--	الفحص الميكروسكوبي Microscopic Checked		
25 -- 10		Day	SA	عمر الحماة Sludge Age		أحواض الترسيب
--		Mg/L	--	تركيز الحماة الجافة (قبل التجفيف) Dry solid (before belt press)		الحماة
--		Mg/L	--	تركيز الحماة الجافة (بعد التجفيف) Dry solid (after belt press)		
--		Mg/L	--	تركيز المواد الصلبة العالقة (قبل الفلتر) TSS (before belt sand filter)	الفلتر	
--		Mg/L	--	تركيز المواد الصلبة العالقة (بعد الفلتر) TSS (after belt sand filter)		

كفاءة المحطة (%)		
كفاءة وحدة الحماة	كفاءة وحدة الفلتر	كفاءة وحدة الحماة

400

كيميائي / إبراهيم الشامي

4-1-2 اختبار الترسيب settleometer test

الهدف من اختبار الترسيب هو معرفة مقدرة الحماية على الفصل من الماء ويجرى افختبار للحمأة النشطة لمعرفة مقدرتها على الفصل في حوض الترسيب الثانوي ويجرى الإختبار ايضا للهواضم الهوائية لمعرفة زمن الترسيب.

يفضل استخدام دورق سعة 2 لتر مزود بقلاب وهو عبارة عن جهاز لإجراء هذا افختبار بطريقة تقلل الخطأ وتكون أقرب لواقع حوض الترسيب (2L Mallory direct reading SGA) وقلاب وساعة توقيف .

1- يتم جمع عينة 205 لتر واحضارها الى المختبر خلال 15 دقيقة لبدء الإختبار فورا دون تأخير

15- يتم تلقيب العينة بلطف ثم صبها في جهاز الترسيب settleometer

3- يتم تفرغ 1000 سم³ في الجهاز فقط (لاحظ الجهاز مدرج من 0-1000 و ايضا الى 2000 سم³)

4- يتم تلقيب العينة داخل الجهاز بلطف ثم ايقاف القليب ببطئ ايضا ثم سحب القلاب

5- نسجل غطاء الحمأة المتكون خلال النصف ساعة الأول كل خمس دقائق 5 ثم كل عشر دقائق 10 خلال نصف الساعة التالي

6- يتم تسجيل كل الملاحظات على عملية الترسيب والمحلول الرائق ايضا اثناء ذلك كما سبق شرحه لملاحظة حالة الترسيب .

7- بالنسبة للهواضم الهوائية تأخذ القراءة الأولى بعد 15 دقيقة ثم 30 دقيقة ثم 1 ساعة ثم 1 ساعة لأربعة قراءات على الأقل متتالية

Settleometer data activated sludge sheet			
Date :		Observations :	
Sample location :		Floc	
Analyst :Ibrahim elshamy		<input type="checkbox"/> flocculant <input type="checkbox"/> dispersed	
Time of test		Interface	
$SSC = \frac{ATC \times 1000}{SSV}$		<input type="checkbox"/> well defined <input type="checkbox"/> ragged	
Time minutes	SSV _{cc}	SSC%	Supernatant
0			<input type="checkbox"/> clear
5			<input type="checkbox"/> turbid { <input type="checkbox"/> pinfloc <input type="checkbox"/> stragglers floc }
10			
15			
20			comment : (odor , color , etc)
25			rise time : hrs
30			
40			
50			
60			

4-1-3 الترسيب ومقياس الترسيب Settleometer & settleability

يعطي اختبار الترسيب مؤشر للمشغل على حدوث مشكلة متوقعة أو وشيكة الحدوث وبالتالي يكون عند المشغل الوقت المناسب واللازم لإحداث تغييرات على عملية المعالجة قبل حدوث المشكلة فهو بمثابة الكشف المبكر عن المشاكل الخاصة بجودة الحمأة ؛ كما تكون المعلومات المتاحة من الإختبار عملية اذا كانت مستخلصة من مشاكل تشغيلية لا يمكن تجنبها ؛ اذا سيوفر الإختبار الوقت للمشغل لكي يتخذ القرار المناسب ووضع حلول للمشاكل المتوقعة .

يجب ان يلاحظ المشغل شيئين مهمان أثناء الإختبار وهما :

*كيفية تكوين الندف

*كيفية تكوين غطاء الحمأة

وبالتالي سوف يلاحظ عدة ملاحظات هامة مترتبة على ذلك هي

*شكل الندف ... (هل الندف محببة الشكل ؛ مضغوطة ؛ رقيقة ؛ ريشية)

*كيفية ترسيب الندف... (هل يتم ترسيبها بشكل مفرد ؛ أم تكون غطاء أولا ثم تترسب عليه)

*شكل سطح الندف.. (هل هي خشنة وعقدية أم متماتلة السطح)

بعد ان يشاهد المشغل هذه الخواص يجب أن يلاحظ معدل الترسيب وخواص الإنضغاط للندف

*هل يتم ترسيب غطاء الحمأة بشكل متماتل أم يترسب بعض القطع أو الندف اسرع من

الأخرى ؟

*هل يصطاد غطاء الحمأة معظم الندف أم هي عبارة عن ندف شاردة ومشتتة ؟

*هل الحمأة مضغوطة ومعصورة أم حمأة كثافتها ثابتة عموما ؟

مثل هذه الملاحظات هامة جدا للمشغل ويمكن ان يسجلها كملاحظات في دفتر المتابعة أو

التقرير الخاص بالعمل داخل المختبر حيث لا يمكن تحويل هذه الملاحظات لأرقام يتم تسجيلها

بالتقرير ؛ لكن يمكن للمشغل تسجيل أرقام أخرى من خلال متابعة الإختبار وعمل رسم بياني يوضح له حالة الإختبار وجودة الحمأة وذلك بملاحظة وتسجيل النتائج كل خمس دقائق يتم فيها الترسيب لمدة النصف ساعة (30 دقيقة) الأولى من الترسيب ثم لمدة 10 دقائق للنصف ساعة التالي .

يوجد العديد من الملاحظات التي يمكن للمشغل ملاحظتها في النصف ساعة الأول ؛ اذا تم قياس تركيز حوض التهوية بإختبار الطرد المركزي ATC فيمكن للمشغل عمل بعض العمليات الحسابية من البيانات ؛ الحسابات موضع الإهتمام هي تحويل حجم ترسيب الحمأة SSV الى تركيزات الحمأة المترسبة SSC والتي يتم تقديرها وحسابها لأي وقت كالتالي :

البيانات المطلوبة :

*النسبة المئوية لتركيز حوض التهوية $ATC\% = 3.4$

*حجم الحمأة المترسب عند زمن عند 30 دقيقة $SSV_{tml/l} = 680$ t

*زمن الترسيب (الزمن الذي تم فيه الترسيب 30 دقيقة) t

ثم يتم تقدير تركيز الحمأة المترسب كالتالي :

$$SSC_t = \frac{(ATC)(1000 \frac{ml}{l})}{SSV_t}$$

$$SSC_{30} = \frac{(ATC)(1000 \frac{ml}{l})}{SSV_t} = \frac{(3.4)(1000 \frac{ml}{l})}{30} = 5\%$$

هذا معناه أنه بعد 30 دقيقة سوف تترسب الحمأة الى 5% فقط

يمكن حساب تركيزات الحمأة المترسبة لأوقات مختلفة وعمل رسم بياني يناظر الوقت واليوم .

*وجد أن تركيزات الحمأة المترسبة بعد 5 دقائق و 30 دقيقة و 60 دقيقة تمثل خصائص الترسيب للحمأة .

*معظم عملية الترسيب تتم قبل 30 دقيقة وبالتالي مسافة الترسيب (المسافة الفارغة من المخبار) تعكس معدل ترسيب الحمأة فمثلا لو أن حجم الحمأة المرسب في 30 دقيقة هو 200 ملل/ل فإنه يكون مؤشر على سرعة الترسيب أما اذا كان 600 ملل/ل مثلا فيكون مؤشر على بطئ الترسيب

*الخمس دقائق الأولى من تركيز الترسيب مؤشر على كفاءة الترسيب وجودة الندف وغطاء الحمأة

*تركيز الحمأة بعد 60 دقيقة يشير لحالة الحمأة من ناحية الإنضغاط المتوقع للحمأة وبالتالي توجد علاقة بين هذا التركيز وتركيز الحمأة الراجعة الذي يتم ملاحظته واقعا في الأحواض إلا ان هذه الأرقام نادرا ما تتطابق بسبب التدفق والإختلاف الفيزيائي الموجود في حوض الترسيب *من خلال البيانات والملاحظات التي تستمد من الإختبار يستطيع المشغل ان يقرر معدل تدفق الحمأة الراجعة RAS

*في حالة الترسيب العادي يكون معدل تركيز الحمأة في خلال 60 دقيقة SSC60 (12-18) ولا يتم ترسيب المزيد خلال الساعتين (120 دقيقة) الأولى من الإختبار .

*في حالة الترسيب السريع يكون تركيز الحمأة خلال 60 دقيقة SSC60 أكبر من (20) في خلال الساعة الأولى ولا يتم ترسيب المزيد من بعد هذه الساعة وتكون الحمأة مؤكسدة بصورة زائدة وهذه الحالة تكون مصحوبة ببعض المشاكل في حوض الترسيب الثانوي مثل الترمد

Ashing أو تكتل وتناقل الحمأة clumping أي زيادة في وزن الندف وسرعة في الترسيب

*في حالة الترسيب البطئ يكون التركيز في 60 دقيقة الأولى SSC60 (10) أو أقل وتستغرق حوالي 3-4 ساعات للوصول الى الترسيب النهائي ولكي يحدث انضغاط للندف مع

بعضها وتكون الحمأة في هذه الحالة صغيرة العمر ؛ الحمأة التي يكون عمرها صغير جدا لا يتم ترسيبها على الإطلاق في خلال 5-10 دقائق الأولى ويكون تركيزها من 700-900 ملل/ل في خلا الساعة الأولى وتكون مصحوبة بغطاء حمأة سميك وكبير جدا ومرتفع في حوض الترسيب مما قد يتسبب في تكتل الحمأة وطفوها وخروجها من فوق الهدار ثم الى الفلاتر وفي هذه الحالة يجب تخفيض تخريج الحمأة لكي يزيد ترسيب الحمأة مع زيادة معدل رجوع الحمأة للتقليل من ارتفاع غطاء الحمأة بحوض الترسيب ؛ يمكن استخدام معدل ترسيب الحمأة للحصول على منتج نهائي جيد وبصفة عامة يكون أفضل معدل ترسيب ما بين 400-1200 وهذا يناظر 400-800 ملل/ل في خلال 30 دقيقة ؛ يمكن تعريف معدل الترسيب SSR هو الزيادة في ترسيب الحمأة في الساعة ويمكن تقديره وحسابه كالتالي :

البيانات المطلوبة :

* حجم الحمأة المترسب في 30 دقيقة $SSV_{30} = 680 \text{ ml/l}$

$$SSR = \frac{1000 - SSV_{30}}{0.5 \text{ hr}} = \frac{1000 - 680}{0.5} = 640 \text{ ml/l/hr}$$

يمكن رسم بياني لكل من العكارة في المياه المروقة وعمق غطاء الحمأة ومعدل ترسيب الحمأة وخواص الحمأة مثل تكوين الندف وغطاء الحمأة للإستفادة منه في عملية التحكم حيث يكون الوقت باليوم على المحور الأفقي والبارامتر على الرأسي .

* أفضل ترسيب يحدث إذا تم ترسيب 500 ملل/ل من الحمأة بعد الخمس دقائق الأولى من الترسيب أي يكون حجم الحمأة المرسب 500 ملل/ل .

تركيز الحمأة المترسبة SSC هو تركيز الحمأة عند أي وقت ؛ عندما تترسب الحمأة تصبح أكثر تركيزا وبمعرفة التركيز في بداية الترسيب للاختبار وبملاحظة حجم الحمأة المترسب عند وقت أو بعد وقت ما يمكن حساب تركيز الحمأة المرسبة في خلال هذا الوقت من المعادلة :

$$SSC = \frac{ATC \times 1000}{SSVt}$$

حيث $SSVt$ حجم الحمأة المتريب عند زمن t ؛ و ATC تركيز الحمأة في حوض التهوية باستخدام الطرد المركزي معبرا عنه بالنسبة المئوية .

فمثلا اذا كانت SSC في بداية الإختبار 3% وترسبت الحمأة الى 500 سم³ في الخمس دقائق الأولى (5 دقائق من بداية اختبار الترسيب) فإن كل الحمأة التي كانت في حجم 1000 ملل هي في الواقع تشغل الآن 500 سم³ فقط من الحجم الكلي 1000 سم³ وهذا معناه ان تركيز الحمأة تتضاعف وبالمثل اذا ترسبت الحمأة الى 250 سم³ فإن تركيز الحمأة يصبح اربعة أضعاف لأنه شغل فقط ربع $\frac{1}{4}$ الحجم الكلي وهكذا .
لاحظ دائما أن قيمة SSC مبنية على الزمن (زمن الترسيب) .

لحساب قيمة SSC في بداية الإختبار بفرض أن تركيز المواد الصلبة بالطرد المركزي لحوض التهوية هو 3% فإن :

$$SSC_0 = \frac{3\% \times 1000}{1000} = 3\%$$

بعد مرور 5 دقائق تم ترسيب الحمأة لتشغل 500 سم³ من حجم المخبار وبالتالي يكون تركيز الحمأة هو :

$$SSC_5 = \frac{3\% \times 1000}{500} = 6\%$$

وإذا ترسبت الحمأة الى حجم 250 سم³ بعد 30 دقيقة

$$SSC_{30} = \frac{3\% \times 1000}{250} = 12\%$$

وإذا ترسبت الى حجم 200 ملل بعد ساعة

$$SSC60 = \frac{3\% \times 1000}{200} = 15\%$$

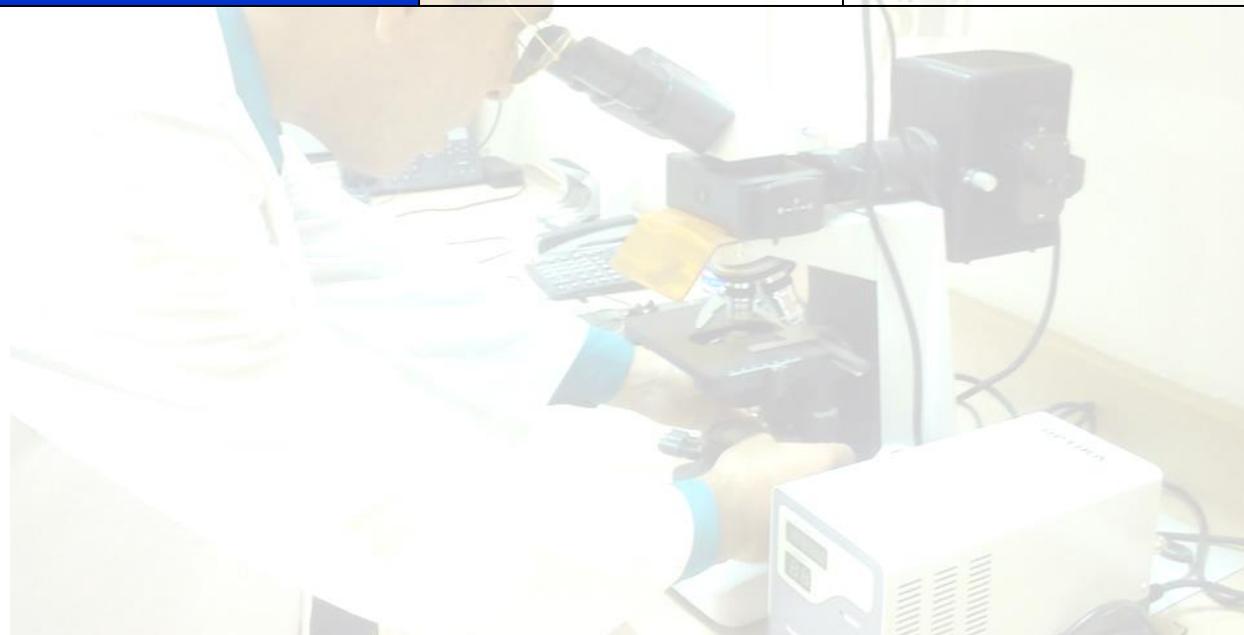
يمكن تسجيل البيانات أثناء متابعة إختبار الترسيب ورسم علاقة بين زمن الترسيب t min. على المحور السيني وحجم الحمأة المترسب SSVcc على المحور الصادي ؛ هذه نتائج ثلاث اختبارات يمكن عمل ثلاث رسومات بيانية لها ... لاحظ أننا نأخذ القراءة كل خمس دقائق 5 خلال النصف ساعة الأول من الترسيب ثم كل عشر دقائق 10 خلال النصف ساعة الثاني ويمكن استخدام نفس الإختبار للهاضم الهوائي aerobic digestion ولكن تؤخذ القراءة الأولى بعد 30 دقيقة ثم باقي القراءات كل ساعة لمدة 4 ساعات على الأقل ؛ يستخدم مخبار واسع ويفضل شكل مخروط بالنسبة لأختبار الحمأة النشطة لأنه يشبه حوض الترسيب ولتقليل الأحتكاك بسطح المخروط المستخدم .



Time minutes	SSV cc	SSC% = $\frac{ATC \times 1000}{SSV}$
0	1000	3
5	500	6
10	400	7.5
15	325	9.2
20	290	10.3
25	260	11.5
30	250	12
40	220	13.5
50	200	15
60	200	15

Time minutes	SSV cc	SSC%
0	100	3
5	990	3
10	970	3.1
15	950	3.15
20	925	3.2
25	900	3.3
30	855	3.4
40	825	3.6
50	750	4
60	700	4.3

Time minutes	SSV cc	SSC%
0	1000	3
5	510	5.8
10	310	9.7
15	250	12
20	200	15
25	170	17.6
30	150	20
40	150	20
50	150	20
60	150	20



2-4 الملاحظات البصرية على الأحواض

Visual observations

- 1-وجود رغوة هشة فاتحة اللون على سطح أحواض التهوية يدل على تشغيل جيد
 - 2-في فترات التشغيل الجيد تكون المياه المروقة (المعالجة الثانوية) شفافة ورائقة ويكون سمك غطاء الحمأة (30-90 سم أو 1-3 قدم)
 - 3-تستخدم العكارة كمقياس سريع في تقييم عملية الحمأة النشطة حيث تكون المعالجة الجيدة ذات عكارة للمياه المروقة (3-1) وحدة JTU أو أقل أحيانا كما تستخدم لتقدير درجة خطورة الندف الدبوسية والمواد الصلبة الأخرى وترجع التغيرات الخاصة بالعكارة قصيرة المدى والتي تظهر لفترات قصيرة في المياه المروقة الى مشاكل هيدروليكية أكثر منها مشاكل ناتجة من تخسر الحمأة .
 - 4-عمق غطاء الحمأة ؛ اذا لم يتم سحب الحمأة المكونة لغطاء الحمأة في حوض الترسيب بمعدل يساوي أو أكبر من معدل تدفق المواد الصلبة الموجودة في الحمأة الخارجة من أحواض التهوية فإن سمك غطاء الحمأة سوف يزداد ويرتفع سمك غطاء الحمأة حتى تخرج المواد الصلبة من فوق هدار الحوض وعجلة ادخال الحمأة للحوض ؛ يمكن قياس سمك غطاء الحمأة بواسطة اجهزة تركيب على الحوض .
- قياس سمك غطاء الحمأة بالإضافة الى القياسات الأخرى مثل معدل التدفق الداخل للمحطة Q وتركيز حوض التهوية ATC ومعدل تركيز ترسيب الحمأة SSC ومعدل تدفق الحمأة الراجعة RSF ومعدل تركيز الحمأة الراجعة RSC يعطي معلومات متنوعة يمكن استخدامها في التحكم في عملية الحمأة النشطة خصوصا في معدل تدفق الحمأة الراجعة بالإضافة الى انه يمكن استخدامها في تقييم قيد التشغيل ؛ فمثلا في حالة وجود عدد 2 حوض ترسيب بالتوازي يتم

تغذيتهم من أحواض التهوية يجب أن يكون معدل رجوع الحمأة منهم متساوي أما إذا كان سمك غطاء الحمأة في أحدهما يزيد والآخر ينقص فهذا معناه أن معدل التدفق من حوض التهوية لأحدهم مختلف الآخر ؛ كما أن قياس عمق غطاء الحمأة مهم للمشغل كي يكون على علم مسبق بالمشاكل التي يمكن أن تتجم من زيادة عمق غطاء الحمأة وزيادة زمن تخزين هذا الغطاء في الحوض .

إذا كان الترسيب ضعيف يمكن أن يتم تأكيد ذلك من خلال SSC كما يمكن للمشغل تجنب الأسباب التي تؤدي لزيادة عمق أو سمك غطاء الحمأة واتخاذ الإجراء المناسب للتقليل منها قبل حدوث مشكلة .



3-4 الفحص المجهرى للحمأة النشطة واستخدامه للتحكم في عملية

التشغيل

Microscopic examination of activated sludge and operation process control

من اهم الكائنات الحية اللازمة لعملية المعالجة البكتريا ذاتية التغذية والبكتريا غير ذاتية التغذية المسؤولة عن تنقية مياه الصرف وذلك بالتغذية على المواد العضوية به كما ان البروتوزوا تلعب دور هام في ترويق مياه الصرف ووجودها يعد مؤشرا على جودة عملية المعالجة ؛ ايضا وجود الروتفيرز دلالة على ثبات المياه المروقة .

عندما تسود البروتوزوا (المهدبة أو الهدبيات منها) والروتفيرز في MLSS يكون مؤشر على جودة الحمأة وتكون عملية المعالجة في هذه الحالة مع معدل رجوع حمأة RAS ومعدل تخريج حمأة WAS مناسبين وتهوية مناسبة تعطي مياه منتجة بها كربون عضوي أقل من 10 ملجم/ل ؛ على العكس من ذلك اذا سادت الخيطيات مع وجود نسبة قليلة من الهدبيات فيكون ذلك مؤشر على حمأة ضعيفة الجودة ويكون ترسيب الحمأة بطيء وتكون الندف خفيفة ذات كثافة صغيرة fluffy floccs .

الكائنات الحية المهمة للعملية والتي يجب ان يتابعها المشغل هي البروتوزوا والروتفيرز

يجرى الفحص على قسمين من الكائنات الحية الأول دلائل جودة عملية التشغيل المیتوزوا (البروتوزوا وغيرها كما ستفصل) والقسم الثاني دلائل سوء عملية التشغيل ومشاكل الحمأة وتشمل الخيطيات

1-3-4 دلائل جودة عملية التشغيل

Operation performance indicators

1-1-3-4 البروتوزوا protozoa

يجب ان يتابع المشغل ثلاث مجموعات هامة من البروتوزوا هي

- الأميبات amoeboids
- السوطيات flagellates
- الهدبيات ciliates



الفحص المجهري للحمأة

تكون الأميبا سائدة في ندف MLSS عند بداية تشغيل محطة جديدة أو عند بداية التشغيل بعد توقف نتيجة عطل ما للمحطة.

يرتبط زيادة السوطيات عادة بندف MLSS الخفيفة وقلة عدد البكتريا والحمل العضوي المنخفض BOD وتتناقص بزيادة اعداد البكتريا اللازمة للمعالجة وزيادة كثافة الندف حيث لا يمكنها المنافسة على الغذاء مع البكتريا .

الهدبيات اكبر من السوطيات وتنقسم الى فصيلتين الهدبيات العائمة الحرة free swimming ciliates أو العائمة الحرة والهدبيات المسوقة أو ذات السيقان stalked ciliates ؛ تتواجد العائمات الحرة بكثرة عند تواجد اعداد كبيرة من البكتريا وتقوم العائمات الحرة بالتغذية على البكتريا وبالتالي تروق المنتج النهائي وبالتالي وجود هذه الكائنات يكون مؤشر على وصول اعلى درجة من جودة المعالجة وبالعكس عندما تسود السوطيات يكون مؤشر على ضعف أو نقص كفاءة عملية المعالجة ويجب زيادة MCRT لضمان تواجد هدبيات العائمات الحرة والهدبيات المسوقة والكائنات الأعلى مثل الروتيفيرز بصورة اكثر نسبيا من السوطيات للوصول بعملية المعالجة الى اعلى مستوى كفاءة لها .

تتواجد الهدبيات ذات السيقان عندما تكون الهدبيات العائمة الحرة غير قادرة على المنافسة للحصول على الغذاء ؛ عندما تسود الهدبيات المسوقة مع وجود الروتيفيرز يكون مؤشر على كفاءة وثبات عملية المعالجة .

من الفحص المجهرى يستطيع المشغل زيادة أو نقص MCRT أو عمر الحمأة طبقا لنوع الكائنات الحية السائدة في العملية ؛ عدم وجود الروتيفيرز والهدبيات معناه وجود حمأة ضعيفة الترسيب وهذه الملاحظات تمكن المشغل من اكتشاف التغير الحاصل للحمل العضوي والكيميائي قبل حدوث خلل بعملية المعالجة ويمكن ربطها بملاحظات الترسيب في اختبار

الترسيب 30 دقيقة للخليط المتخمر MLSS ونتائج نسبة F/M ؛ يجب عمل ثلاث شرائح لكل حوض على الأقل .

تنقسم الهدبيات الى ثلاثة أقسام هي :

1-هدبيات تتغذى على البكتريا ومنها :

فورتيسيلا Vorticella ؛ كيلودونيلا Chilodonella ؛ كوليبيديوم Colpidium ؛ بلافراسيما Blepharisma ؛ اسبيديسكاسيكيذا Aspidisca cicada ؛ اسبيديسكا Aspidisca cicada ؛ كاركيزيوم carchesium ؛ ايبيستيلوس Epistylus ؛ *اوريكيلاريا Opercularia

2-هدبيات حيوانية التغذية omnivorous ciliates وهي تتغذى على البكتريا والسوطيات والهدبيات الصغيرة ومنها

استينتور Stentor ؛ و ايوبلوتس Euplotes

3-الهدبيات اللاحمة carnivorous ciliates وهي تتغذى على الهدبيات

ليتونوتوس Litonotus ؛ تريكولوفيوم Trachelophyllum ؛ هيميوفريس Hemiophrys ؛ سوكتوريا Suctorea

2-3-4 الهدبيات ciliates

1-هدبيات sessile ciliates

*فاجئنيكولا vaginicola عبارة عن قمع يحيط الخلية يمكن ان تختبئ به طول الخلية
100µm وتتواجد في الحمل المنخفض (قنوات الأكسدة)



Vaginicola

*اوريكيلاريا Opercularia

بها جزع ويتفرع منه فروع تكون مستعمرات وبها عضلات لا تتقبض قطر الخلية 140 µm
وتتواجد في الحمأة النشطة عن حمل عضوي عالي 0.2-0.3 kgBOD/kgMLSS /d



Opercularia

*ايبيستيلوس Epistylus وهي جذعية تتفرع من جذعها لفروع وليس بها عضلات وبالتالي

لا تتقلص قطرها $70-100 \mu\text{m}$ عند حمل وتواجد في الحمأة النشطة $0.1-0.2$

kg/BOD/kgMLSS/d



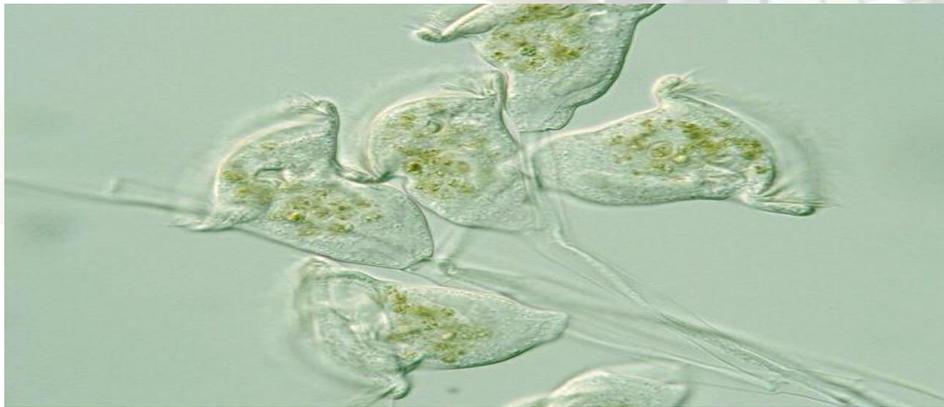
Epistylus

*كاركيزيوم carchesium

هدبيات لاطئية sessil ciliate وهي جذعية تتفرع من جذعها لفروع وتكون مستعمرات وبه

عضلات قطر الخلية $50-125 \mu\text{m}$ وتواجد في الحمأة النشطة عند حمل أقل من 0.2

kg/BOD/kgMLSS/d



Carchesium

*فورتسيلا Vorticella طولها 50-150µm والجذع لا يتفرع منه فروع ابدا وتتواجد عند حمل عضوي < 0.4kg/BOD/kgMLSS/d .



Vorticella

2-الهدبيات الزاحفة crawling ciliates

*اسبديسكاسيكيذا Aspidisca cicada تزحف بسرعة فوق الندف وموجودة في الحمأة النشطة وطولها 30-50µm وتتواجد عند حمل < 0.4 kgBOD/kgMLSS/d



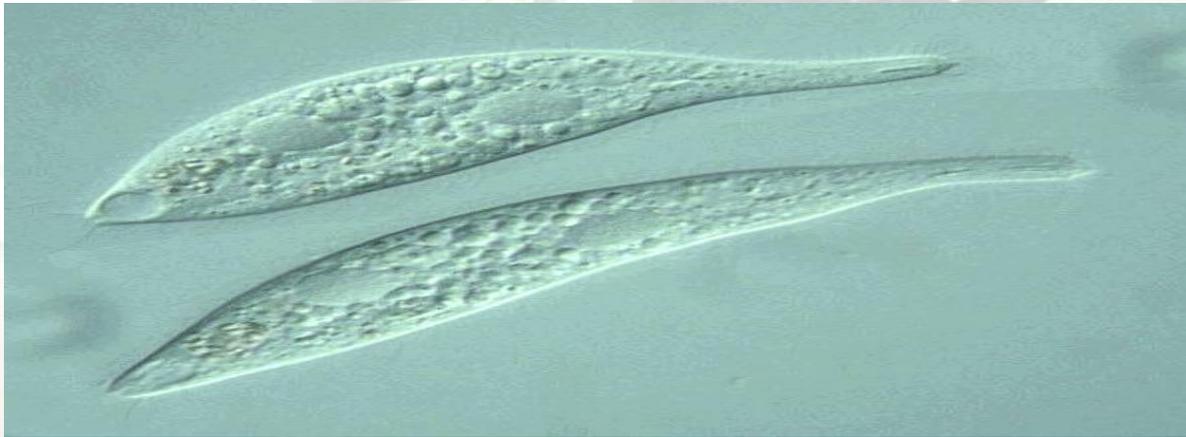
Aspidisca cicada

*كيلودونيلا Chilodonella وهي زاحفة طولها 40-125µm وهي من النوع الراعي وتتواجد عند حمل <0.2 kgBOD/kgMLSS/d



Chilodonella

*تريكلوفيليوم Trachelophyllum مفلطحة طويلة من 30-50µm مغطاة تماما بالاهداب تتواجد عند حمل <0.4 kgBOD/kgMLSS/d



Trachelophyllum

3-الهدبيات الحرة free living ciliates

وهي تتواجد حرة بين الندف

*بلافراسيما Blepharisma

خلايا وردية مضيئة طولها 200µm توجد اهداب طويلة قرب فمها تتواجد عند عند حمل

0.1-0.4 kgBOD/kgMLSS/d



Blepharisma

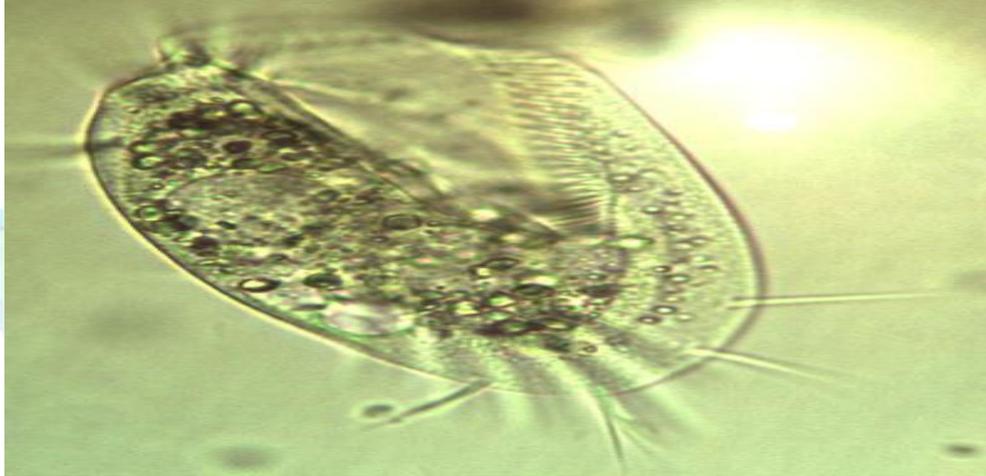
*كوليبيديوم Colpidium مغطاة بالاهداب وتكون الاهداب طويله على ظهرها تتواجد عند عند

حمل 0.1-0.4 kgBOD/kgMLSS/d



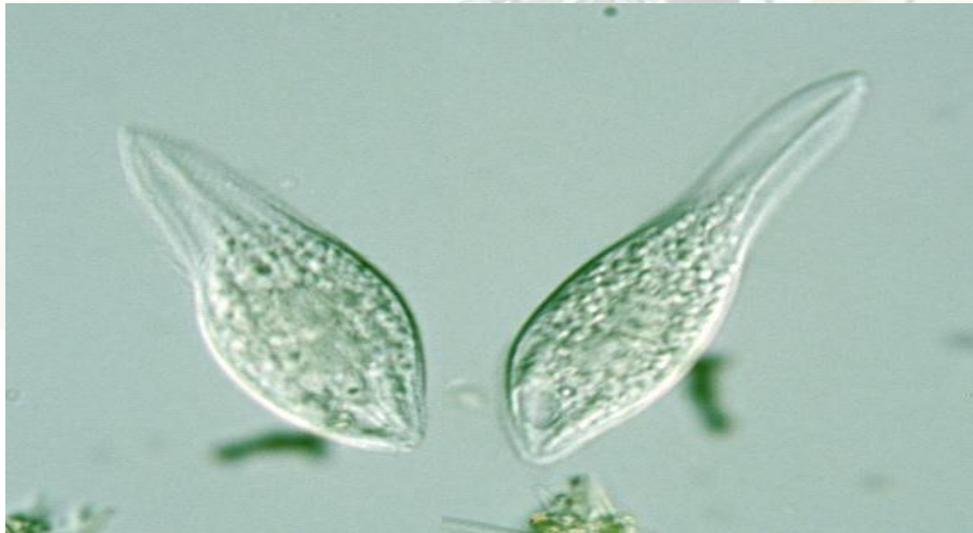
Colpidium

*ايوبلوتس Euplotes وهي حرة عائمة يوجد على سطحها العلوي 6 تلال والاهداب اقرب الى الشوك حجمها 30-100µm ؛ تتواجد عند حمل عضوي 0.1-0.4 kgBOD/kgMLSS/d



Euplotes

*ليتونوتوس Litonotus لها عنق تشبه القارورة والاهداب حول العنق اطول ويبلغ طول الخلية 100µ ؛ تتواجد عند حمل عضوي <0.4 kgBOD/kgMLSS/d



Litonotus

*باراميسيوم paramecium من العائمات الحرة وطول الخلية وطول الخلية -180

300µm

تتواجد عند حمل عضوي 0.1-0.3 kgBOD/kgMLSS/d



Paramecium

*سبيروسستوموم spirostomum تتحرك بسرعة بين الندف وهي أكبر الهدبيات طولها -500

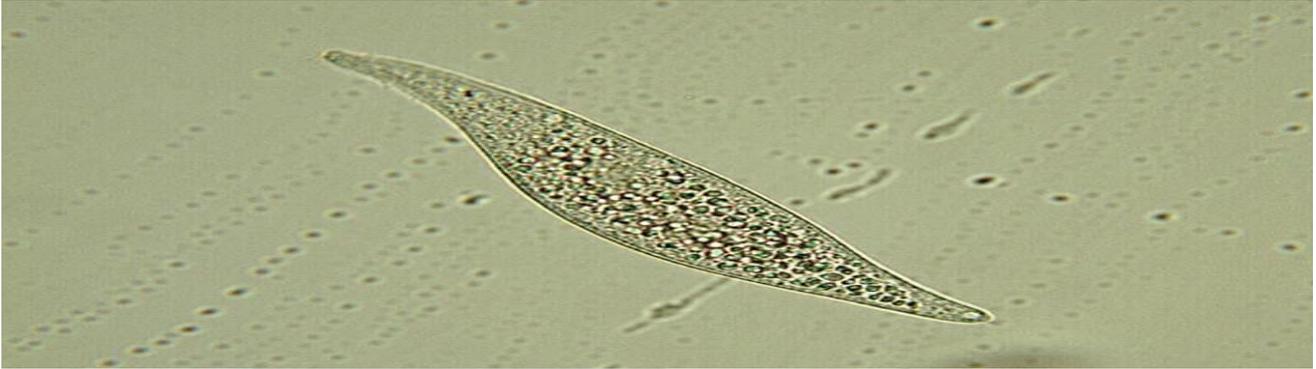
900µm ؛ تتواجد عند حمل عضوي <0.2 kgBOD/kgMLSS/d



Spirostomum

*هيميوڤريس Hemiophrys

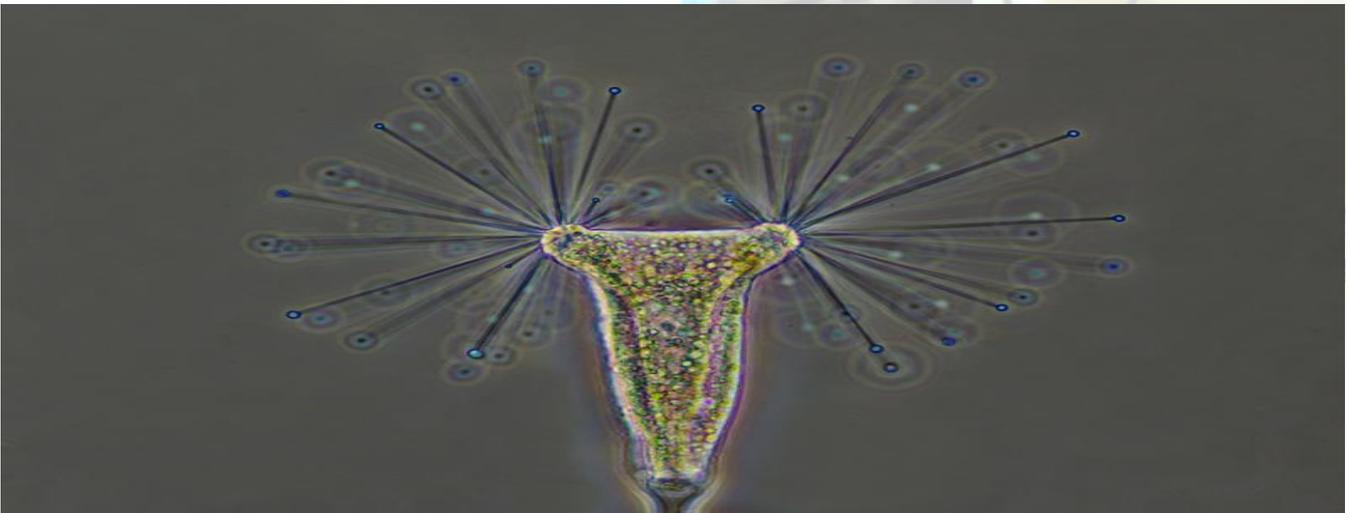
تتغذى على الهدبيات الأخرى وتتواجد عند حمل عضوي $<0.4 \text{ kgBOD/kgMLSS/d}$



Hemiophrys

*سوكتوريا Suctorea

الاهداب غير موجودة في الخلايا البالغة وتختفي عندما يتكون جذع للخلية حيث تتعلق بسطح الندف في الحمأة النشطة وطول الخلية $50-100\mu\text{m}$



Suctorea

*اسبيدسكا سيكادا *Aspidisca cicada*

تتغذى على البكتيريا

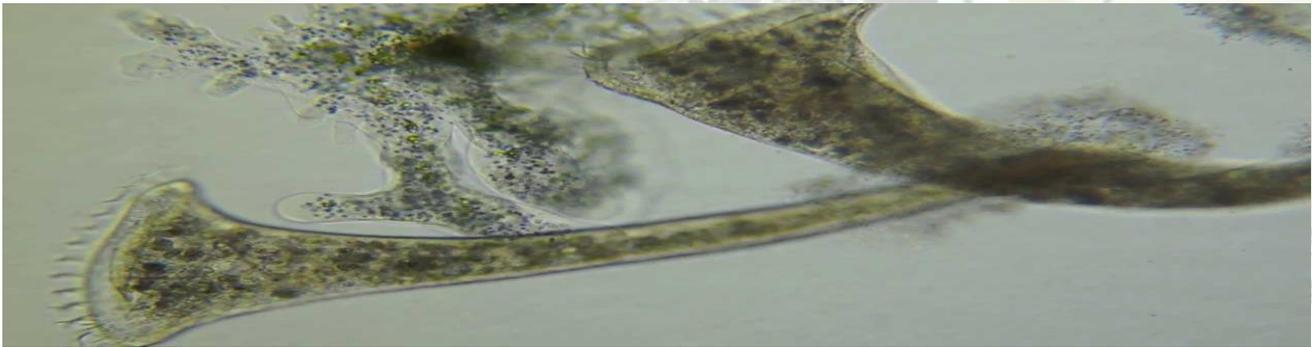


Aspidisca cicada

*استينتور *Stentor* عادة وليس دائما تكون عالقة بندف الحمأة طولها $150-500 \mu\text{m}$ ليس

لها جذع وتتواجد عادة

في محطات الحمل المنخفض



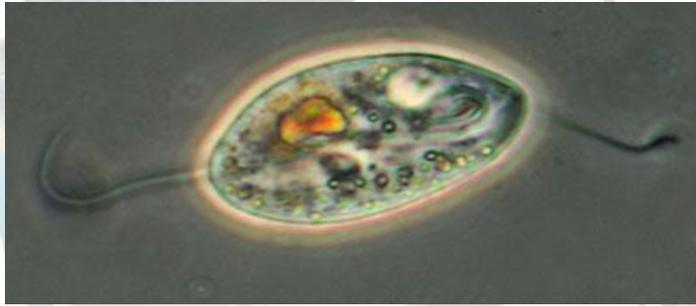
Stentor

ثانيا السوطيات flagellate protozoa

وسميت بالسوطيات لأنها تمتلك سوط يساعدها في الحركة وهي خلايا أطول من الهدبيات وسريعة الحركة ومنها:

*بودو bodo وهي سوطيات حرة عائمة وتمتلك سوطين طول الخلية $15\mu\text{m}$

تتواجد عند حمل عضوي $>0.4 \text{ kgBOD/kgMLSS/d}$ وفي وجود أكسجين أو عدمه



Bodo

*هكساميتوس hexamitus

هي سوطيات سريعة الحركة حرة عائمة عليها مجموعتين من الاسواط أمامية وذيلية قشرها $20\mu\text{m}$ ؛ تتواجد عند حمل عضوي $>0.4 \text{ kgBOD/kgMLSS/d}$ وفي وجود أكسجين أو

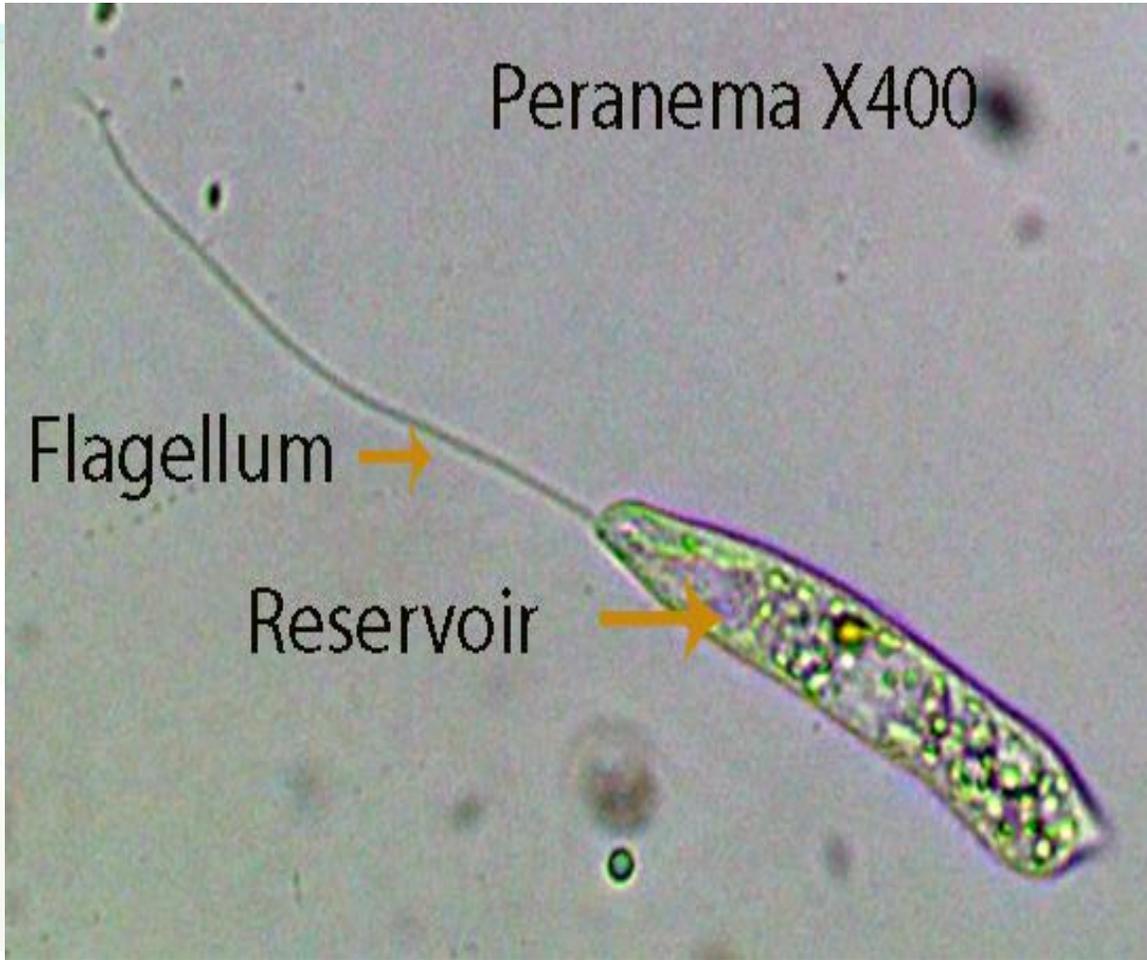
عدمه



Hexamitus

*برانما peranema

هي سوطيات تتميز بسوط طويل سميك وهي سوطيات حرة عائمة ولها سوط أمامي صغير جدا يصعب رؤيته وطولها 20-30µm وعلى عكس باقي الهدبيات والسوطيات وجدها في الحمأة النشطة لا يدل على أي مشاكل ولا يعتمد على الحمل العضوي ولا الأوكسجين



Peranema

*مانوسجا monosiga

تتعلق دائماً بالحماة وطولها 1-15µm تتواجد عند حمل عضوي

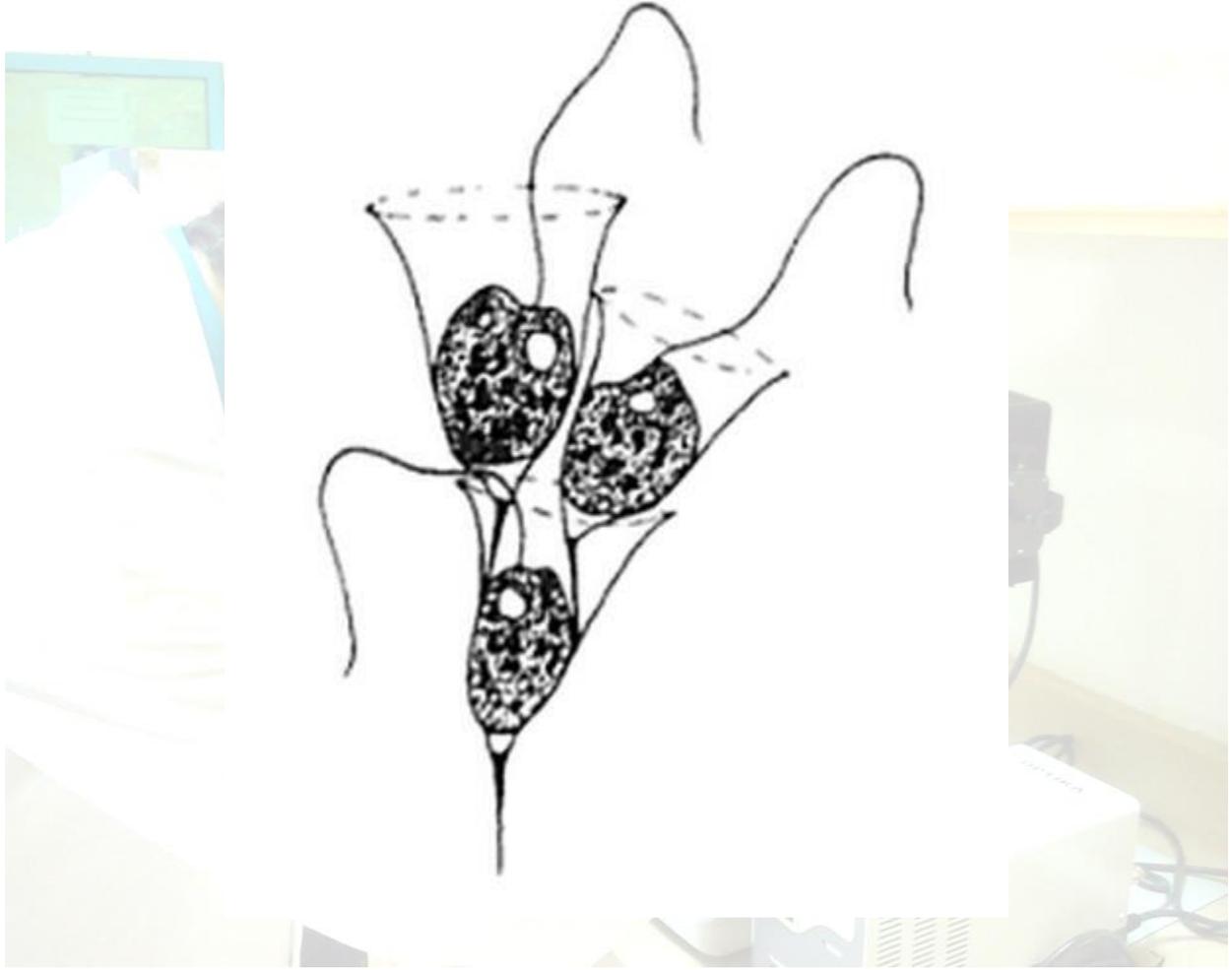
>0.4 kgBOD/kgMLSS/d وفي وجود أكسجين أو عدمه



Monosiga

*بوتيروديندرون poteri dendron

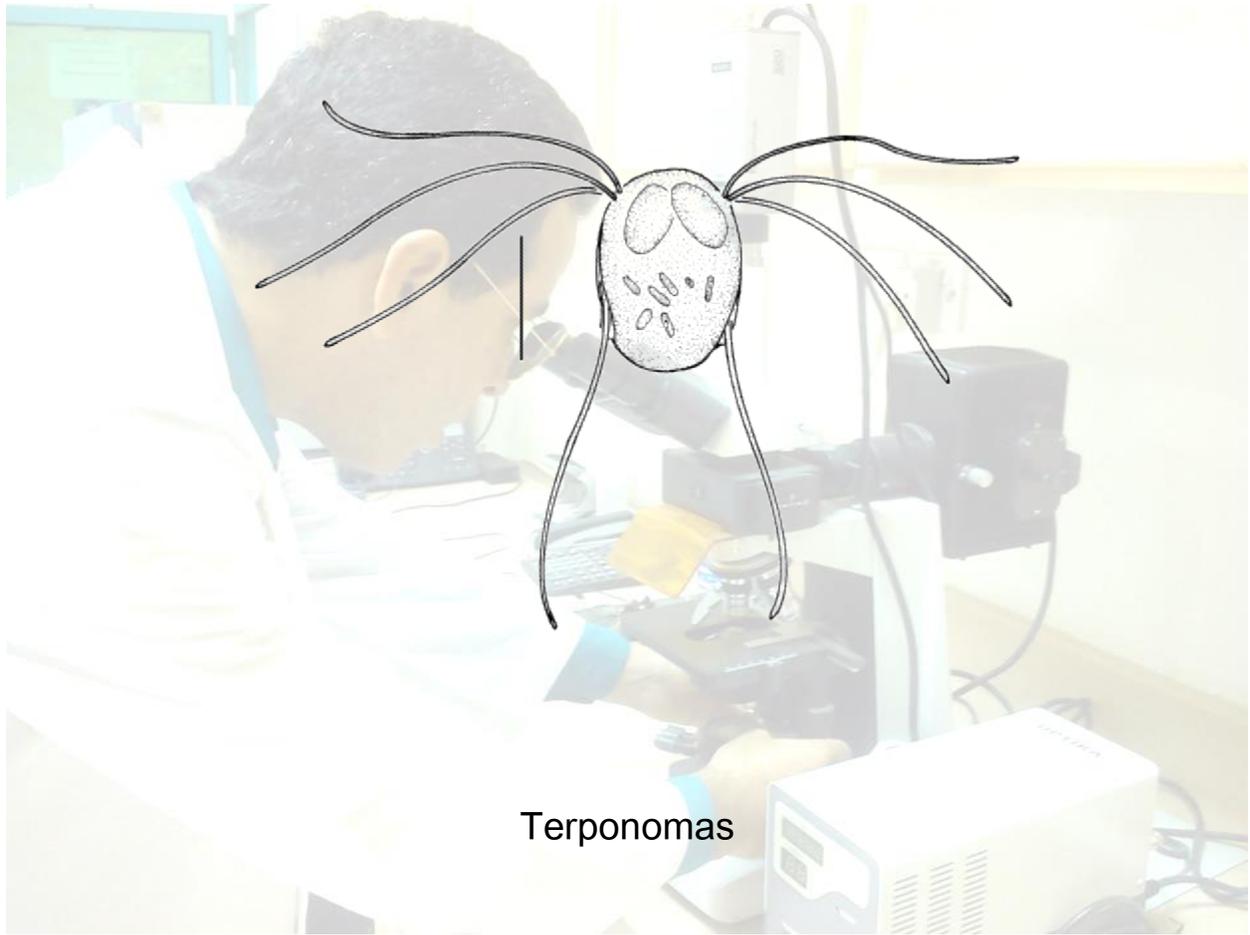
تحتوي على أقماع شفافة يخرج منها السوط وهي تكون مستعمرات وقطر الخلية المفردة $20\mu\text{m}$



Poteriodendron

*تربونوماس terponomas

وهي حرة عائمة تتحرك بالدوران وبها مجموعتين الواحدة 4 أسواط بالاضافة الى 2 سوط طويل وستة قصيرة وطول الخلية $20\mu\text{m}$ سوط تتواجد عند حمل عضوي >0.4 kgBOD/kgMLSS/d وفي وجود أكسجين أو عدمه



4-3-3 الأميبات aoembea

الأميبا كائن وحيد الخلية تتغذى على الخلايا البكتيرية والبروتوزوا وقطر الخلية يتراوح في

أجناسها المختلفة 50-400µm

تتواجد عند حمل عضوي >0.4 kgBOD/kgMLSS/d عالي نسبيا وفي وجود أكسجين أو

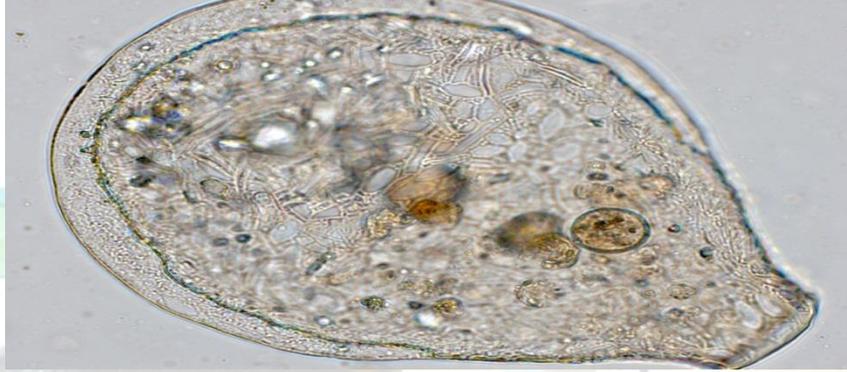
انخفاض تركيزه



Aoembea

ومن فصائل الاميبا :

*تيستات اميبا *testate amoebae*



*ارسيلا *arcella*

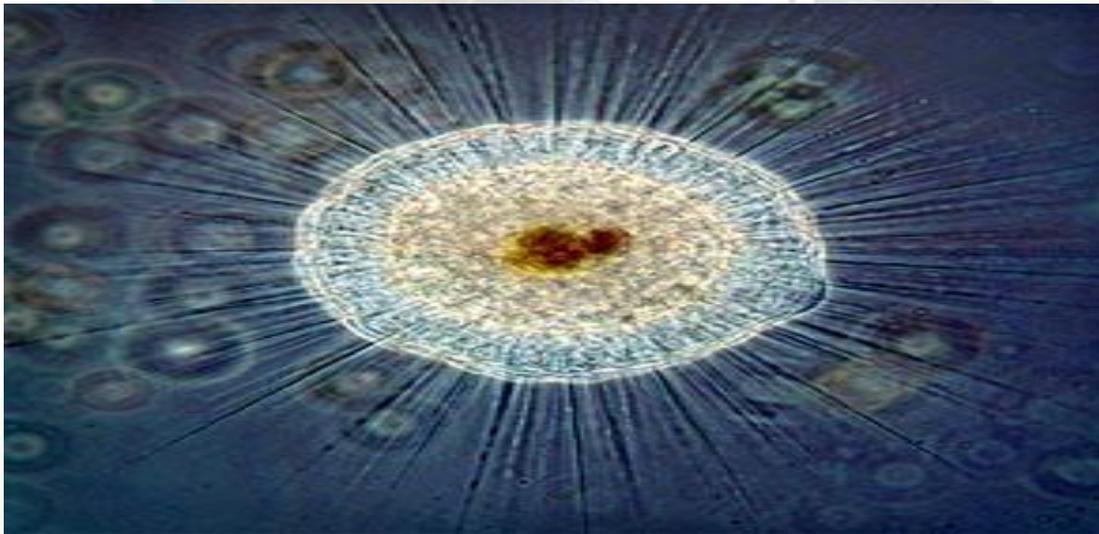


ايوجلوفا *euglypha*



© Charles Krebs 2006

*هیلوزوا heliozoan



Heliozoan

4-4-5 الميتوزوا metozoa

هي كائنات عديدة الخلايا على عكس البكتريا ويتراوح قطر الخلية من 100 ميكرون الى 1-2 سم وهي تتغذى على الخلايا البيكتيرية الحرة والندف الصغيرة جدا وبعضها يتغذى على الحمأة عموما وبالتالي وجودها مؤشر على جودة المعالجة ونتاج مياه معالجة رائقة من حوض

الترسيب الثانوي ومن مجموعات الميتوزوا

*الروتيفرز rotifers

*النيماتودا nematodes

*الديدان worms

*تارديجرادس tardigrades

تتواجد عند حمل عضوي أقل من $0.15 \text{ kgBOD/kgMLSS/d}$ ويكون عددها في الحقل من صفر (غير موجودة) الى 3 (كثيرة جدا)

*الروتيفرز rotifers

تتغذى على البكتريا الحرة والندف الصغيرة وطول الخلية 100-500 ميكرومتر واعدادها محدودة في مياه الصرف المنزلي وكثيرة في الصرف الصناعي ومع الحمل المنخفض ووجودها

يؤشر على جودة المعالجة والحصول على منتج ثانوي رائق



Rotifers

*نيماتودا nematodes

تتواجد في محطات الحمل المنخفض بأعداد ليست كثيرة في الحمأة النشطة



Nematodes

*تارديجرادس (water bear) tardigrads

حجمها من 200-1200 ميكرومتر و تتواجد عند حمل عضوي أقل من 0.1

kgBOD/kgMLSS/d



Tardigrads (water bear)

*الديدان worms

تتغذى على ندف الحمأة وتتواجد عند حمل عضوي أقل من $0.1 \text{ kgBOD/kgMLSS/d}$ ومن

أمثلتها اليوسوما aleosoma



Aleosoma

4-3-2 دلائل سوء عملية التشغيل ومشاكل الحمأة

Operation process decline and sludge problemes

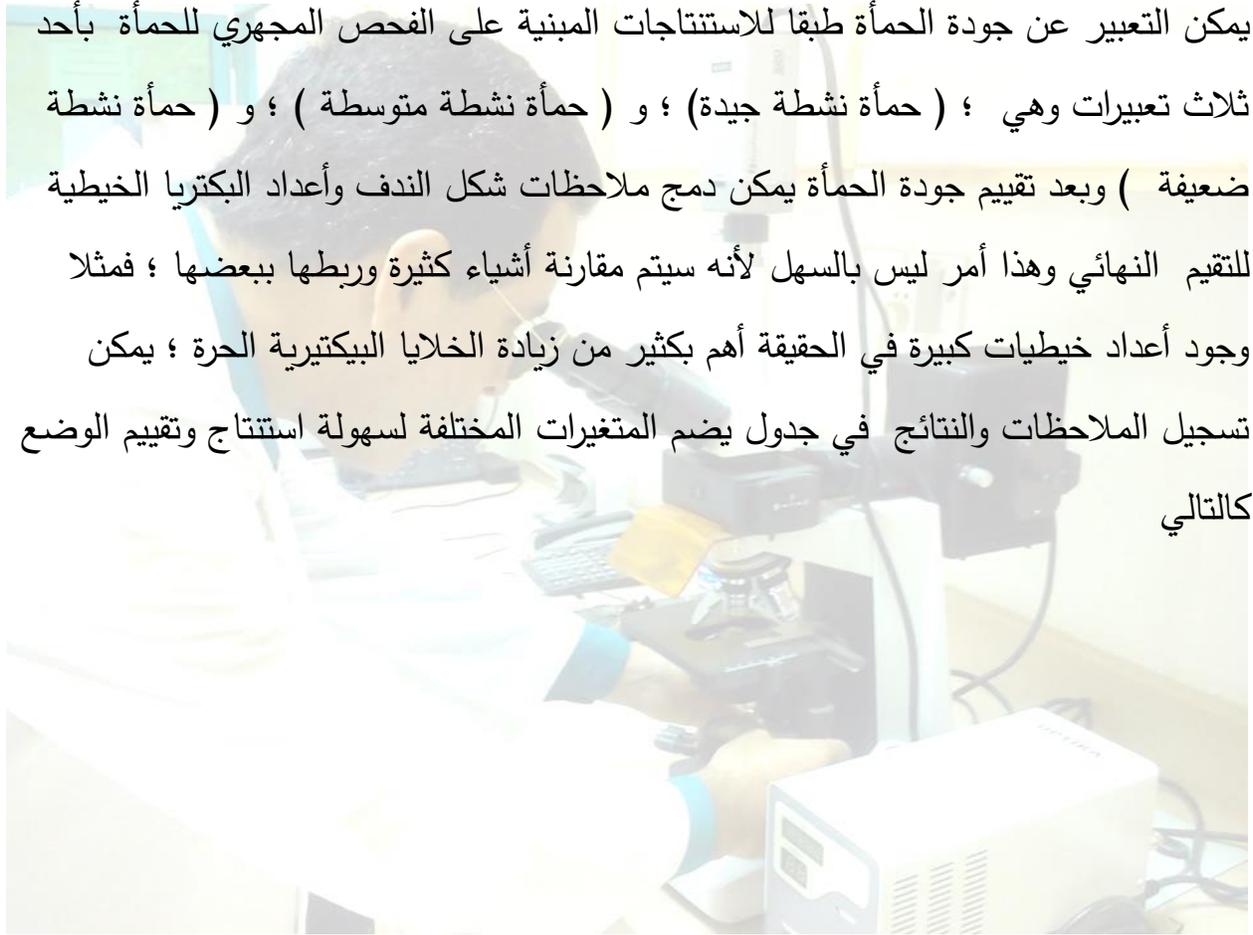
شرحنا سابقا كيفية بدء تشغيل المحطة حيث تدخل المياه الخام ويعاد تدويرها لحين تنمية الحمأة النشطة بتركيز مناسب للتشغيل ؛ في الأيام الأولى يوجد 100 مليون من الخلايا البكتيرية لكل ملل من المياه الخام والكثير من الغذاء للسوطيات والاميبا للتكاثر ؛ وبعد أيام قليلة أخرة تبدأ الهدبيات في الظهور والتكاثر ويتناقص عدد الاميبا والسوطيات وباستمرار عملية المعالجة تزيد كمية الحمأة وتركيز MLSS وبالتالي يقل الحمل العضوي أثناء هذه المرحلة وتختفي بعض فصائل الكائنات الحية بمجرد وصول تكاثرها لضعف زمن المكث الهيدروليكي بحوض التهوية وفي هذه الاثناء ستظهر أنواع الهدبيات التي تتعلق بالندف مثل vorticella أو الزاحفة مثل aspidisca ولا يمكن يوجد وسيله لتخرجها من حوض التهوية الا مع خروجها الى حوض الترسيب الثانوي وهذا يفسر لماذا تكون هذه الاصناف سائدة في حوض التهوية في هذه المرحلة التي ينخفض فيها حمل الحمأة وبزيادة عمر الحمأة (مع عمر الحمأة الطويل) تظهر thecamoebia وايضا الميتوزوا metozoa وبمرور الوقت وحدث عملية نترتة كبيرة تقل أعداد البكتريا الحرة الغير متعلقة بالندف لتصل مليون خلية لكل ملل .

تمو سلالات واصناف جديدة من الكائنات الحية يتم اعتماده كمؤشر على جودة عملية المعالجة كما أنه توجد علاقة بين حمل الحمأة وأنواع الكائنات الحية التي تتكاثر ؛ فإذا كان حمل الحمأة غير عالي كثيرا ستتواجد الهدبيات والاميبات testate amoeba وبعض الميتوزوا . مع قلة الاكسيجين والحمل العضوي المنخفض سوف تزداد السوطيات والاميبا .

إذا اختفت البروتوزوا والميتوزوا فجأة هذا معناه وجود مواد سامة دخلت مع المياه الخام ويتبع هذا الإختفاء المفاجئ زيادة رهيبية في عدد البروتوزوا ويرجع ذلك بسبب زيادة أعداد الخلايا البكتيرية الحرة أثناء فترة غياب البروتوزوا .

الزيادة الكبيرة في عدد الديدان worms يقلل كمية الحمأة الزائدة لأنها تتغذى على الحمأة .

يمكن التعبير عن جودة الحمأة طبقا للاستنتاجات المبنية على الفحص المجهرى للحمأة بأحد ثلاث تعبيرات وهي ؛ (حمأة نشطة جيدة) ؛ و (حمأة نشطة متوسطة) ؛ و (حمأة نشطة ضعيفة) وبعد تقييم جودة الحمأة يمكن دمج ملاحظات شكل الندف وأعداد البكتريا الخيطية للتقييم النهائي وهذا أمر ليس بالسهل لأنه سيتم مقارنة أشياء كثيرة وربطها ببعضها ؛ فمثلا وجود أعداد خيطيات كبيرة في الحقيقة أهم بكثير من زيادة الخلايا البيكتيرية الحرة ؛ يمكن تسجيل الملاحظات والنتائج في جدول يضم المتغيرات المختلفة لسهولة استنتاج وتقييم الوضع كالتالي



Parameter	good	Moderate	poor
Filamentous index	<3	3-4	4-5
Free living cells	0-1	2-3	≥ 3
spirils	0	1	≥ 2
Ciliats/testate amoeba	≥ 1	<1	0
Flagellate/amoeba	0	1-2	≥ 3
% floc >25 μ m	>80-90	>50-70	<50
Floc structure	compact	open	-
Floc strength	robust	weak	-
Floc shape	rounded	Irregular	-

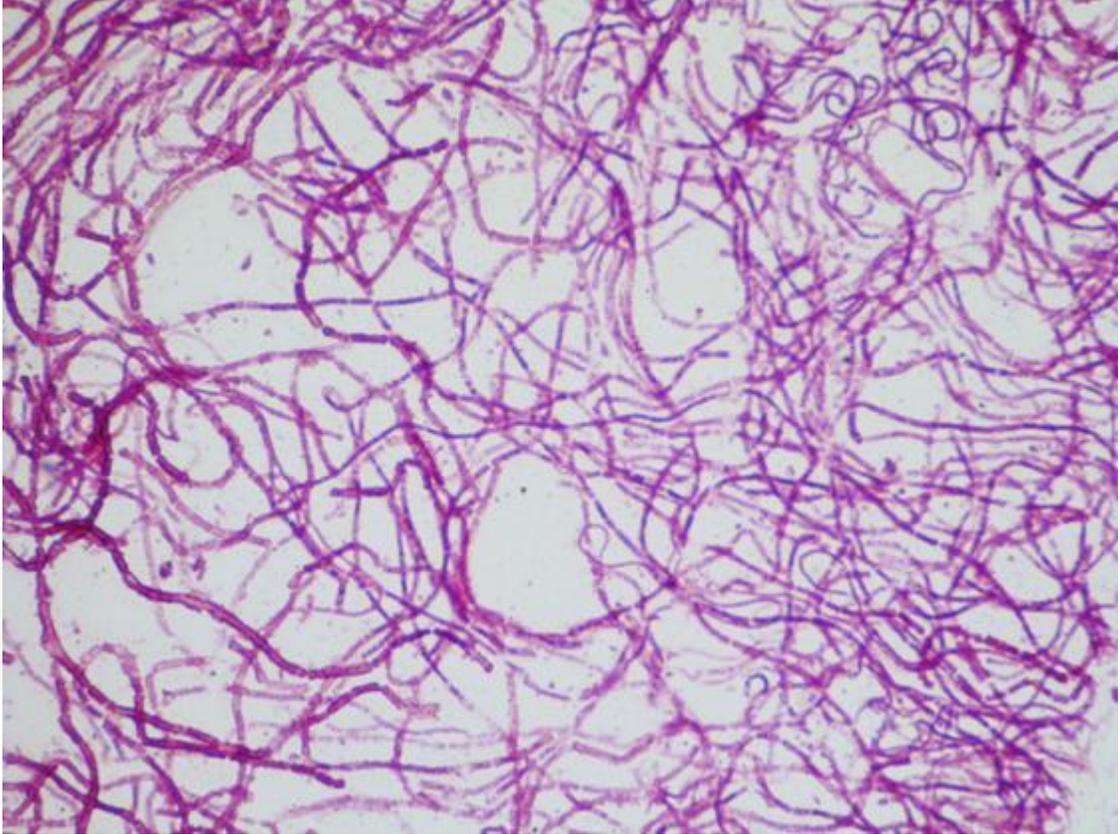
إذا كان مقياس واحد تقييمه متوسط والباقي جيد فإن التقييم النهائي يكون حمأة جيدة أما إذا كان مقياسين أو أكثر متوسط يكون تقييم الحمأة متوسطة الجودة وتكون الحمأة ضعيفة الجودة إذا كانت عدد مرات تكرار متوسط كبير أو أن تقييم المقاييس اصلا ضعيف .

4-4 وصف أنواع البكتريا الخيطية

Description of the various filamentous species

سنتعرف على عدد 28 من سلالات البكتريا الخيطية الي تتواجد عند ظروف التشغيل في محطات معالجة مياه الصرف الصحي نتعرف على خصائها لكي نعرف كيف يمكن السيطرة والتحكم في نموها لتجنب حدوث مشاكل بسبب تكاثرها .

1-الاكتينومييسيتس *actinomycetes*



هي بكتريا خيطية موجبة لصبغة جرم تتواجد في الزبد scum أكثر من الحمأة وتنمو في وجود الزيوت والشحوم والمنظفات وغيرها من المواد الكارهه للوسط المائي حيث يسهل تعلقها بها

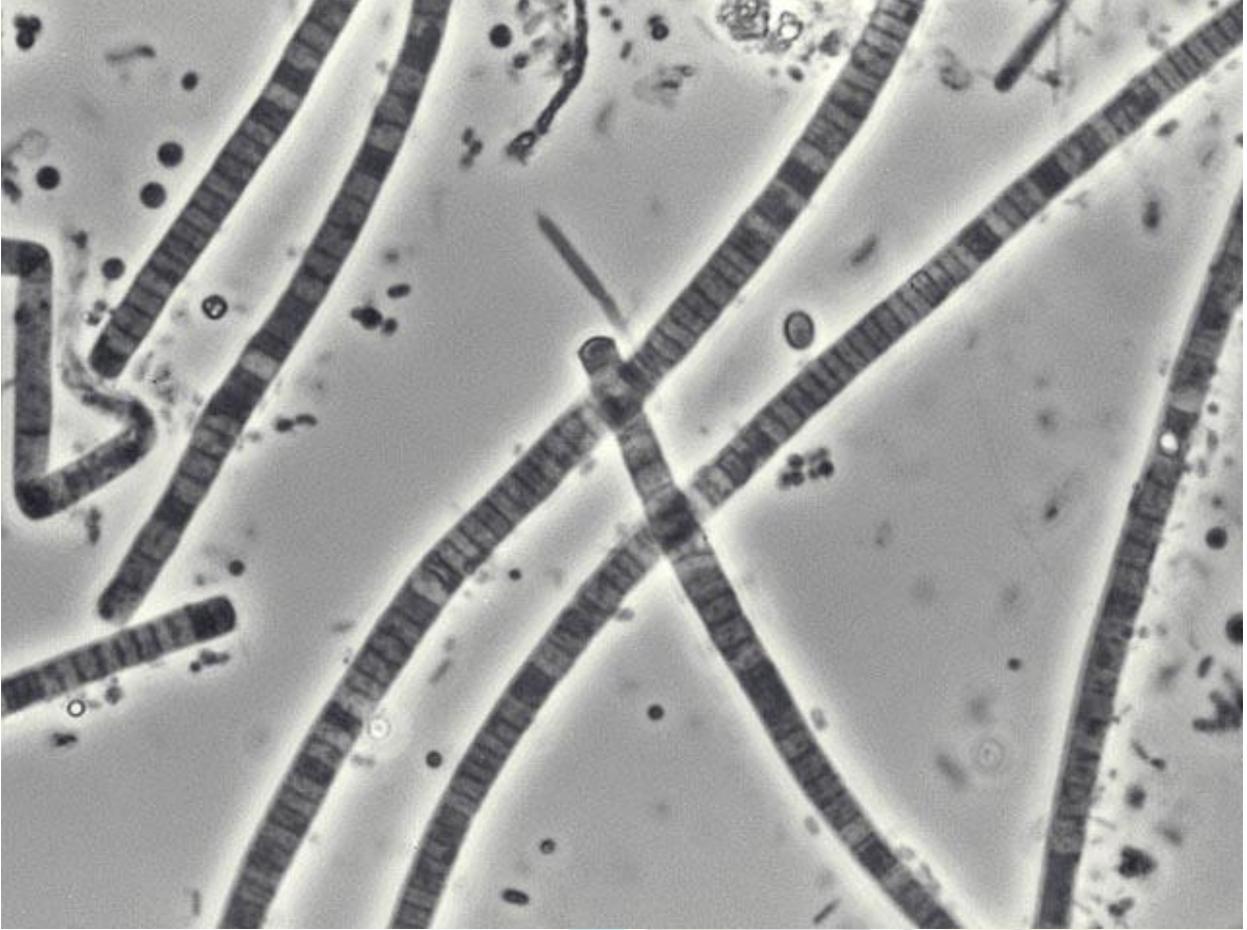
بسبب سطح الخلية الكاره للوسط المائي أيضا وتنمو في درجات الحرارة الأكبر من 15 درجة مئوية ؛ تتواجد عند حمل حمأة عالي $0.1-0.7 \text{ kg BOD/kgMLSS.d}$ ؛ تتواجد أيضا بكتريا *M. parvicella* عند وجود الزيوت والشحوم ولكن عند حمل حمأة قليل ولا يعرف السبب في التنافس وطبيعة هذا التنافس بين النوعين من البكتيريا

2-بيجياتوا *biggiatoa*



هي بكتيريا سالبة لصبغة جرام وصبغة نيسير تتواجد مع مركبات الكبريت المختزلة مثل كبريتيد الهيدروجين ونقص الاكسجين ولا تؤثر في عملية الترسيب ولكن تعتبر مؤشر فقط

3- الطحالب الخضراء المزرقة سيانوفيسا cyanophaycea



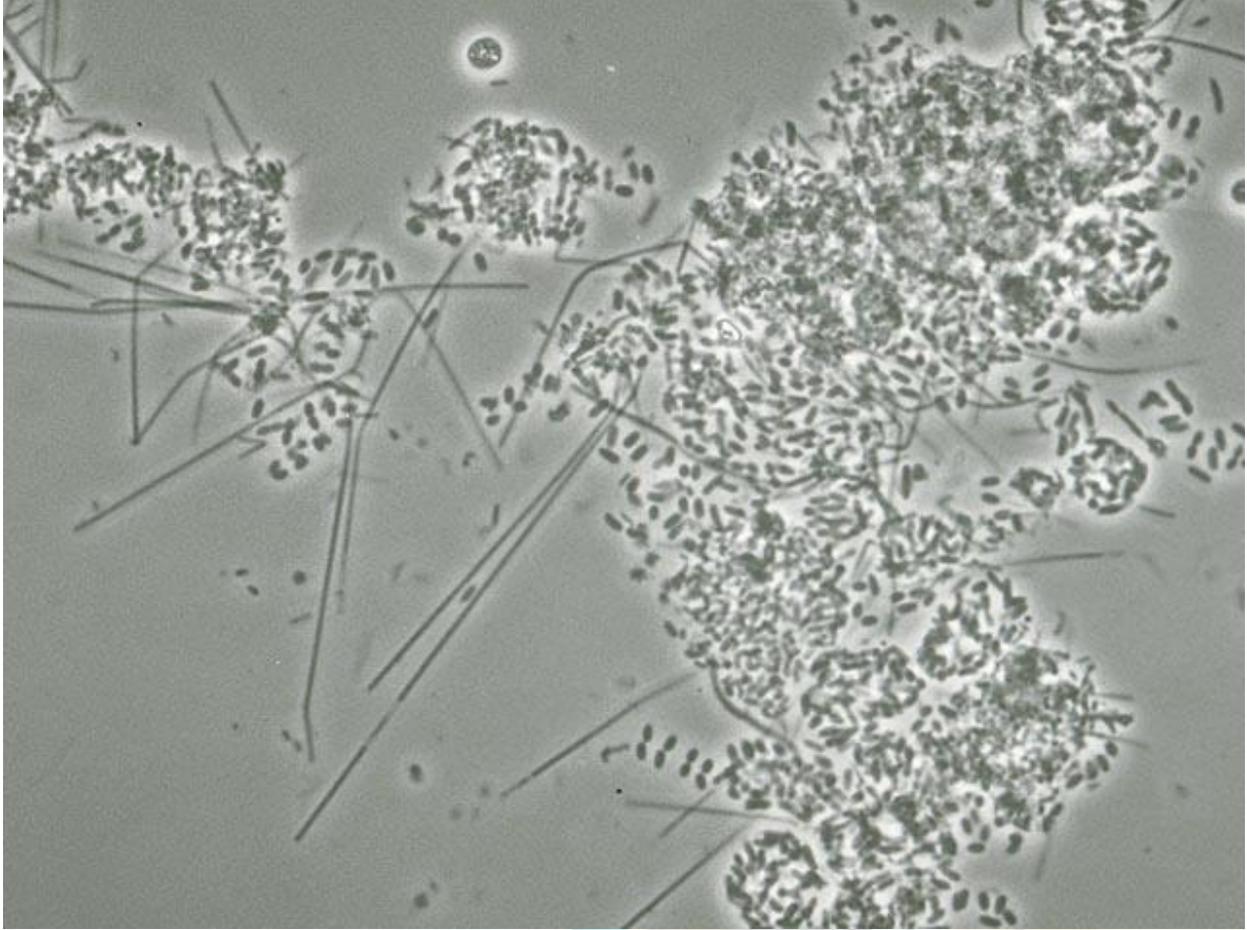
لا تتواجد دائما في الحمأة النشطة الا عند حمل حمأة $0.1 \text{ kg BOD/kgMLSS.d} >$ ووجود
أحماض عضوية مثل حامض الخليك والبروبايونيك بتركيز عالي ونقص المغذيات وبالتالي من
الصعب تواجدها في محطة ينبع التي تعمل على إزالة المغذيات

4- الخيطية المتثنية فلکسي باکتر flexibacter



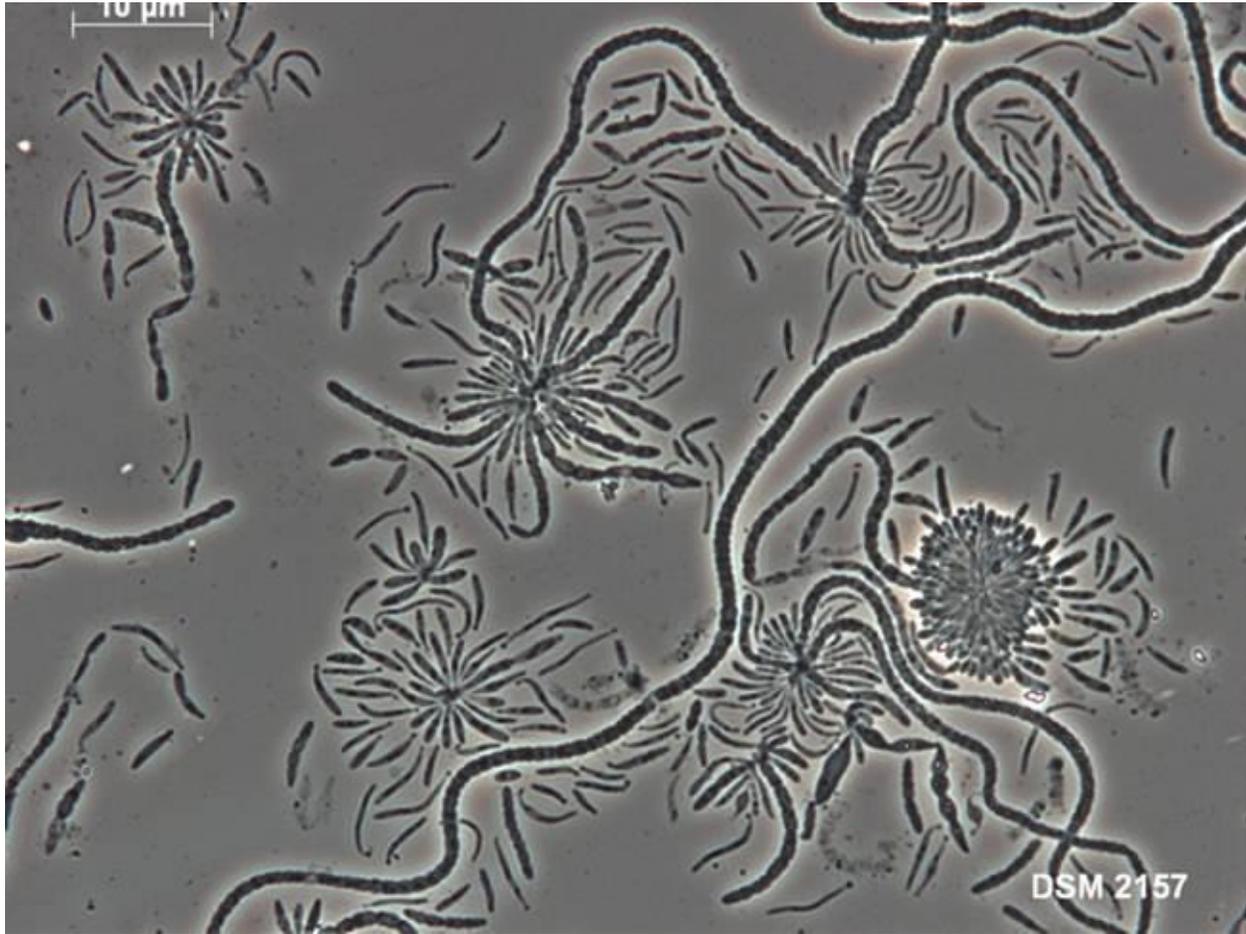
هي خيطيات سالبة لصبغة جرام وصبغة نيسير وتتواجد عن حمل حمأة عالي ولا تؤثر على الترسيب

5- هاليسكومينوباكتر هيدوسيس *haliscomentobacter hydrossis*



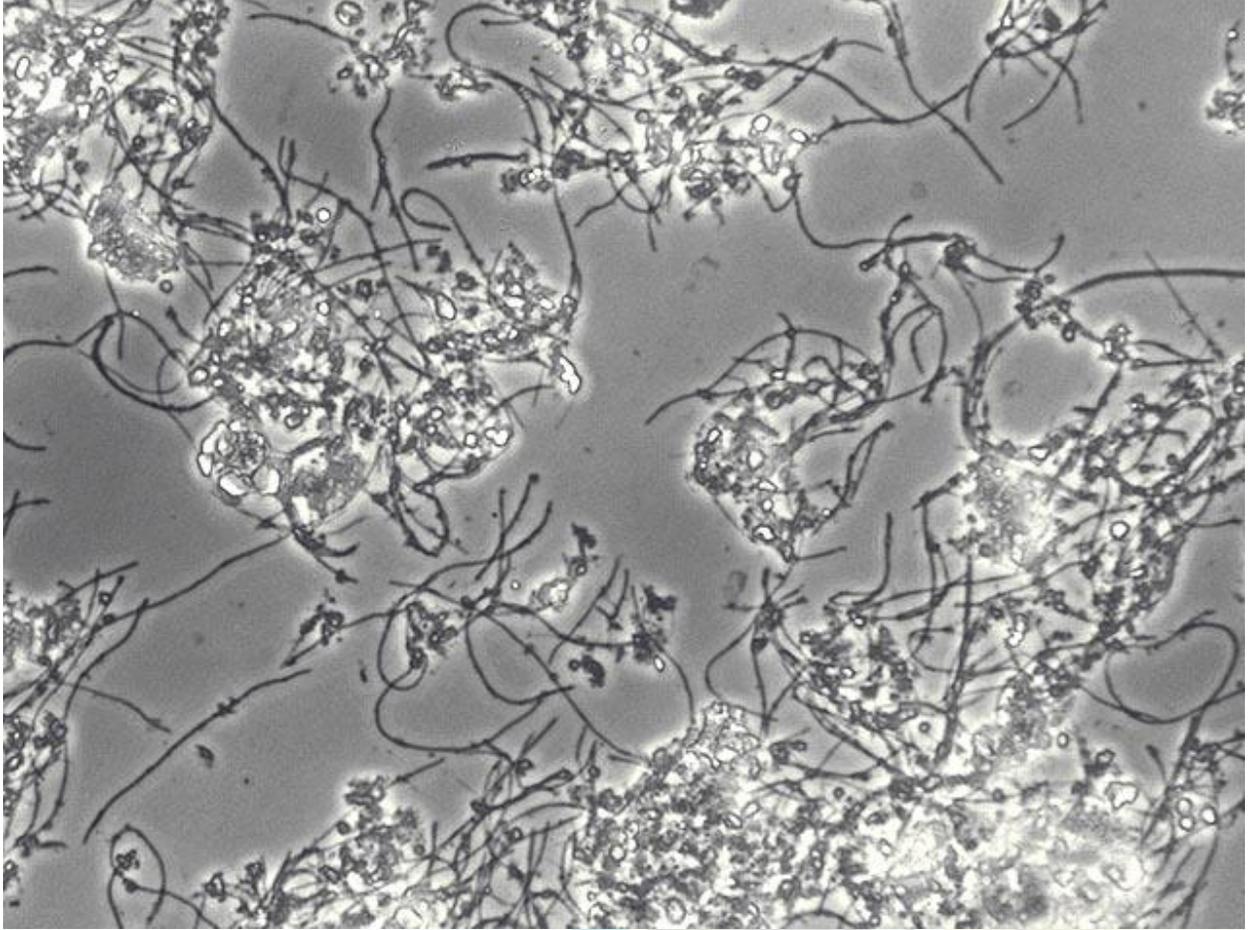
سائلة لصبغة جرام ونيسير وتتواجد في الحمأة النشطة عند حمل عضوي (الخاص بمياه الصرف المنزلي) $0.2 \text{ kg BOD/kgMLSS.d} >$ (تتواجد ايضا في تجمعات في مياه الصرف الصناعي عند حمل منخفض) وتتواجد ايضا بسبب زيادة تركيز المركبات صغيرة الوزن الجزيئي في المياه الخام والمياه الخام التي تحتوى على نسبة عالية من مركبات النيتروجين و نقص الاكسجين في حوض التهوية ونقص الفوسفات وتكون أعدادها قليلة في المحطات التي تزيل المغذيات كمحطة ينبع الا اذا توافرت ظروف تساعد على تكاثرها

6-لوكوثرىكس leucothrix



بكتريا سالبة لصبغة جرام و صبغة نيسير تتواجد عند حمل حمأة $>0.1\text{kgBOD/kgMLSSd}$ وتتكاثر اذا توافرت المركبات الكربونية سهلة التكسير مثل الاحماض الدهنية البسيطة والخلط الكامل بحوض التهوية واذا كان تركيز الاملاح للمياه الخام 10-40 جم/ل

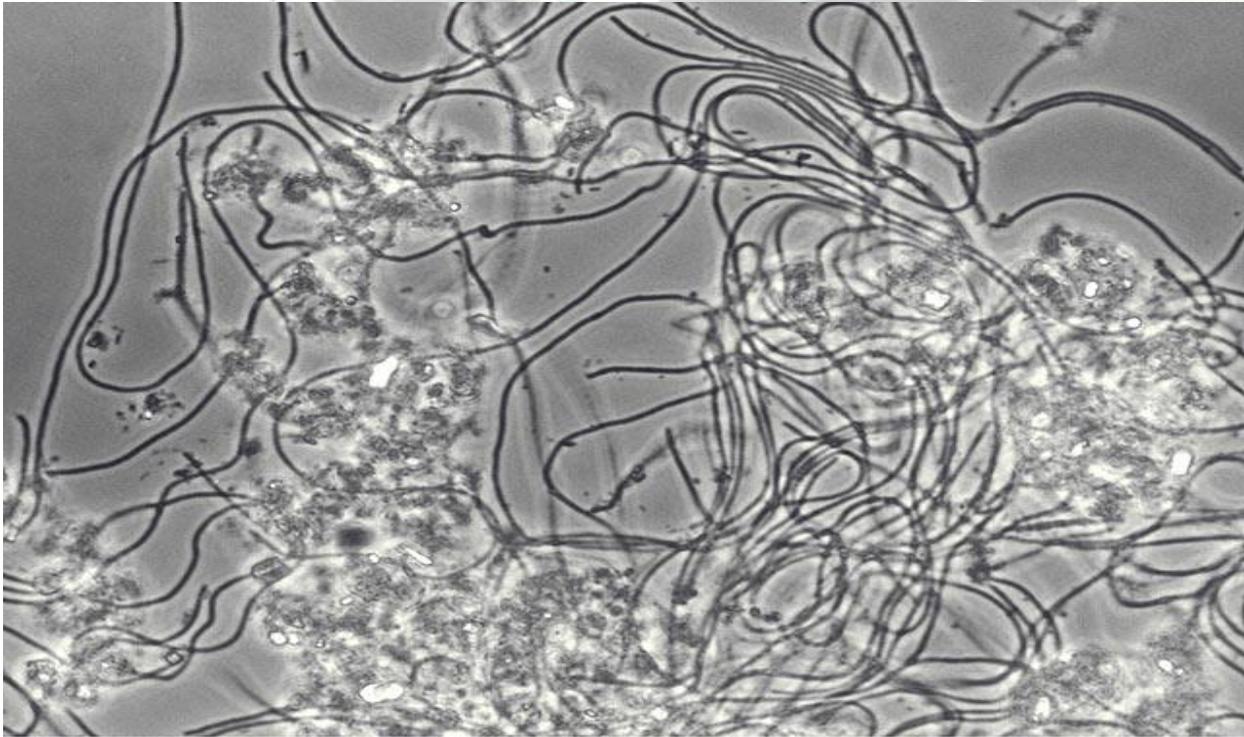
7- ميكروثركس بارفيسيلا *microthrix parvicella*



هي بكتريا موجبة لصبغة جرام وصبغة نيسير (تحتوي على عديد الفوسفات poly-p) وتتواجد عند حمل حمأة منخفض $0.2 \text{ kgBOD/kgMLSS} <$ وهي السبب الرئيسي في تضخم الحمأة في كثير من الاوقات ومسئولة أيضا عن تكوين الزبد scum وتسبب تكوين زبد في خزان تجميع الحمأة والمثخن إذا خرجت مع الحمأة الزائدة ؛ تتكاثر في وجود الاحماض الدهنية طويلة السلسلة كما في حامض الاوليك وباقي الاحماض الموجودة في زيوت الطعام والمتوفرة في مياه الصرف المنزلي والمطاعم ؛ تواجد الجلسريدات الثلاثية التي تنشأ من الدهون أيضا عامل مساعد لتكاثرها حيث تتحلل الجلسريدات قبل دخولها حوض التهوية وينتج منها الاحماض الدهنية الثقيلة ؛ غياب المياه في البيارات وزيادة زمن المكث نقلها للمحطة كما هو

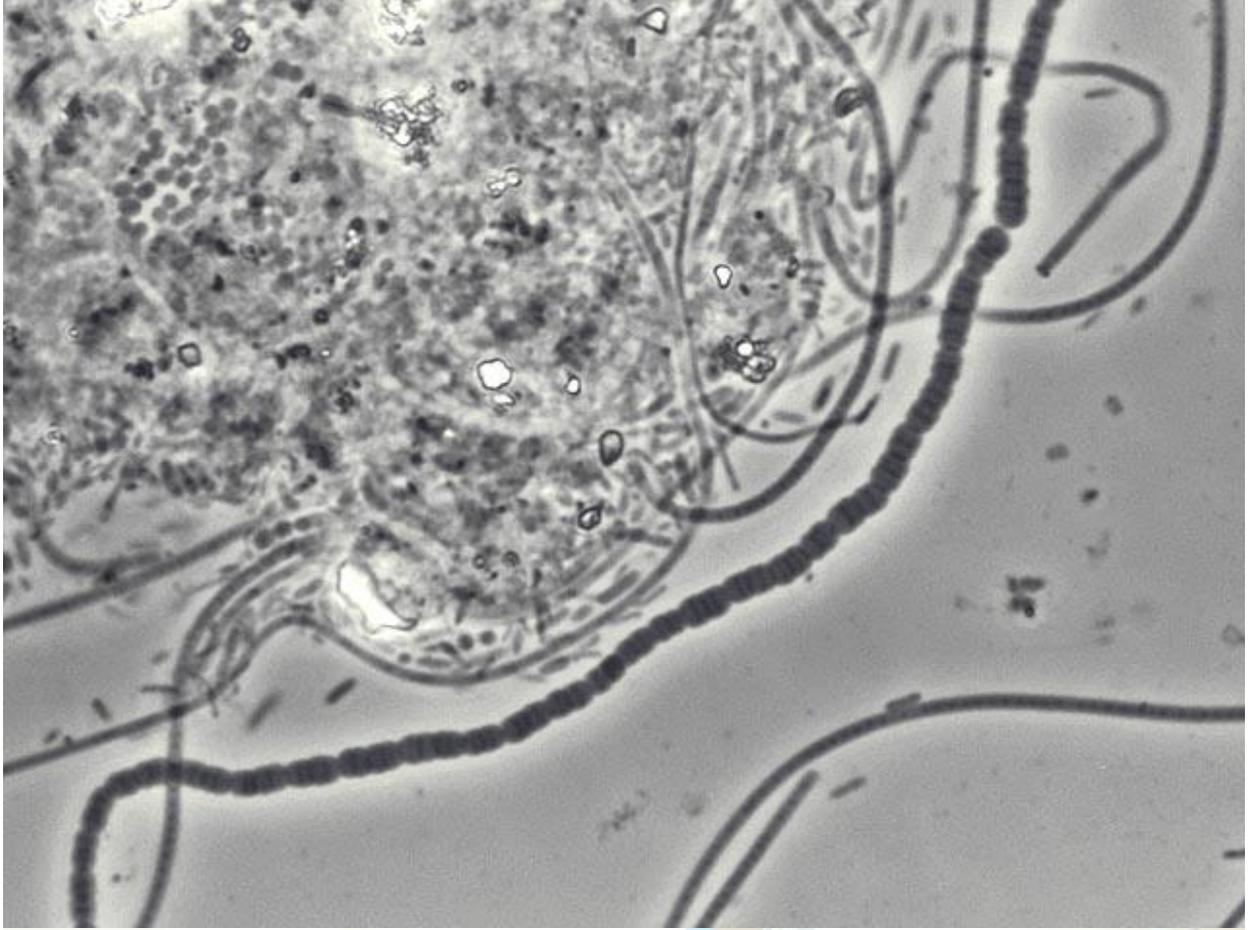
الحال حاليا في محطة ينبع حيث يتم نقل مياه البيارات بالسيارات كما أن البيئة اللاهوائية في حوض إزالة الفوسفور وزيادة زمن المكث به أيضا يوفر البيئة المناسبة لنموها ؛ نقص الاكسجين في حوض التهوية وزيادة مساحة المنطقة اللاهوائية *lanoxic zone* اذا كانت أكبر من 40% من مساحة حوض التهوية ودرجة الحرارة الأقل من 15 درجة مئوية ومركبات النيتروجين والكبريت المختزل (لذلك المياه الناتجة من وحدة الاحزمة الضاغطة والمعاداة الى مدخل المحطة قد تكون أحد الاسباب لاحتوائها على مركبات النيتروجين والكبريت المختزل) هي أيضا أسباب تزيد من تكاثر ونمو هذه البكتريا ؛ ومن كل ما سبق يتضح أن أحواض إزالة المغذيات (الفوسفور) عامل مساعد وبيئة مناسبة لنمو هذه البكتريا كما أنه من الصعب نموها في مياه الصرف الصناعي .

8-نوستوكوديا ليميكولا 1 *nostocoida limicola*



تتواجد في حمل الحمأة المنخفض ولا يعرف السبب الحقيقي في نموها وهي تسبب طفو الحمأة وتكوين طبقة من الزبد scum ولا تؤثر كثيرا في مؤشر عمر الحمأة

9-نوستوكوديا ليميكولا III 3 nostocoida limicola



تتواجد كثيرا في الحمأة النشطة خصوصا محطات إزالة المغذيات (الفوسفور والنيتروجين) تتكاثر سريعا وتزيد اعدادها اذا طبق حمل مرتفع وتتواجد في محطات الصرف الصناعي ايضا وتسبب تكوين الزبد ولا تؤثر كثيرا في مؤشر عمر الحمأة

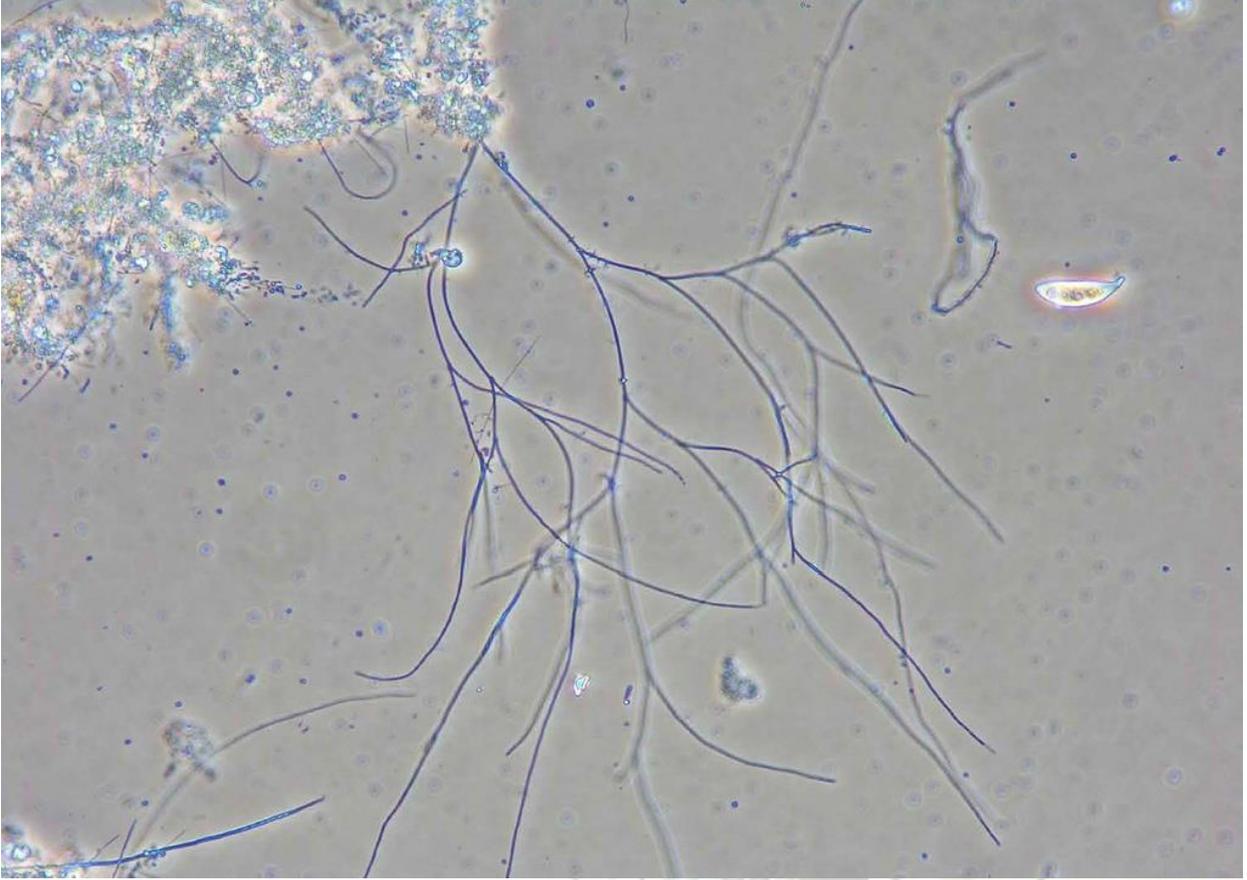
تنمو في وجود حمل حمأة $0.1-0.3 \text{ kgBOD/kgMLSS}$ ومياه الصرف الصناعي المحتوية على مركبات سهلة التكسير البيولوجي وانخفاض الحرارة ونقص المغذيات والخلط الكامل في حوض التهوية

10-الفطريات Fungi



في الغالب لا تتواجد في محطات معالجة الصرف الصحي الا عند درجة حموضة منخفضة جدا ولا تسبب تضخم الحمأة

11-سفايرتيلوس ناتنس sphaerotilus natans



تتواجد عند حمل $0.2\text{kgBOD/kgMLSS} >$ وعند نقص المغذيات والاكسيجين ومياه الصرف الصناعي والخلط الكامل بحوض التهوية نادرا ما تتواجد في محطات ازالة المغذيات بيولوجيا وتسبب تضخم الحمأة وتتواجد في محطات الصرف الصناعي وتؤثر بشكل كبير في مؤشر حجم الحمأة حيث يكون عالي جدا .

12-المكورات العنقودية streptococcus

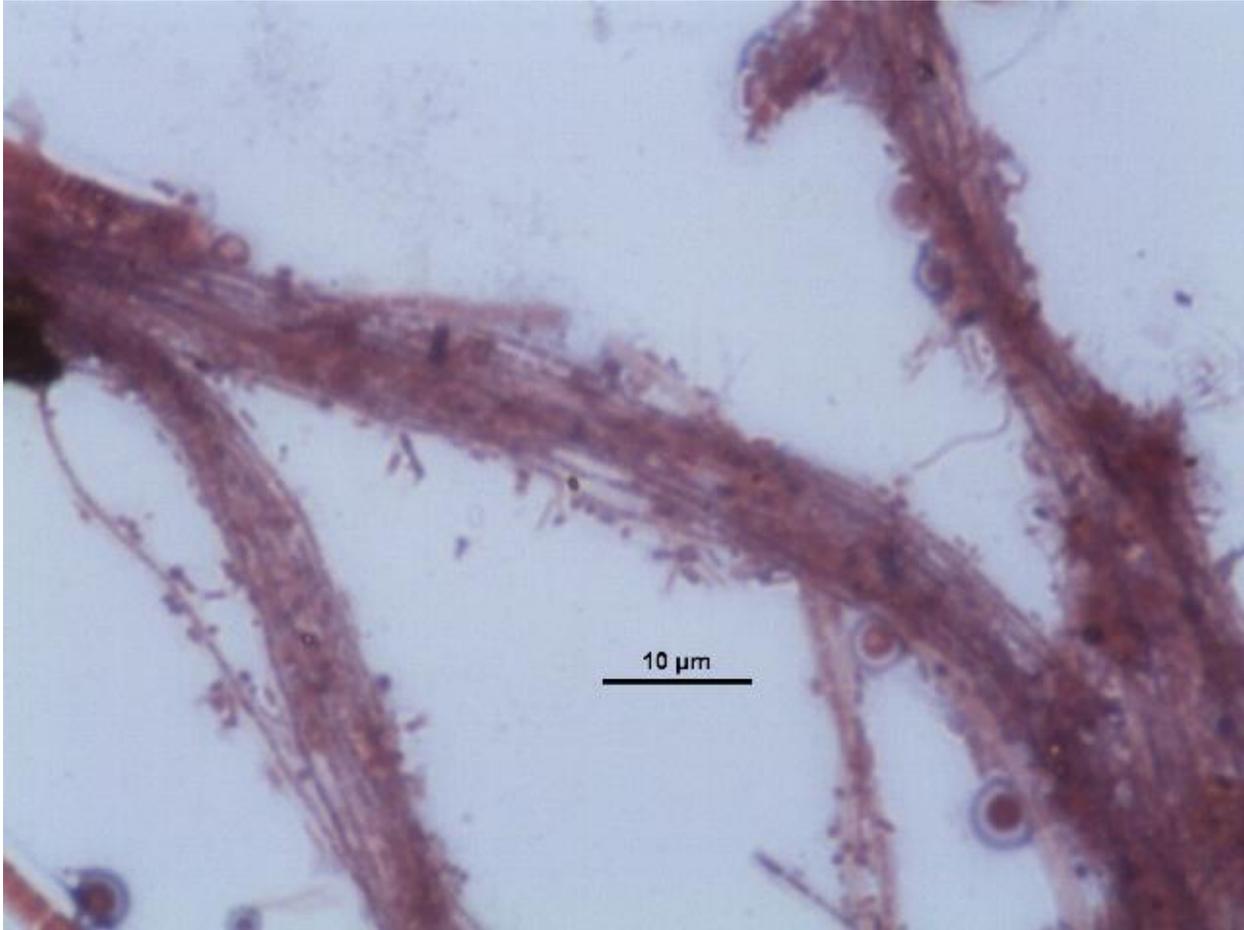


نادرا ما تتواجد في الحمأة النشطة ولا تؤثر على ترسيب الحمأة

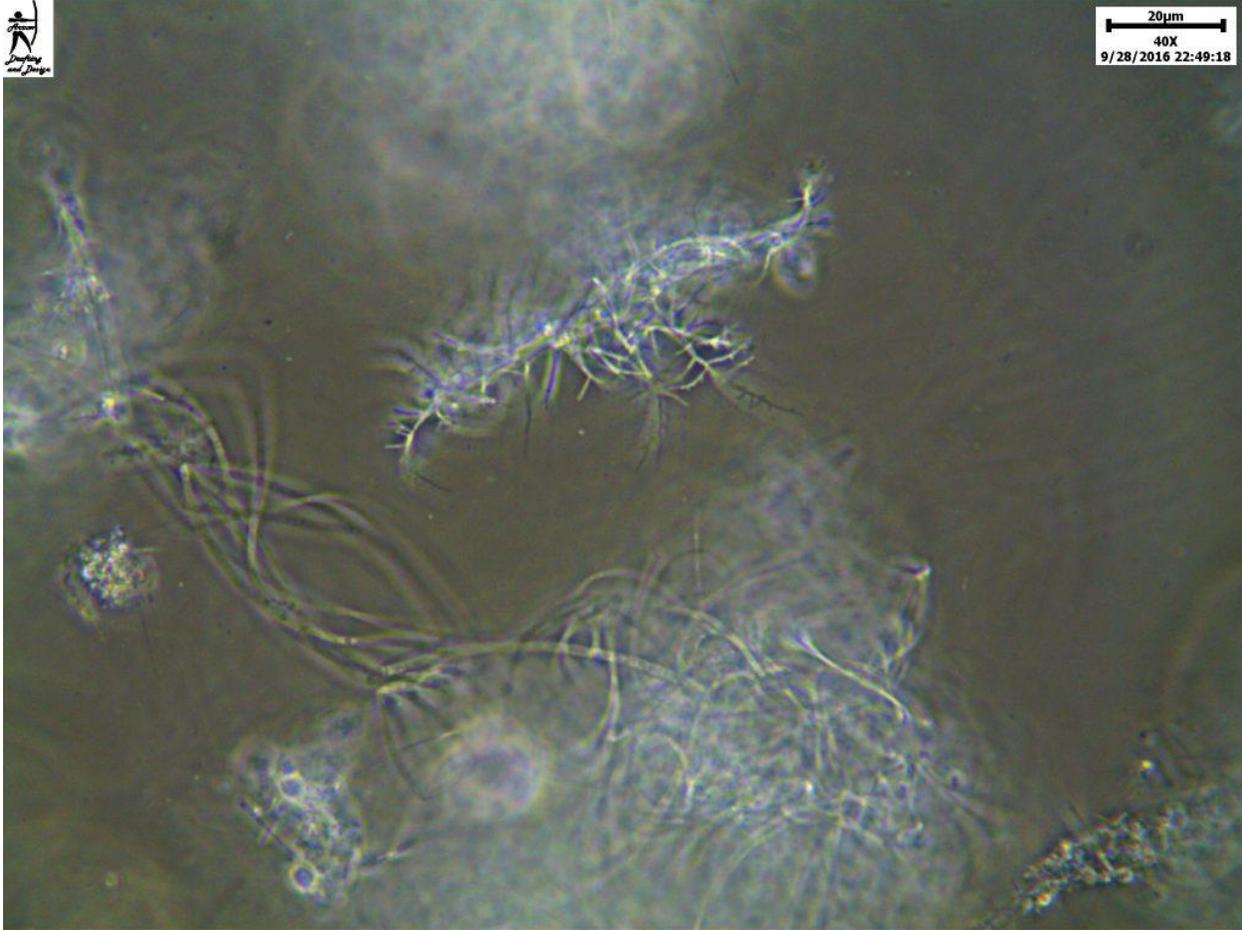




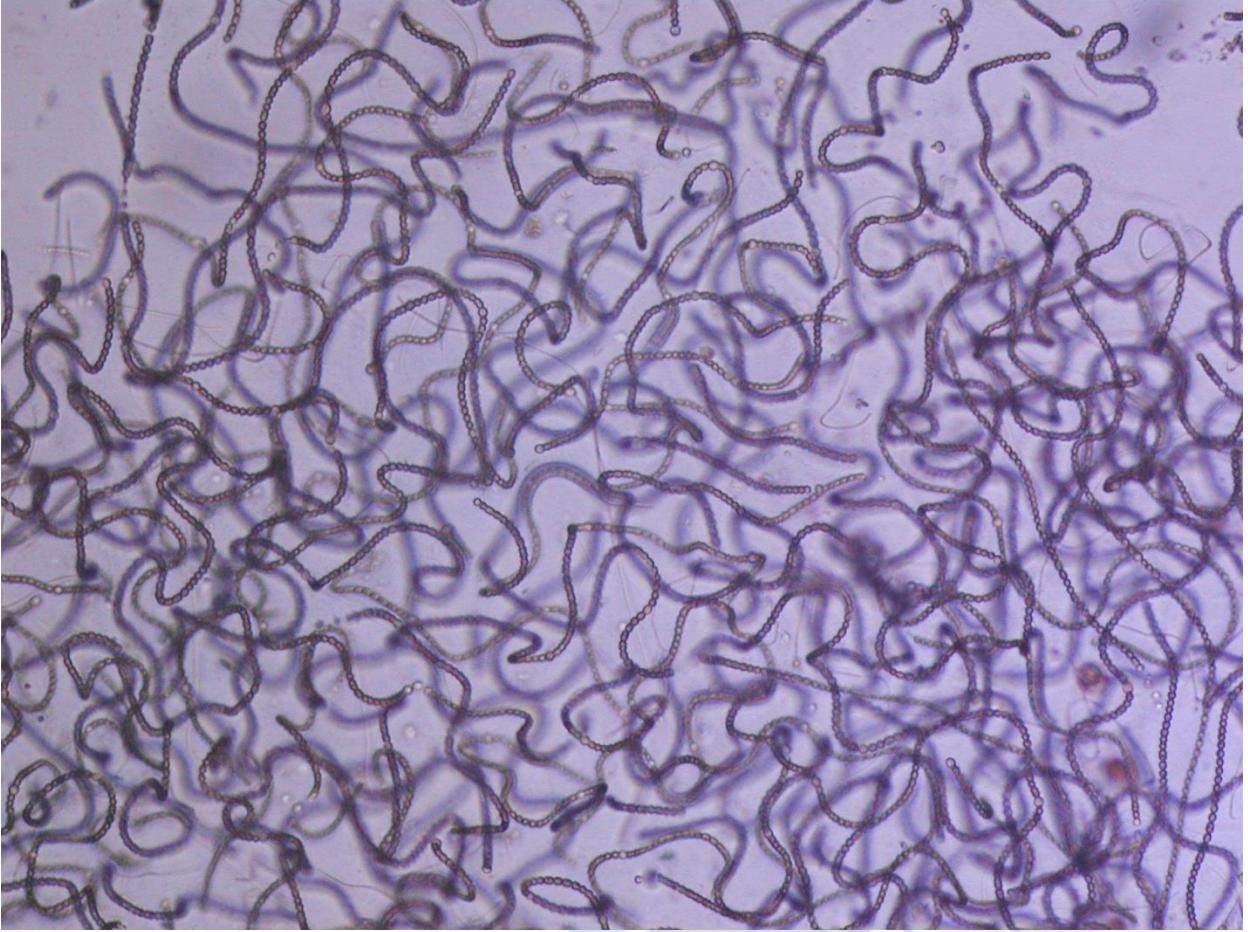
تتعلق بالحمأة وتساعد الاحماض الدهنية صغيرة الوزن الجزيئي والكبريت المختزل على نموها حيث تخزن الكبريت في خلاياها وتتواجد عند حمل حمأة $0.1 \text{ kgBOD/kgMLSS} >$ كما تنمو عند نقص المغذيات (الفوسفور والنيتروجين) والاكسيجين ؛ وايضا الخلط الكامل بحوض التهوية ولكن ايضا من الصعب تواجدها في محطات ازالة المغذيات والتي تعمل عند حمل حمأة منخفض الا اذا كان هناك تركيز عالي للكبريدات



توجد حرة في الماء ويمكن ان تتعلق بالندف وهي موجبة لصبغة جرام وتتواجد عند حمل حمأة $<0.2\text{kgBOD/kgMLSS d}$ و تقل اعدادها في المحطات التي تزيل المغذيات اذا لم يكن هناك خلط بين الحمأة الراجعة والمياه الخام ؛ في محطة ينبع يتم الخلط ومن المتوقع نمو هذه البكتريا ؛ لا تؤثر هذه البكتريا على مؤشر حجم الحمأة



سالبة لصبغة جرام وموجبة لصبغة نيسير ؛ يختفي معظم الخلية في الندف ؛ تتواجد عند حمل حمأة $0.1 \text{ kgBOD/kgMLSS} <$ ولا تؤثر على مؤشر حجم الحمأة ويزاد عددها حينما يقل عدد *M. parvicella* وهذا يدل على ان هذين النوعين من البكتريا يستخدمان نفس الغذاء (تتواجد في صورة تجمعات حرة في مياه الصرف الصناعي)



سائلة لصبغة جرام وصبغة نيسير أيضا وتتواجد مع أحمال الحمأة العالية ولا يعرف على وجه اليقين عوامل نموها



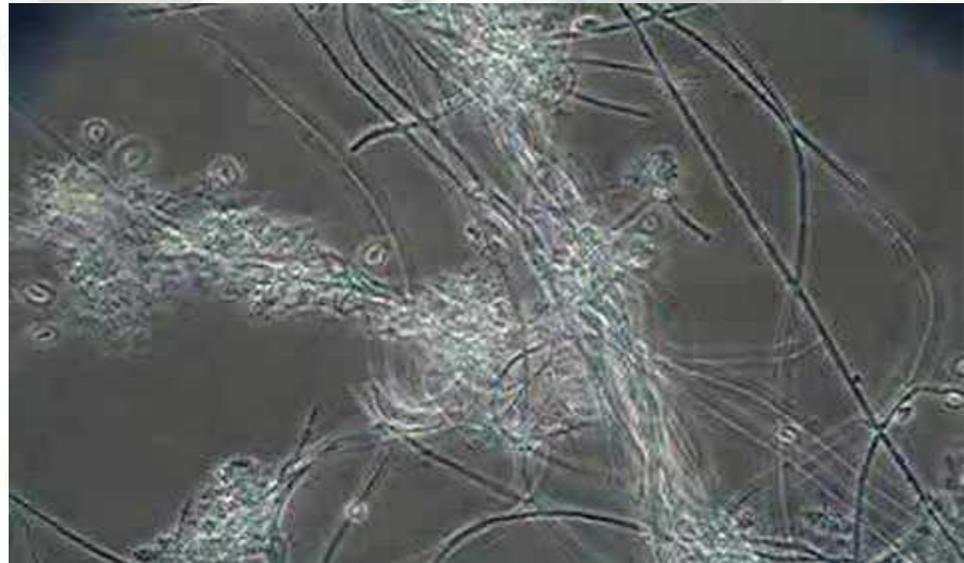
سالبة لصبغة جرام ونيسير وتتواجد عند حمل حمأة $0.05-0.4 \text{ kgBOD/kgMLSS}$ ويكون أعلى معدل نمو لها عند حمل $>0.1 \text{ kgBOD/kgMLSS}$ الاحماض الدهنية الخفيفة سهلة التكسير البيولوجي و نقص المغذيات والخلط الكامل بحوض التهوية كلها عوامل تساعد على نموها

18- نوع 0411 type



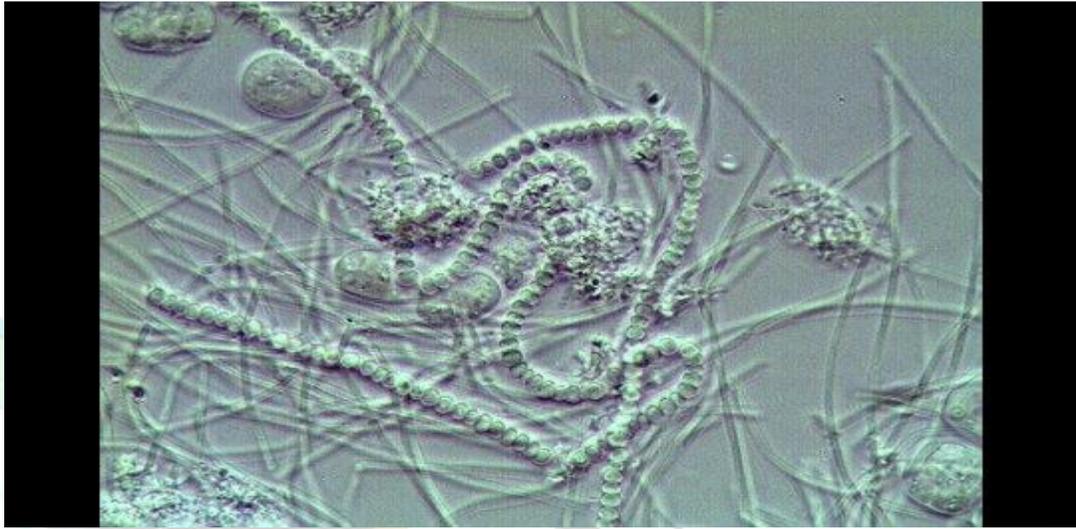
سالبة لصبغة جرام ونيسير وتوجد في الحمل $>0.3 \text{ kgBOD/kgMLSS}$ والعوامل التي تؤدي لنموها غير معروفة ولا تؤثر على سرعة الترسيب

19- نوع 0581 type



سالبة لصبغة جرام ونيسير وتتواجد في حمل الحمأة المنخفض

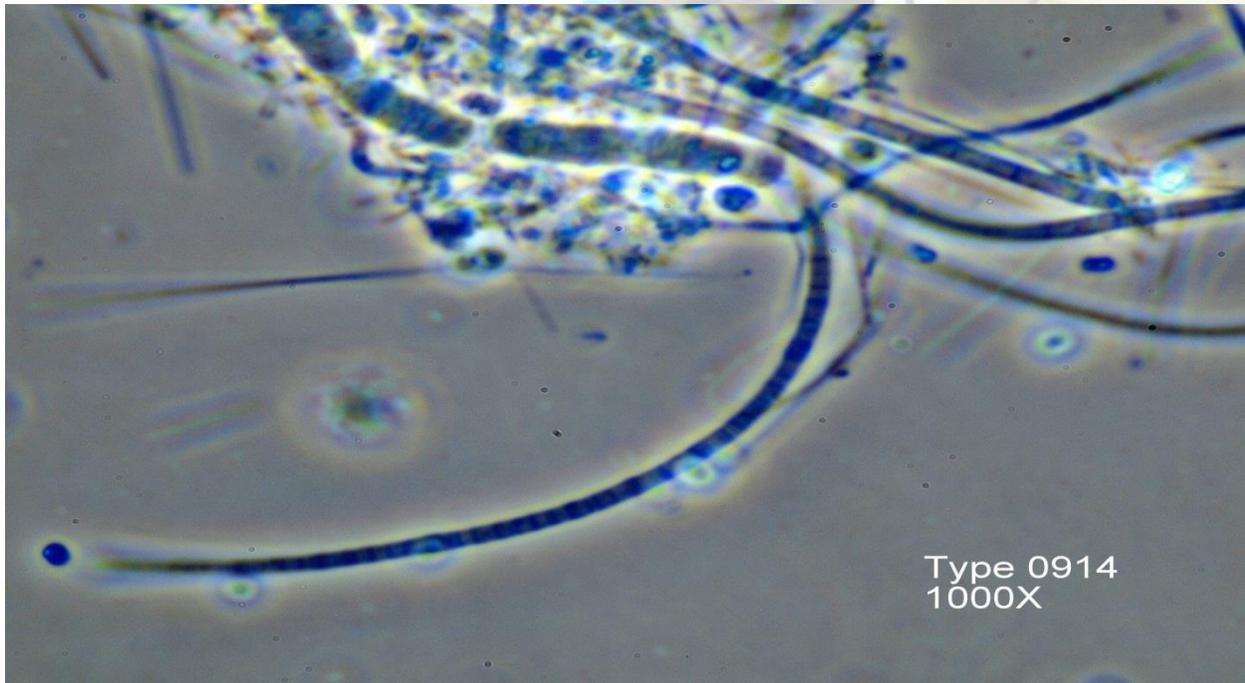
20-النوع 0803 type



عادة سالبة لصبغة جرام وحيانا موجبة لصبغة جرام وهي سالبة لصبغة نيسير وتتواجد عند حمل حمأة 0.2 kgBOD/kgMLSS < تختفي في التشغيل بطريقة النترية المسبقة

Predenitrification

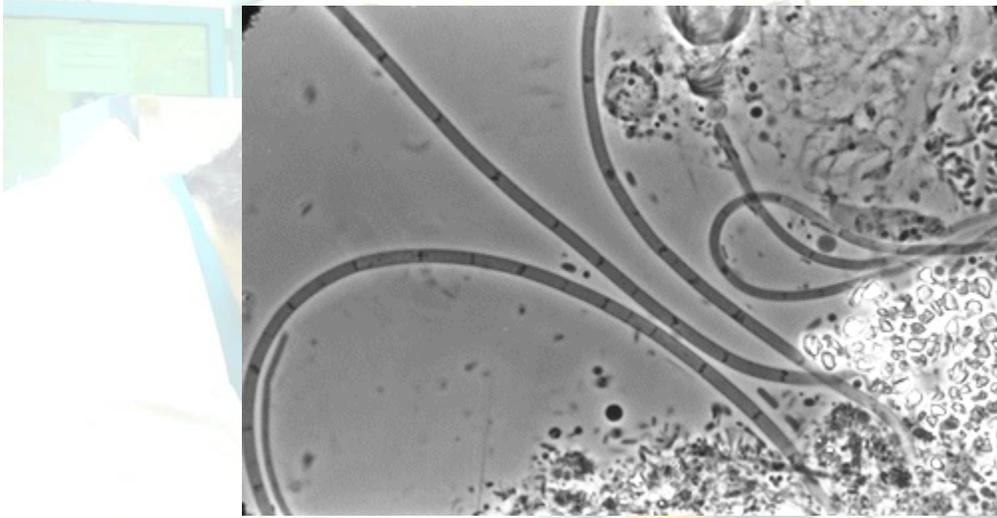
21-النوع 0914 type



Type 0914
1000X

هي بكتريا موجبة لصبغة جرام وسالبة لصبغة نيسير؛ تتواجد عند حمل حمأة
 0.2kgBOD/kgMLSS d وتتكاثر في الظروف اللاهوائية وبالتالي محطات ازالة الفوسفور
مثل ينبع تساعد على نمو هذا النوع من الخيطيات .

22-النوع 0961 type



هي بكتريا سالبة لصبغة جرام وصبغة نيسير؛ وتتكاثر عند حمل حمأة
 0.2kgBOD/kgMLSS d وتتكاثر في الظروف التي يتواجد بها المركبات العضوية سهلة
التكسير البيولوجي

23-النوع 1701 type



بكتريا سالبة لصبغة جرام وصبغة نيسير ؛وتتكاثر عند حمل حمأة

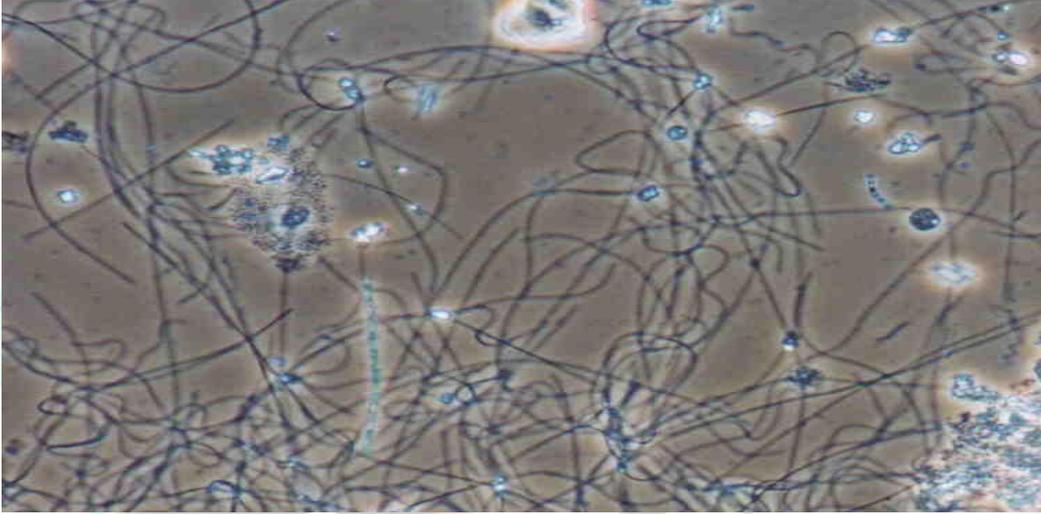
$d > 0.2 \text{kgBOD/kgMLSS}$ وتتكاثر في الظروف التي يتواجد بها تركيز عالي من الكربوهيدرات خصوصا النشا وعند نقص الاكسجين في حوض التهوية وحدث خلط كامل في حوض التهوية ومع ارتفاع درجة الحرارة ؛ وبالتالي هذا النوع لا ينمو في محطات الصرف الصحي خصوصا التي تعمل ازالة للمغذيات .

24-النوع 1702 type



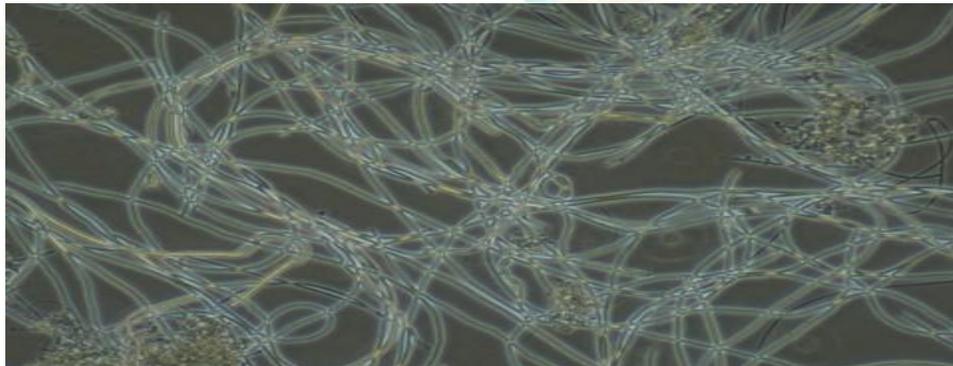
هي بكتريا سالبة لصبغة جرام وصبغة نيسير ولا يعرف ظروف واسباب تكاثرها وتتواجد احيانا بمياه الصرف الصحي

25-النوع 1851 type



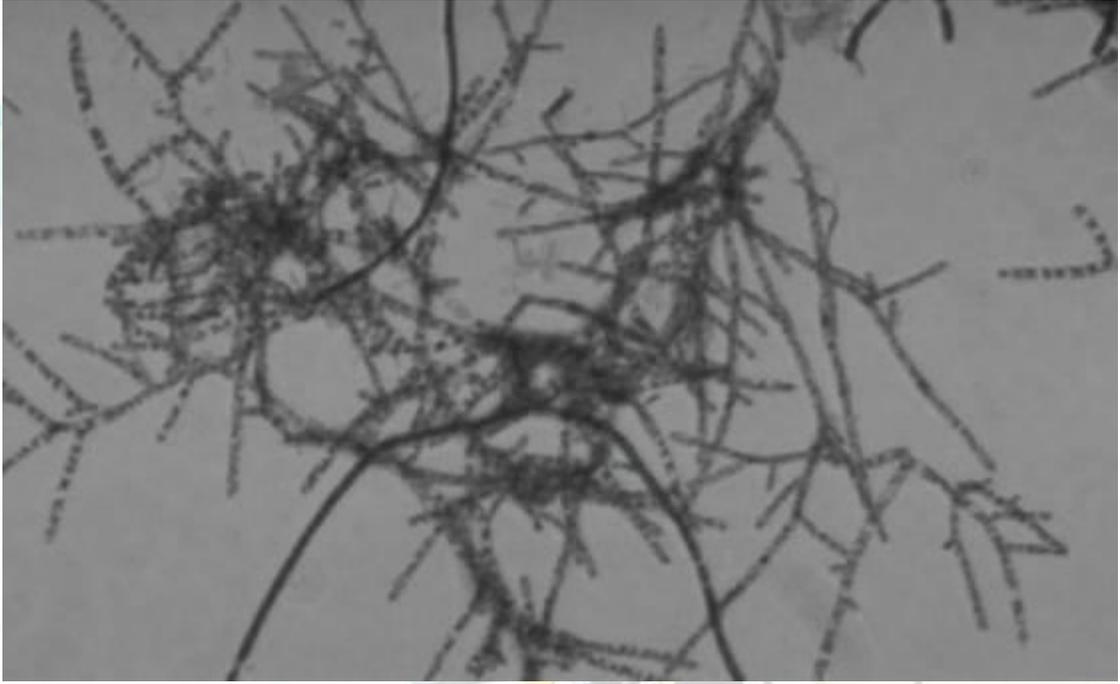
بكتريا سالبة لصبغة جرام وموجبة لصبغة نيسير؛ وتتكاثر عند حمل حمأة منخفض
d $0.15 \text{ kgBOD/kgMLSS}$ < وتتكاثر في الظروف التي يتواجد بها المركبات العضوية
سهلة التفسير البيولوجي وتتواجد في مياه الصرف ولكنها لا تكون سائدة .

26-النوع 1852 type



بكتريا سالبة لصبغة جرام وصبغة نيسير ونادرا ما تتواجد بمياه الصرف واسباب نموها غير معروفة

27-النوع 1863 type



بكتريا سالبة لصبغة جرام وصبغة نيسير؛ وتكاثر عند حمل حمأة عالي

0.3-0.6 kgBOD/kgMLSS d وليس له تأثير على سرعة ترسيب الندف وباقي اسباب

نموها غير معروف



وهي خيطيات قصيرة منتثية بدون انتظام طولها 10-20 ميكرومتر وقطرها 1 ميكرومتر وتوجد داخل الندف ويمكن ان تكون حرة في عمق المحلول وتوجد تفرعات حقيقية فطرية mycelium ولا يوجد غلاف ولا نموات مرتبطة والخلية غير منتظمة الشكل 1,2 x 1 ميكرومتر ويوجد بها فجوات متخالصة وموجبة لصبغ جرام و سالبة لصبغ نسيير وتوجد حبيبات موجبة لنسيير كما يمكن رؤية PHB ولا يوجد حبيبات كبريت .

Filament abundance

none	few	some	common	Very common	abundant	Excessive
0	1	2	3	4	5	6

Filament effect on floc structure

Little or none	bridging	Open floc structure

Morphology of floc

firm	weak	Round compact	Irregular , diffuse

Floc diameter

150	150-500	500
Free cell in suspension		
zoogloea		
Inorganic/organic particles		

Filamentous microorganism summary

Nocardia sup.	Rank	Abundance	M. parvicella	Rank	Abundance
Type 1701			Type 581		
S. natans			Type 0092		
Type 021 N			Type 0803		
Thiothrix sp.			Type 1851		
Type 0041			Type 0961		
H. hydrosiss			other		
N limicola			other		

X= dominant 0 = secondary

Chemist / Ibrahim elshamy

4-5 مشاكل عملية تشغيل الحمأة النشطة وحلولها

Activated sludge Operational process problems and solutions

الهدف من عملية معالجة مياه الصرف الحصول على مياه معالجة رائقة تقل فيه نسبة الملوثات لأقل درجة ممكنة وللحصول على هذا المنتج يتم ترسيب الحمأة وفصلها عن المياه في حوض الترسيب النهائي بعدما حولت الالبكتريا المواد العضوية والملوثات الى كائنات حية جديدة ومواد عضوية في شكل ندف قابلة للترسيب ؛ وتعتبر عملية ترسيب الحمأة هي الحلقة الأضعف في عملية المعالجة والمؤثرة بشكل مباشر على جودة المياه المروقة الخارجة من حوض الترسيب .

قلنا سابق أن نسبة الخلط بين الحمأة النشطة والمياه الخام بحمل الندف Flocs load ويعبر عنها بالجرام من الأكسجين الحيوي الممتص أو الأكسجين الكيميائي المستهلك لكل كيلوجرام من المزيج المتخمر المعالق gm BOD or COD / kg MLSS وحمل الندف هو مقياس تركيز الغذاء المتوفر للكائنات الحية أثناء خلط الحمأة الراجعة مع مياه الصرف الخام

$$\text{Floc loading} = \frac{Q_{iffl} \cdot (COD_{iffl} - COD_{effl})}{RAS \cdot MLSS \cdot Q_{RAS}} \text{ (gm BOD or COD / kg MLSS)}$$

نسبة حمل الندف (حمل الحمأة) هو القوة الدافعة لعملية الامتصاص البيولوجي ؛ ولان المواد العضوية الذائبة يمكن أن تدخل عمق الندف سوف يتم الكثير منها في الطور المائي بالتناسب مع زيادة حمل الندف .

يرتبط حمل الحمأة إرتباط وثيق مع نوعية الكائنات الحية التي تتواجد بالحمأة النشطة ومن ثم أيضا بمشاكل التشغيل الناتجة من تواجد بعض هذه الكائنات أو عدم تواجد البعض الآخر كما تؤثر على جودة الترسيب وجودة المياه المروقة .

هنا ستعرض الأسباب المختلفة التي يمكن أن تؤدي الى رفع تركيز المواد الصلبة العالقة في المياه المروقة

1-وجود خلايا حية حرة كثيرة والتي لا يمكن ترسيبها مع الحمأة وقد يرجع سبب تواجدها إلى

- حملة الحمأة عالي
- نقص أكسجين مزمّن أو مستمر مما يؤدي لحمل زائد
- تسمم أو إختفاء البروتوزوا التي تتغذى على الخلايا الحرة

2-تفكك ندف الحمأة deflocuation of sludge وقد يرجع سبب تواجدها إلى

- تهيج زائد بحوض التهوية مثل زيادة الأكسجين الخارج من ناشرات الهواء
- تسمم الحمأة
- حمل حمأة منخفض جدا $<0.05 \text{ kgBOS/kgMLSS d}$
- وجود مركبات مخيلية بالمياه الخام

3-ندف الحمأة لا تترسب بسرعة كافية وبالتالي مؤشر الحمأة عالي جدا SVI وهذا ما يعرف

بتضخم الحمأة ويرجع ذلك الى

- نمو زائد للبكتريا الخيطية في الحمأة

4-جزء من الحمأة يترسب بسرعة كبيرة وتشتت لغطاء الحمأة بحوض الترسيب وتسمى هذه

الحالة بالحمأة الثقيلة ومن اسبابها

- ترسيب أملاح في الحمأة

5- طفو الحمأة على سطح حوض الترسيب أو حوض التهوية أو كليهما معا وأسبابها

- وجود بكتيريا خيطية

- حدوث منتزعة في حوض الترسيب بسبب تراكم الحمأة لفترة زمنية طويلة

- ظروف لاهوائية أسفل الحوض

- وجود زيوت وشحوم تسربت من وحدة إزالة الزيوت والشحوم

- عيوب تصميمية أدت لاحتباس المواد الطافية في حوض التهوية

6- حوض الترسيب لا يؤدي وظيفته في الترسيب بشكل جيد

- زيادة الحمل الوارد للحوض

- زيادة الحمأة المتجمعة بالحوض

- زيادة مؤشر حجم الحمأة ومعدل رجوع الحمأة صغير جدا

- معدل رجوع الحمأة عالي جدا

- الزحفات وكاشط الزبد لا تعمل بشكل جيد

- زيادة حمل الهدار بسبب الهواء الشديد

4-5-1 حمل الحمأة العالي ونقص الأكسجين high sludge load and oxygen

deficient

في هذه الحالة يوضح الفحص المجهرى للحمأة وجود خلايا حرة كثيرة بين الندف وغياب الهدبيات بينما تتواجد على غير المتوقع السوطيات والاميبا وبالتالي فمن المتوقع أن يكون حمل الحمأة $0.3 - 0.4 \text{ kgBOS/kg MLSS d} >$ الحمل الزائد في الأنظمة منخفضة الحمل (الى حد محدد) أيضا يؤدي الى زيادة الخلايا الحرة والسوطيات .

نقص الاكسجين (طول فترة الظروف anaerobic /anoxic) أثناء ازالة المغذيات يؤدي
لنفس النتيجة ؛ كما أن غياب أهم كائنات حية تتغذى على البكتريا وهي الهدبيات يؤدي ايضا
الى زيادة الخلايا البكتيرية الحرة ومن ثم لنفس النتيجة
يجب إتخاذ الإجراءات التصحيحية التالية في هذه الحالة :

- أفص حمل الحماة
- تأكد من تركيز الاكسجين الذائب
- عين معدل انتفس للحماة النشطة لأنه اذا كان مرتفع جدا فهو يشير الى حمل عالي أو
نقص أكسجين أو كليهما معا

2-5-4 تسمم الحماة poisoning of the sludge

طبقا لنوع وتكيز المواد السامة في المياه الخام تؤثر هذه المواد على الحماة كالتالي :

- إختفاء البروتوزوا فجأة ؛ تتواجد هذه الكائنات تعيش حرة في المياه
- تهشم الندف من الخارج وبالتالي تفكك الخلايا البكتيرية الحرة وزيادة عددها ؛ ومع غياب
الهدبيات تزيد المشكلة
- في الظروف القاسية تموت اعداد كبيرة من البكتيريا وبالتالي تقل كفاءة النترتة وتفكك
الندف وهذه المشكلة صعبة الحدوث لأن البكتريا تكون محمية داخل الندف من التعرض
للمواد السامة علاوة على ان هذه المواد يتم امتصاصها في الكتلة العضوية للندف .
- في غضون أيام قليلة من التسمم تزيد نسبة الهدبيات بسرعة وذلك لتوفر غذاؤها من
الخلايا البكتيرية الحرة ويكون عودة الهدبيات مؤشر في نفس الوقت على انتهاء حالة
التسمم وتعود المياه رائقة في غضون أيام قليلة .

يمكن تقليل فرص حدوث تسمم بالوسائل التالية :

- تتبع وتطهير المدخل ومصادر مياه التغذية للمحطة والرقابة على الوايتات
- متابعة المدخل بأجهزة قياس للمواد السامة
- التخزين المؤقت المؤثر للمياه الواردة لتفادي حدوث تدفق عالي للمواد السامة وهذا تحققه محطات الرفع باستخدام بيارات المحطات

3-5-4 تفكك الندف (ندف صغيرة كثيرة) many small Flocs , deflocuation

- وجود هذه الندف الصغيرة مع عدم حدوث تسمم للحماة يمكن أن يرجع إلى :
- وجود مركبات مخرلية مثل الإيديتا في المياه الخام التي تترايط مع الكاتيونات الثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم في الندف وبالتالي تساعد على تفكك الندف
 - التهوية الزائدة التي تسبب تكسير الندف وتفككها
 - الحمل العضوي الضعيف جدا يفكك طبقة الزيت المحيطة بالندف
- $0.05 - 0.4 \text{ kgBOS/kg MLSS d}$ ويمكن تحسين تكون الندف في هذه الحالة بضخ مواد تساعد على التنديف بتركيزات منخفضة مثل البوليمر الكاتيوني

4-5-4 الحمأة الثقيلة heavy sludge

وهذه التسمية مجازية لأنها غير صحيحة حيث يترسب جزء من الندف بسرعة في دقائق معدودة عند الباقي وهذا يشتم غطاء الحمأة بحوض الترسيب

تعود هذه الظاهرة لترسب بعض الاملاح في المدخل وهي حالة نادرة الحدوث في محطات معالجة مياه الصرف الصحي بالحماة النشطة

5-5-4 حوض الترسيب النهائي لا يعمل جيدا the final clarifier dos not work

well

الجمع بين مياه عكرة من ناحية وترسيب جيد مع محلول رائق فوق غطاء الحمأة من ناحية أخرى يدل على أن حوض الترسيب لا يعمل بشكل جيد وهذا يؤدي لزيادة المواد الصلبة في المياه المروقة ولا يرجع سبب ذلك الى مشكلة بيولوجية ولكن يعود الى أحد الاسباب التالية :

• الحمل الهيدروليكي الحقيقي للحوض مختلف عن التصميمي

• حمل المواد الصلبة وارتفاع غطاء الحمأة

• معدل رجوع الحمأة الحقيقي

• التدوير القصير في أسفل الحوض

• الرياح الشديدة تؤدي لحمل زائد على الهدار

• تيارات حرارية بالهدار

• تسمم الخليط المتدفق الى الهدار

كفاءة المعالجة غير كافية مع منتج رائق treatment performance inadequate with clear effluent

أحيانا تكون المياه المنتجة رائحة جدا بالرغم من أن نتائج تحاليل BOD , P . NO3 تكون عالية جدا والفحص المجهرى لا يبين حدوث تسمم في هذه الحالة يوجد خطأ ما في التشغيل ممكن ان يكون خطأ في حساب عمر الحمأة أو طول فترة النترية مع قلة مساحة نزع النترية أو عدم وجودها اصلا

decline of sludge production إنخفاض إنتاجية الحمأة

إذا انخفضت إنتاجية الحمأة مع عدم انخفاض الحمل العضوي الداخل للمحطة فهذا يرجع إلى

سببين

- ترسب جزء من الندف كما في حالة الحمأة الثقيلة
- نمو الديدان worms لانها تتغذى على الحمأة وهذا له فائدة في تحسين خواص ترسيب الحمأة ولكن في نفس الوقت يقلل من كفاءة النترتة

4-5-6 تضخم الحمأة bulking sludge

تتكون الحمأة النشطة من خليط من الكائنات الحية ويتحدد هذا بنوعية المياه الخام وظروف تشغيل الحمأة فمثلا عند نقص المغذيات بالمياه الخام يحدث تنافس بين الكائنات الحية المختلفة فتسود بعضها ويختفي البعض الاخر لعدم قدرته على المنافسة كما تؤثر الظروف أيضا من درجة الحرارة ودرجة الحموضة والاكسجين على تكاثر نوع أكثر من الاخر ؛ إذا كان النوع السائد وفقا لذلك هو الخيطيات كما أن توافر بعض المركبات الكبريتية في المدخل تعزز نمو الخيطيات ومن ثم يحدث زيادة في اعدادها تنتقل الى حوض التهوية وتبدأ مشكلة تضخم الحمأة ؛ البكتيريا الخيطية هي جزء من التعداد البكتيري الطبيعي للحمأة النشطة ويوجد منها 30 نوع معروفة ومعظمها ليس له اسم بل رقم ومن هذه الثلاثين يوجد عشرة فقط تسبب مشاكل الحمأة ؛ كلما كان عدد الخيطيات محدود بالحمأة كلما كانت الأمور طبيعية والترسيب جيد لكن اذا كثرت الخيطيات تضخمت الحمأة بسبب تكوين تركيب مفتوح متفرع من الحمأة كبير السطح تقل كثافته عن المياه ومن ثم ترتفع الحمأة الى سطح الحوض ويكون مؤشر حجم الحمأة SVI كبير جدا أكبر من $SVI > 150 \text{ ML/GM}$ وغالبا تحدث مشكلة تضخم الحمأة في موسم الشتاء أكثر من الصيف في الأجواء الباردة ؛ يوجد نوع من تضخم الحمأة لا تكون الخيطيات أي دور فيه هو التضخم الدبقي نسبة لنوع الكائنات المسببة له zoogloal .

4-5-7 مؤشر الخيطيات ومؤشر حجم الحمأة filaments index and sludge volume index

يستخدم الفحص المجهرى ثلاثة مرات في الاسبوع على الاقل ليكون بمثابة الانذار المبكر لتكاثر الخيطيات وزيادة مؤشر الخيطيات واحتمالية حدوث تضخم الحمأة كما يستخدم حجم الحمأة ومؤشر حجم الحمأة وطريقة الترسيب وشكل الندف وكيفية ترسيبها على وجود خيطيات

تؤثر البكتيريا الخيطية على خصائص الترسيب وانضغاط الندف في قاع حوض الترسيب بثلاث طرق هي :

- الخيطيات التي تبرز من الندف أو التي تكون موجودة في الطور المائي بين الندف تمنع الندف من الاقتراب من بعضها ويكون تأثير الخيطيات أكثر بهذا الشأن اذا كانت طويلة أو مستقيمة وقوية ؛ الا أن تركيب الندف لا يتأثر ومن أمثلة الخيطيات هذه .

S.natans , thiothrix , type 021 , type 0803 /0904

- بسبب وجود أنواع أخرى من الخيطيات يتكون ندف ذات تركيب مفتوح حيث تتراكم الندف في هذا التركيب ويكون ترسيبها بطئ وضعيفة التماسك ويسهل طفوها على سطح الحوض ؛ تتشابك الخيطيات مع بعضها مكونة شبكة تتعلق بها الندف الصغيرة وتزيد مساحة سطح الشبكة في شكل مفتوح وتطفو بسهولة على سطح الحوض ؛ من أمثلة هذه الخيطيات actinomycetes ,M. parvicella , N. limicolaIII , type 0092, type 1701

- خيطيات تؤدي لطفو الحمأة عن طريق تخليق طبقة من الزيد

بالإضافة الى عدد الخيطيات فإن الشكل والطول عوامل مؤثرة في سرعة الترسيب ولكن الخواص الكيميائية والفيزيائية أيضا ولها ليست الوحيدة التي تساعد على ذلك بل ؛ بعض

الخييطيات لا تلعب أي دور في تضخم وطفو الحمأة مثل type 1863 أو تكون ندف عادية مثل N. limicola .

يمكن إجمال العوامل المؤثرة في سرعة ترسيب الحمأة في الآتي:

• شكل الندفة ؛ الندف المدورة تترسب أسرع وأفضل من الندف غير منتظمة الشكل

• حجم الندفة , كلما كان الحجم كبير لدرجة مناسبة بحيث تزيد كثافة الندفة تترسب

بسهولة وبسرعة

• تركيب الندفة ؛ الندف المنضغطة تترسب أسهل من الندف المتكتلة

• حجم الجزء الغير عضوي من الندفة حيث تترسب الندف التي تحتوي على مواد غير

عضوية بنسبة 40%-50%. بسهولة حتى لو كانت نسبة الخييطيات بها كبيرة

• شحنة سطح الندفة

هذا معناه أنه ليس هناك ارتباط كبير بين مؤشر الخييطيات FI ومؤشر الحمأة SVI ؛ تساعد

مركبات الكبريت المختزلة مثل H2S على زيادة نمو الخييطيات من نوع , Thiothrix

. type021 , biggiatoa , type 0914

كل الكائنات الخيطية المذكورة السابقة فيما عدا microthrix parvicella يمكنها النمو اذا

توفر الغذاء والاكسيجين لأنها هوائية كما يمكنها النمو في بيئة تركيز الاكسيجين فيها قليل

ويتوقف نموها تماما في البيئة اللاهوائية بشقيها anaerobic/anoxic وتستطيع parvicella

فقط ادمصاص المواد العضوية في هذه الظروف ؛ كما ان العديد من البكتريا الصانعة للندف

تعيش في غياب الاكسيجين وهذا يمكننا من وضع استراتيجية للتحكم في الخييطيات .

تستطيع الخييطيات أن تعيش في ظروف المعالجة الطبيعية (عمر الحمأة ؛درجة الحرارة ؛

جودة المياه الخام ... الخ) وتستطيع المنافسة في هذه الظروف ولكنها تفقد القدرة على

المنافسة في البيئة التي يكون بها حمل حمأة عالي جدا كما أن أعلى معدل نمو لها غير كافي لتبقى على حياتها عند عمر الحمأة القصير جدا (عمر الحمأة قصير لأن حمل الحمأة كبير) لذلك عمليا لن تبقى خيطيات حية عند حمل حمأة أعلى من $1-1.5 \text{ kg BOD/kg MLSS d}$

4-5-8 ظروف المعالجة والتكوين العددي process condition and composition

- حمل الحمأة $>0.2 \text{ kg BOD/kg MLSS d}$
- مجموعة الخيطيات التي توجد في مياه الصرف الصحي المنزلي عند حمل الحمأة $>0.2 \text{ kg BOD/kg MLSS d}$ تضم البكتريا الخيطية السالبة لصبغة جرام وهي تتغذى على المواد الذائبة في المياه مثل السكر والأحماض قصيرة السلسلة الكربونية وهذه الأحماض تنتج من التخمر اللاهوائي في المجاري ولهذا النقل طويل الزمن أو مياه البيارات تزيد من فرص حدوث تضخم بسبب نمو هذه المجموعة من البكتريا الخيطية كما أن الكبريتات التي تنتج في الظروف اللاهوائية تساعد على نمو نفس المجموعة وهذه الظروف موجودة في محطة الصرف الصحي بينبع حيث يتم نقل مياه البيارات الى المحطة بالصهاريج (تحتوي مياه الصرف الصناعي ايضا على كمية كبيرة من الجزيئات قصيرة السلسلة التي تساعد على نمو هذه المجموعة)

- المجموعة الثانية التي تنمو عند حمل حمأة $\leq 0.1 \text{ kg BOD/kg MLSSd}$ من اهم أعضاء المجموعة M. Parvicella والتي تعتمد على الأحماض الدهنية العالية مثل حامض اوليك والبالمتيك وهي تصل لمحطة الصرف في صورة زيوت ودهون من المطاعم والبيوت وقبل ان تستكلها هذه الخيطيات يتم تكسيرها بواسطة بكتيريا موجبة لصبغة جرام وحيث ان بكتريا M.Parvicella سطح الخلية كاره للوسط المائي فهي تمتص هذه الأحماض الدهنية بسهولة .

• من هذه المجموعة أيضا actinomycetes التي تستهلك الليبيدات والدهون من مياه

الصرف كما تستهلك هذه المواد ايضا type 0092 , type 1851 , type 0041

بكتيريا M.Parvicella تعتبر موسمية تزيد اعدادها شتاء وتقل في فصل الصيف

4-5-9 تأثير إزالة المغذيات على الخيطيات effect of nutrient removal

إزالة المغذيات تستلزم بيئة لاهوائية بشقيها anaerobic/anoxic ويتم فيهما إزالة النيتروجين والفسفور ؛ لا تستطيع M.Parvicella استهلاك الكربون في غياب الاكسجين الجزئي وهذا معناه ان الخيطيات التي تنمو على الجزيئات الذائبة في المياه الخام لن تتواجد وعلى العكس منها سوف تتواجد M.Parvicella في ظروف إزالة المغذيات ؛ بالنسبة لبكتيريا TYPE 0041 من الصعب ان تتواجد في ظروف مؤشر حمأة عالي SVI ؛ وفي المناطق الحارة مثل ينبع تتواجد بكتيريا Actinomycetes بكثرة ؛ خلط المياه الخام مع الحمأة الراجعة يقلل من تكاثر الخيطيات ويظهر ذلك في التكامل الحاصل بين Parvicella وبكتيريا type 0041 حيث اذا قل أحدهما يزيد الآخر والى الان لا يوجد تفسير واضح لتكاثر Parvicella في المحطات التي بها إزالة للمغذيات

4-5-10 المنافسة بين الكائنات الخيطية completion between filaments

organism

لا تتنافس البكتيريا الخيطية مع البكتيريا الصانعة للندف فقط على الغذاء ولكن أيضا مع بعضها البعض وقد يحدث تغيير في التعداد لكل صنف من الخيطيات لكن يظل العدد الكلي في النهاية لمجموع الأصناف ثابت بمعنى أنه اذا قل عدد صنف زاد الآخر والعكس ومن أمثلة التبادل هذا الذي يحدث بين S. Natans/thiothrix/ TYPE0021N وأيضا بين

Parvicella/actinomycetes/type0041/type0092

4-6 التحكم في تضخم الحمأة

Controlling bulking sludge

توجد عدة طرق للتحكم في مشكلة تضخم الحمأة هي :

- إضافة الكلور إلى الحمأة الراجعة
- تكسير الخيطيات باستعمال أجهزة بث موجات صوتية
- تمديد الندف باستعمال مواد تنديف مثل البوليمر الكاتيوني
- زيادة وزن الندف بإضافة مركبات الكالسيوم مثل أكسيد الكالسيوم
- إضافة أملاح الحديد مثل كلوريد الحديد وكبريتات اللومنيوم (اللالوم) ليس فقط لتثقيل وزن الندف بل كعامل مساعد على التنديف وأيضا لتقليل عدد الخيطيات حيث يعمل كبريتات اللومنيوم على تقليل عدد *M. parvicella*
- لاحظ ان المواد الكيميائية تزيد من كمية الحمأة لأنها ستضاف الى وزن الحمأة وحجمها
- حلول تختص بمكونات الحمأة وتركيبتها من الكائنات الحية وهذا يتطلب تغيير ظروف التشغيل مثل التحكم في تكاثر الخيطيات نتيجة نقص بعض العناصر مثل النيتروجين والفسفور ؛ التأكد من أن تركيز الاكسيجين لا يقل عن 2 ملجم/ل لأنه عند نقص الاكسيجين لا يتم استهلاك الغذاء وبالتالي يبقى تركيز كافي من الغذاء لنمو الخيطيات كما أن قدرة بقاء الخيطيات على البقاء عند نقص الاكسيجين أكبر من قدرة البكتريا المكونة للندف كما أن التغيير من البيئة الهوائية aerobic الى البيئة اللاهوائية anoxic في حوض التهوية في طريقة النترية المتزامنة يقلل من الزمن المتاح للتحويل الهوائي للمواد الغذائية ؛ يجب إجراء الفحص المجهرى للتأكد من وجود البكتريا الخيطية المؤكسدة للكبريت هذا معناه وجود كبريتيد في مياه

الصرف الخام بكميات كبيرة ويجب التخلص من الكبريت قبل وصوله لحوض التهوية وذلك بالتهوية التي تسبق حوض التهوية أو أكسدة الكبريت كيميائياً .
متابعة المياه الخام لمعرفة اذا كان بها مواد كربونية سهلة التكسير مثل الاحماض الدهنية قصيرة السلسلة الكربونية والتي تساعد على نمو انواع من الخيطيات خصوصا في حالة نقص المغذيات مثل الفوسفور والنيتروجين أو نقص الاكسجين.

التأكد من عمل حوض الانتقاء بطريقة صحيحة حيث اختلاط الحمأة الراجعة بكمية كافية مع المياه الخام للتحكم في نسبة الخيطيات .

• اختيار وانتقاء البكتريا الصانعة للندف عن طريق حمل الندف العالي وهذه الطريقة تعتمد على تزويد المحطة بحوض إنتقاء لاهوائي anaerobic tank وقد تم تصميم منطقة أحواض لاهوائية تحدثنا عنها سابقا بالتفصيل في مراحل تشغيل المحطة وكما اسلفنا تعتمد فكرة حوض الانتقاء على خلط الحمأة الراجعة مع المياه الخام لفترة قصيرة هي زمن مكث الخليط والذي يتراوح من 5-25 دقيقة فيؤدي تركيز البكتريا الصانعة للندف العالي لاستهلاك معظم الغذاء تاركا القليل منه للبكتريا الخيطية ومن ثم يقل نشاط وتكاثر الخيطيات .

بمجرد خلط الحمأة الراجعة مع المياه الخام يرتبط جزئ من COD مع الندف وهذا الجزئ يتم امتصاصه بيولوجيا bio sorption ولا يكون للاكسجين أي دور في هذه ويؤدي زمن التلامس القصير بين الحمأة الراجعة والمياه الخام لوقف النمو المتزايد للخيطيات وهذا يفسر العدد القليل

لبكتريا M. Parvicella في حوض الانتقاء ؛ عندما تكون نسبة الخلط بين المياه الخام والحمأة الراجعة $QRAS = 0.5$ سيكون حمل الندف في حوض الانتقاء $floc\ load = 100$ -
 $150\ gm\ COD/kg\ MLSS.d$ وعند زمن مكث هيدروليكي 5 دقائق سيكون حمل الحمأة
 $sludge\ load = 1.2-1.8\ kg\ COD/kg\ MLSS.hr$

هذا الحمل يعبر عنه بالساعة من معدل التدفق الداخل للمحطة لأن حساب متوسط الحمل الداخل للمحطة لليوم سوف يعطي نتائج خاطئة لتركيز الغذاء القادم مع المياه الخام أثناء عملية خلط الحمأة الراجعة مع المياه الخام.

هذا الامتصاص البيولوجي السريع يتبع بعملية استهلاك تدريجي للمغذاء للمواد الغذائية الذائبة سهلة التكسير والتحلل بواسطة الكائنات الحية ويعتمد ذلك على النشاط الحيوي وهذا النشاط يمكن التحكم به فعند تطبيق حمل ندف عالي سيمكن ذلك بكتريا تكوين الندف من التكاثر على حساب الخيطيات والتي تستهلك الغذاء اكثر من الخيطيات وتخزن اكثر من 75% منه في خلاياها تاركة القليل منه للخيطيات التي يموت الكثير منها نتيجة المنافسة على الغذاء و فيما عدا M. Parvicella التي تتغذى على الحبيبات في المياه الخام لا تستطيع باقي الخيطيات تخزين المزيد من الغذاء في خلاياها وبالتالي بتطبيق حمل ندف عالي ستقوم البكتريا الصانعة للندف باستهلاك المواد سهلة التكسير من الطور المائي في غضون 20-30 دقيقة ولكي يكتمل هذه وقد تم اختيار حوض انتقاء لاهوائي anaerobic لمحطة ينبع كما ذكرنا سابقا لأن المحطة مصممة لإزالة النيتروجين والفوسفور ولا يصلح لها حوض انتقاء هوائي ولا حوض انتقاء لاهوائي anoxic .

4-6-1 تكوين الزبد scum formation

طفو الحمأة يكون ينتج عنه تكوين الزبد في حوض التهوية أو حوض الترسيب أو كليهما معا وتبدأ هذه العملية بخروج فقاعات كبيرة داكنة اللون إلى سطح حوض التهوية حاملة معها بعض الندف وهي تختلف عن الفقاعات التي تسببها المنظفات الصناعية والتي تكون ذات لون فاتح ؛ وعندما تتخثر هذه الفقاعات يتكون الزبد ويتراكم في صورة طبقة على سطح الحوض وفي الحالات الشديدة تغطي هذه الطبقة سطح الحوض بالكامل ويصل سمكها إلى 10 سم ويصل

تركيز المواد الصلبة بها الى 30-50 mg/l ؛ وظاهرة الزبد هي بعد تضخم الحمأة أصعب مشكلة من مشاكل التشغيل .

تساعد عمليات إزالة المغذيات (النيتروجين والفسفور) في زيادة ظاهرة الزبد بنسبة 50% خصوصا في موسم الشتاء ؛ تسبب هذه الظاهرة فقدان المواد الصلبة في حوض الترسيب النهائي وروائح غير مقبولة .

تعتبر الخيطيات السبب الرئيسي في هذه الظاهرة وبالتالي فإن ظاهرة تضخم الحمأة وظاهرة الزبد يرتبط كل منهما بالآخر وكلاهما تكون الخيطيات السبب فيه .

يوجد أسباب أخرى لتكوين الزبد مثل حدوث نزع نترتة denitrification بحوض الترسيب النهائي وذلك عندما تتراكم الحمأة بالحوض ويزيد ارتفاع غطاء الحمأة مما يوفر بيئة لاهوائية مناسبة لحدوث نزع نترتة ينتج عنها غاز النيتروجين الذي يخرج على شكل فقاعات محتبسة بين الندف تقلل من كثافة الحمأة وتطفو على سطح الحوض ؛ اذا تم تهيج الحمأة الطافية يخرج الغاز وتعود الحمأة للترسيب مرة أخرى على عكس الحمأة والزبد الناتج من الخيطيات اذا تم تهيجه لا يترسب بل يبقى طافيا فوق سطح الحوض .

وقد يكون سبب الزبد عائدا لعيوب تصميمية فمثلا اذا لم يوجد زبد في حوض الترسيب فقط موجود في حوض التهوية ولا يوجد خيطيات ولا يوجد مخلفات صناعية مع المياه الواردة للمحطة فهذا معناه عيب في تصميم الأحواض فمثلا في نظام الكاروسيل كما في محطة ينبع لو كان هدار خروج المزيج المتخمر موجود مباشرة بعد هوايات سطحية فهذا يسبب وجود الزبد الا ان نظام التهوية في المحطة بالهواء المضغوط كما أن المزيج يخرج من حوض التهوية الى غرفة توزيع ثم إلى أحواض الترسيب وهذا تصميم مناسب جدا لعدم تكوين الزبد ؛ الا أن

الحاجز أو المصددة الموجودة على هدار حوض التهوية في نظام الكاروسيل قد يسبب نفس الظاهرة أيضا .

إذا لم يوجد خيطيات فإن الزبد في هذه الحالات يمكن التخلص منه بسهولة برش الماء عليه .
المخلفات الصناعية والمنظفات يمكن أن تسبب الزبد أيضا .

يتكون الزبد المستمر في الازدياد من ترابط فقاعات الغاز مع الندف والتي تحتاج كمية صغيرة من الغاز تكون كافية لتقليل كثافتها وطفوها (0.44 cm³ gas/1 gm solids).

مصدر الغاز وتكوينه يختلف فقد يكون غاز ناتج من نظام التهوية المستخدم كما أن أي نوع من التهيج يسبب فقاعات فمثلا الحمأة الراجعة بمضخات ارشميدس أو تهدير الخليط من حوض التهوية لحوض الترسيب خروج غاز النيتروجين في عملية نزع النترية ...الخ.

عمر الفقاعات يكون قصير والفقاعات الصغيرة 25-100µm تختفي في غضون 10-20 دقيقة لكن سوف يكون اختفاؤها بطيئا إذا تواجدت مواد مثل المنظفات على سطح المياه والتي تثبت منطقة التلامس بين المياه والفقاعات وتزيد من فترة بقاؤها ثم ينتج الزبد وهذا هو الحال في محطات معالجة مياه الصرف الصحي المنزلي ؛ يمكن التخلص من الزبد في هذه الحالة باستعمال مواد مضادة للرغاوى .

إذا تواجد مع الفقاعات والمنظفات مواد كارهة للمياه (لا تذوب بسهولة في المياه مثل الزيوت) أو البكتريا الخيطية الموجبة لصبغة جرام التي يكون فيها سطح الخلايا كاره للوسط المائي hydrophobic surface فإن ذلك يزيد من ثبات منطقة التلامس بين الفقاعات والمياه ويكون زمن ثبات الفقاعات غير محدود وتتكون طبقة شحمية لا يمكن تكسيرها ولا التخلص منها باستعمال مضادات الرغاوى .

يستخدم إختبار مؤشر الزبد scum index SI كمقياس لخواص الطفو للحمأة النشطة حيث تحسب كمية الحمأة التي تطفو خلال 10 دقائق ومعرفة وجود خيطيات من عدمه ؛ تسود خيطيات بعينها في الزبد وأخرى في الحمأة الطافية فمثلا تسود بكتيريا M. Parvicella في الزبد الطافي بنسبة تصل 84%-94% وتكون كل من N. limicola & actinomycetes بنسبة أكبر قليلا ؛ وهذه الاصناف الثلاثة تطفو اختياريا ولها دور مهم في تثبيت الغاز وتكوين الزبد الطافي وكلها من نوع البكتريا الخيطية الموجبة لصبغة جرام ومن ثم سطح الخلايا كاره للوسط المائي ويكون أسهل لها الارتباط بالوسط الكاره للماء وهو الفقاعات .

الدهون التي تدخل مع المياه الخام والبكتريا التي تستهلك هذه الدهون تفضل منطقة التلامس بين فقاعات الغاز والوسط المائي وهذا يفسر الترابط بين فقاعات الغاز والخيطيات الكارهه للوسط المائي كما يبين تنافسية الخيطيات على المغذيات مع غيرها من البكتريا ويفسر أيضا تواجد الزبد في محطات إزالة المغذيات .

4-6-2 التحكم في ظاهرة الزبد scum controlling

إذا كان مؤشر الزبد SI= 10%-15% ليس مرتفعا جدا توجد عدة طرق للسيطرة عليه منها فتح حاجز هدار حوض التهوية لتخريج الزبد الطافي الى حوض الترسيب حيث يقوم كاشط الزبد بتجميعه والتخلص منه الى صندوق تجميع الزبد ومنه الى خزان الزبد حيث تقوم مضخات الزبد بضخه الى خزان تجميع الحمأة والمثخن ثم الى وحدة الحزام الضاغط (عدم وجود حاجز الهدار يكون الزبد 15% وفي جودة يصل الى 43% ؛ يتم رش الزبد بالماء لإذابته اذا لم يكن سبب تكوينه الخيطيات .

إذا كان SI= 10%-15% فهو يدل على وجود خيطيات ويجب التخلص منها بالمواد المؤكسدة كما ذكرنا سابقا.

4-6-3 الحمأة المتصاعدة clumping /rising sludge

إذا كانت الحمأة تترسب بشكل جيد في 30 دقيقة الأولى من اختبار الترسيب ثم تطفو على السطح بعد 1-2 ساعة فهذا معناه حدوث نزع نترتة في حوض الترسيب denitrification ويكون ذلك نتيجة طول عمر الحمأة في النظام مما يؤدي لتراكم الحمأة في حوض الترسيب وخلق بيئة لاهوائية anoxic zone مناسبة لنمو بكتريا نزع النترتة denitrifies والتي تؤكسد النترات ويتصاعد غاز النيتروجين الموجود بين الندف الذي لا يذوب في الماء بسبب انخفاض كثافته حاملا معه كتل الحمأة لسطح حوض الترسيب .

من الأسباب المحتملة لصعود الحمأة :

- ان عملية المعالجة تتم في ظروف فيها نسبة F/M منخفضة وبالتالي تنزلق العملية جزئيا او كليا الى منطقة النترتة nitrification
- الحمأة تبقى وقت طويل في حوض الترسيب وبالتالي تستهلك الكائنات الحية كل الأوكسيجين مما يهبط المناخ لعملية نزع النترتة denitrification
- يجب ان يكون الأوكسيجين الذائب في الحمأة الراجعة أكبر من 0.2 ملجم/ل
- درجة حرارة المياه الخام اعلى من المعتاد مما يزيد من نشاط وتكاثر البكتريا ومعها يتم عملية نترتة عند نسبة F/M عالية كما ان هذه المعدل العالي للنمو البكتيري سيؤدي الى نضوب سريع للأوكسيجين الذائب في حوض الترسيب أو حمأة حوض الترسيب وبالتالي احتمالية حدوث تعفن و نزع نترتة .

لتصحيح الوضع في حال وجود الحمأة المتصاعدة يجب عمل القياسات التالية والقيام

بالإجراءات التالية :

• زيادة معدل تدفق الحمأة الراجعة حتى ينخفض زمن المكث في حوض الترسيب ويمكن معرفة معدل التدفق المناسب بقياس عمق غطاء الحمأة باستمرار

• سرعة تجميع الحمأة كلما أمكن

• اذا كان تجميع الحمأة يتم باستخدام مواسير الشفط يجب فحصها للتأكد انها ليست مسدودة لأن هذا يؤدي الى تكوين غطاء حمأة سميك في منطقة أكبر من باقي المناطق

في حوض الترسيب

• اذا لم تكن عملية النترتة مهمو للعملية يمكن زيادة سرعة تدفق الحمأة الزائدة حتى تتوقف عملية النترتة ؛ في البداية سوف يزيد مخزون المواد الصلبة بنسبة 10% خلال اسبوع ثم يتم متابعة المعالجة خلال الأسبوعين التاليين لمعرفة ما اذا كانت المعالجة تحسنت .

4-6-4 المياه المروقة (المنتج الثانوي) عكرة cloudy secondary effluent

في حالة اذا كان المياه المروقة ثانويا معكرة يجب عمل اختبار الترسيب فورا وباستمرار مع باقي اختبارات بالحمأة الى ان يتم التوصل للسبب .

عندما يكون الترسيب ضعيف مخلفا مياه عكرة يجب فحص مجهرى للخليط المتخمر MLSS بهدف معرفة وجود البروتوزوا من عدمه وهل هي سليمة ونشيطة ام لا .

• اذا كانت البروتوزوا موجودة ولكنها غير نشيطة فهذا معناه وجود مواد سامة تم ادخالها في العملية

حديثا وفي هذه الحالة يجب تخفيض معدل تخريج الحمأة WAS حتى يتم مرور المواد السامة من الأحواض ؛ أما اذا كانت البروتوزوا موجودة ونشيطة فإن العكارة قد يكون سببها التهوية الزائدة التي تعمل على زيادة تشتيت الحمأة في حوض التهوية وعدم اعطاء فرصة لتكوين

الندف بالحجم المناسب للترسيب ويحدث ذلك اذا كان الأوكسيجين الذائب اكثر من 3 ملجم/ل في حوض التهوية .

• أما اذا كانت البروتوزوا غير موجودة اصلا فيوجد احتمالين ؛ الأول ان نسبة F/M عالية جدا أي ان

عملية المعالجة تتم تحت حمل عضوي عالي وفي هذه الحالة يتم تصحيح الوضع كالتالي :
يتم حساب نسبة F/M ومقارنتها بالنسبة المعتادة والطبيعية للتشغيل فإذا كانت اعلى من النسبة الملائمة للتشغيل فإنه يجب خفضها عن طريق تقليل تدفق الحمأة الزائدة WAS لكي نزيد من مخزون المواد الصلبة في حوض التهوية ومن ثم زيادة الكائنات الحية التي تستهلك الغذاء الزائد يتم زيادة معدل تدفق الحمأة الراجعة RAS لكي يتم تخفيض سمك غطاء الحمأة الى اقل سمك ممكن ولاحظ ان ذلك سيؤدي ايضا لزيادة مخزون المواد الصلبة في حوض التهوية بنقل المواد الصلبة من احواض الترسيب لحوض التهوية .

اما اذا كانت نسبة F/M أقل من النسبة المعتادة الملائمة للتشغيل فهذا قد يعود الى اسباب اخرى مثل انخفاض تركيز الأوكسيجين الذائب في حوض التهوية واذا تم قياصة في اماكن مختلفة من الحوض ووجد انه اقل من 0.5 ملجم/ل فيجب زيادة التهوية او اصلاح العطل الذي ادى لنقص الأوكسيجين حتى يصل للنسبة الملائمة للتشغيل 2-3 ملجم/ل ؛ او قد يكون السبب دخول مواد سامة مثل الكاديوم والنحاس والحديد والرصاص والمنجنيز والزنبيق والفضة والزنك والكوبالت والسيانيد والكارصين لحوض التهوية اثرت على نشاط الكائنات الحية والحل السريع فيهذه الحالة هو اضافة حمأة نشطة غنية بالمواد الصلبة الطيارة MLVSS للحوض ان امكن .

4-6-5 الترمد ASHING

ظهور حبيبات صغيرة طافية على سطح حوض الترسيب تشبه الرماد قد يكون بسبب بدء عملية نزع نترتة denitrification بالحوض أو نتيجة وجود زيوت وشحوم مرت من غرفة الزيوت والشحوم الى الحوض ؛ يمكننا التعرف على سبب المشكلة وحلها كالتالي :

اثناء اجراء اختبار الترسيب يقوم المشغل بتدوير الطبقة الرمادية الموجودة اعلى سطح مخبار الترسيب فإذا ترسبت الطبقة فهذا معناه بداية حدوث نزع نترتة بالحوض واذا لم تترسب فيدل على زيادة الزيوت والشحوم بالمياه الخام او تسريبها من غرفة فصل الزيوت والشحوم الى احواض التهوية ومنها لحوض الترسيب وفي هذه الحالة يجب اجراء اختبار الزيوت والشحوم فإذا كانت النسبة تزيد عن 15% بالوزن من MLSS فإن ذلك يرجع لأحد الأسباب التالية :

• حاجز الزيت scum لا يعمل بشكل صحيح بسبب زيادة الحمل او عطل ميكانيكي

• زيادة كمية الحومالزيوت في المياه الخام

الندف الدبوسية pin point flocs

وجود الندف الصغيرة والكثيفة التي تسمى ندف دبوسية معلقة في المياه المروقة لحوض الترسيب الثانوي هي مشكلة عامة في عمليات المعالجة بنظام التهوية المطولة للحمأة النطة وهذا يرتبط بطول عمر الحمأة التي تترسب تاركة هذه الندف مالم يتم تلبد الندف وتجميعها

جيدا ومن الأسباب المحتملة لهذا

• زيادة عمر الحمأة في انظمة التهوية المطولة للحمأة النشطة مع ضعف عملية التلبد أو

تجميع الندف الصغيرة الى ندف كبيرة ذات حجم ووزن وشكل ملائم للترسيب .

• زيادة التهوية والتقليب مما لا يعطي فرصة كافية لتكوين ندف ذات حجم ووزن مناسب

يمكن عمل القياسات والتصحيحات التالية لمنع تكوين الندف الدبوسية :

يتم ملاحظة تكوين وتجميع الندف في اختبار الترسيب لمدة 30 دقيقة فإذا كان الترسيب يتم بسرعة كبيرة فإن العملية يمكن تحسينها بزيادة معدل تدفق الحمأة الزائدة WAS مع مراعاة الا يؤثر ذلك على عملية النترتة اذا كانت النترتة مطلوبة ؛ اما اذا كان الترسيب جيد مع وجود مياه رائحة فوق الراسب فيجب فحص معدات التهوية والخلط بحوض التهوية ؛ اما اذا كانت نسبة الأكسجين الذائب في الأحواض اكبر من 3 ملجم/ل فيجب خفض معدل التهوية SCFM وضبط نسبة الأكسجين 2-3 ملجم/ل .

4-6-6 الحمأة المنتفخة والحمأة الشاردة *stragglers/billowing sludge*

هي حمأة صغيرة رقيقة وخفيفة ترتفع الى سطح حوض الترسيب مع المياه المروقة من فوق الهدار ويحدث هذا اذا كان تركيز MLSS منخفض جدا يرجع ذلك الى صغر عمر الحمأة عادة أو قد تكون نسبة F/M كبيرة مما يسبب بطئ ترسيب الحمأة .

هذا النوع من الندف غير مرغوب فيه في احواض الترسيب الضحلة خاصة عند معدل رجوع حمأة RAS عالي وقد يحدث هذا عادة في الساعات الأولى من الصباح الباكر ؛ من الاحتمالات المتوقعة التي تسبب وجود هذا النوع من الندف :

*تشغيل حوض التهوية عند تركيز منخفض من MLSS وقد يحدث ذلك اذا كانت المحطة دخلت الخدمة حديثا أو عند بداية تشغيل محطة قديمة كانت توقفت لسبب ما أو اذا كانت أحواض التهوية تم تفريغها كلها لأعمال صيانة أو كشط رمال مترسبة بها أو التخريج الغير محسوب للحمأة الذي يؤدي في بعض الأحيان لنضوب الحمأة والخليط المتخمر بأحواض التهوية حيث ينخفض تركيز MLSS و ترتفع نسبة F/M أو غير ذلك .

*إذا كانت عملية تخريج الحمأة تتم بطريقة الوجبات في الصباح الباكر مما يؤدي لنقص في كمية الكائنات الحية اللازمة لاستهلاك المواد العضوية في المياه الخام باقي اليوم .
*ارتفاع معدل إعادة الحمأة RAS عالي .

يتم تصحيح الوضع كالتالي :

*تقليل معدل تخريج الحمأة الزائدة WAS لينتثى زيادة تركيز MLSS وايضا زيادة عمر الحمأة
*إذا أمكن تجنب زيادة معدل رجوع الحمأة RAS
*تجنب تخريج الحمأة على طريقة الوجبات المتتابعة وإذا تم تخريجها بهذه الطريقة يجب الا يكون في ساعات الصباح الباكر .



الفصل الخامس



نظام التحكم بالروائح

Odor control system

مقدمة

تنتج الروائح في محطات مياه الصرف الصحي من جزيئات صغيرة خفيفة (طيارة) صغيرة الوزن الجزيئي و كارهه للوسط المائي وتحتوي على مجموعة فعالة أو أكثر ؛ كل مجموعة تحتوي على الاكسجين أو النيتروجين أو الكبريت .

يمكن تقسيم المركبات التي تسبب الروائح إلى مركبات غير عضوية مثل كبريتيد الهيدروجين H₂S والامونيا NH₃ ومركبات عضوية مثل المركبتات (وتشمل المركبتان mercptanes المرتبط بمجموعات الأميل و الأليل والبنزيل والإيثيل والميثيل) والكبيريدات العضوية مثل (ثنائي ميثيل الكبريتيد وثنائي الإثيل ثنائي الكبريتيد والثيوكريسول والثيوفينول) والمركبات العضوية النيتروجينية مثل (البريدين واسكاتول وايدول و الأمينات الثنائية مثل الكادافرين ثنائي البيوتيل وثنائي الايزوبروبيل) والاحماض الدهنية الطيارة مثل (حامض الخليك والبريونيك والبيوتيريك) .

من بين كل هذه المركبات يكون كبريتيد الهيدروجين هو الاكثر ازعاجا واشد رائحة ثم الامونيا ؛ يتواجد كبريتيد الهيدروجين بتركيز 23.9 µg/L في المياه الخام (الطور المائي وليس الطور الغازي في الهواء) ولأنه صغير الوزن الجزيئي ينتقل وكاره للوسط المائي ينتقل بسهولة من المياه الجو المحيط مسببا رائحة كريهة يمكن للانسان شمها عند تركيزات منخفضة جدا ؛ وتكون عتبة الرائحة لغاز كبريتيد الهيدروجين odor threshold صغيرة جدا (التركيز الذي يبدأ عنده الانسان شم رائحة الغاز) وهي H₂S odor threshold = 0.0005 ppm جزئ في المليون والامونيا NH₃=17 ppm (17 جزئ في المليون) .

قد تكون الروائح التي يشمها الانسان ناتجة من مادة كيميائية واحدة أو خليط من المواد الكيميائية ؛ وتعتبر مياه الصرف بيئة مناسبة للنشاط البكتيري الذي ينتج عنه العديد من المركبات الكيميائية التي تسبب روائح كريهة.

تستقبل أنف الإنسان الروائح وتحدث ميكانيكية الشم عن طريق التقاء الجزئ المسبب للرائحة مع خلايا الاستقبال الموجودة في الأنف البصلة الشمية olfactory bulb الموجودة أعلى الأنف من الدخل وتحت قاعدة المخ مباشرة والتي تتصل بالذاكرة ومراكز الاحساس بالمخ بعض الروائح يتم شمها بقوة أكثر من الروائح الأخرى عند نفس التركيز ويرتبط تركيز الرائحة بشدة الرائحة intensity وتندرج شدة الرائحة من الضعيفة faint الى القوية strong حسب مقياس شدة الرائحة ؛ والعلاقة بين شدة الرائحة والتركيز لوغارتمية أي أن اذا زادت شدة الرائحة أو نقصت فلن يتغير التركيز بنفس التناسب فمن الممكن أن تكون شدة الرائحة قوية عند تركيز ضعيف منها وتكون الرائحة ظاهرة عند هذا المستوى المنخفض منها.

بالإضافة الى كبريتيد الهيدروجين والملوثات الأخرى مثل الأمونيا توجد العديد من مركبات الكبريتيد العضوية والنيتروجينية التي تسبب روائح كريهة ويرجع وجود هذه المركبات الى النشاط البكتيري الذي يقوم بكتسير المواد العضوية والبيئة الاهوائية ودرجة الحرارة المناسبة للنشاط البيولوجي لانتاج هذه المركبات ؛ من أهم المركبات التي تنتج من النشاط البيولوجي اللاهوائي كبريتيد الهيدروجين H₂S والامونيا NH₃ والثيول أو المركبتان mercptanes والأمينات amines والاسكاتول skatole وأثناء عملية التخمير في البيئة اللاهوائية تنتج الأحماض الدهنية الخفيفة والكحول والألدهيدات والكيثونات كما تنتج الروائح التي لا تحتاج لبيئة هوائية بطريقة أخرى .

5-1 المركبات التي تسبب الروائح في محطات معالجة مياه الصرف الصحي

Odor release compounds in municipal wastewater treatment plants

عندما تصل مياه الصرف الى محطات الرفع تتهيج بفعل الاندفاع الى البيارات ويخرج غاز جزء من كبريتيد الهيدوجين من الطور المائي الذائب الى الحالة الغازية ويتراوح تركيزه عندها في الهواء المحيط من 2 جزئ في المليون الى عدة مئات من الاجزاء في المليون ؛ يكون المتوسط في معظم الاحيان 10 جزئ في المليون .

ثم ينتقل ماء الصرف الى مدخل المحطة حيث المصافي الاوتوماتيكية وأيضا يخرج جزء منه الى الهواء ويتراوح تركيزه في الهواء من 5-50 ppm جزئ في المليون أو أكثر كما تتواجد مركبات الكبريت المختزلة ويكون تركيزها من 50 ppb جزئ في البليون الى عدة اجزاء في البليون

5-2 نظام التحكم بالروائح في محطة معالجة مياه الصرف بمحافظة ينبع

النظام الموجود هو أبراج إزالة الروائح بالمحاليل الكيميائية chemical wet scrubber towers وتم تصميم نظام التحكم بالرائحة للتخلص من غاز كبريتيد الهيدروجين ومركبات الكبريتيد المختلفة والامونيا وهو عبارة عن ثلاث مراحل مكونة من عدد 2 برج للتحكم في روائح الكبريتيد والأمونيا وخزان الكربون النشط أيضا للتخلص من باقي الروائح التي يمكن أن تبقى بعد الابراج .



الفكرة في عملية التحكم في الروائح باستخدام المواد الكيميائية مبنية على أن المواد الكيميائية التي تسبب الروائح تنقسم إلى ثلاث أقسام هي :

- مواد ذات طبيعة حامضية مثل كبريتيد الهيدروجين H_2S
 - مواد ذات طبيعة قاعدية مثل الأمونيا NH_3
 - مواد ليست حامضية ولا قاعدية مثل المركبات العضوية للكبريتيد مثل ثنائي مثيل ثنائي الكبريتيد وثنائي إيثيل الكبريتيد $dimethyl\ disulphide\ \&\ diethyl\ sulphide$
- المركبات المسببة للروائح التي تعمل كأحماض مثل كبريتيد الهيدروجين H_2S يمكن التخلص منها بتفاعلها مع مركبات قاعدية عند درجة حموضة عالية ($pH=9-11$) مثل هيدروكسيد الصوديوم / هيبوكلوريت الصوديوم
- المركبات المسببة للروائح التي تعمل كقاعدة مثل الأمونيا NH_3 يتم تفاعلها مع أحماض عند درجة حموضة $pH < 3$ مثل حامض الكبريتيك المركز

المركبات المسببة للروائح والتي لا تعمل قاعدة ولا حامض وهي غالبا لا تكون ذائبة تماما في المياه تتفاعل عند نقطة التلامس في بداية التقاء محلول المواد الكيميائية مع الهواء الذي يتم شفطه وضخه الى الابراج وتتفاعل على سطح حشو (الوسط البيئي الصناعي وهو عبارة عن مواد بلاستيكية الهدف منها زيادة مساحة سطح التماس بين الهواء ومحلول المواد الكيميائية لاعطاء زمن للتلامس حتى يتم التفاعل) الابراج

3-5 حسابات استهلاك المواد الكيميائية

Calculations of consumed chemicals

1-3-5 حسابات مدخل المحطة

بالنسبة للمحطة سيكون أعلى تركيز لكبريتيد الهيدروجين في مدخل المحطة وكل الكبريتات يتم أكسدتها إلى كبريتيت وكبريتيد هيدروجين وتكون درجة الحموضة في المدخل pH = 6.5-7.5 مناسبة لعدم تأين 80% من كبريتيد الهيدروجين لا يتأين إلى HS^- & S^- .

تركيز الكبريتات يكون 50 mg/l وحيث أن درجة الحموضة في المدخل تكون pH=6.5-7.5 وحيث 0.45 من الغاز يكون في حالة ائزان 22 mg/l تتحول للحالة الغازية وتكون في إئزان كيميائي طبقا للقانون العام للغازات وقانون هنري لإنتشار الغاز كما يمكن أيضا إجراء الحسابات لمتوسط تركيز الغاز في مدخل المحطة وهو عادة $7 \text{ mg/L} \times 0.45 = 3 \text{ mg/m}^3$

وحيث أن معامل هنري للاتزان لكبريتيد الهيدروجين في الوسط المائي الى الحالة الغازية هو

معامل هنري للاتزان

$$H_{H_2S} = 0.023 \frac{\text{atm}}{\text{mole/m}^3}$$

كتلة الوزن الجزيئي للغاز

$$M_{H_2S} = \text{mole mass} = 34.08$$

ضغط البخار المشبع للغاز

$$P_{H_2S} = \text{saturated vapour pressure of } H_2S = 20.265 \text{ bar}$$

عدد مرات تغيير الهواء في مبنى المصافي الميكانيكية

$$n \text{ air exchanges} = 20$$

فإننا يمكن استنتاج تركيز كبريتيد الهيدروجين كالتالي :

أعلى تركيز للغاز :

$$X_{H_2S} = \frac{H_{H_2S}}{M_{H_2S}} \times c_{H_2S} \times \frac{1}{P_{H_2S}} \times \frac{1}{n \text{ airchanges}}$$

$$X_{H_2S} = \frac{0.023}{34.08} \times 22 \frac{g}{m^3} \times 1000000 \frac{1}{20.265 \text{ atm}} \times \frac{1}{20} = 37 \text{ ppm}$$

$$1 \text{ ppm} = 1.4 \text{ mg/m}^3$$

$$X_{H_2S} 37 \text{ ppm} \times 1.4 \text{ mg/m}^3 = 51.8 \text{ mg/m}^3$$

عند متوسط تركيز الغاز 3 g/m^3

$$X_{H_2S} = \frac{H_{H_2S}}{M_{H_2S}} \times c_{H_2S} \times \frac{1}{P_{H_2S}} \times \frac{1}{n \text{ airchanges}}$$

$$X_{H_2S} = \frac{0.023}{34.08} \times 3 \frac{g}{m^3} \times 1000000 \frac{1}{20.265 \text{ atm}} \times \frac{1}{20} = 5.06 \text{ ppm}$$

$$1\text{ppm} = 1.4 \text{ mg/m}^3$$

$$X_{\text{H}_2\text{S}} = 5.06\text{ppm} \times 1.4\text{mg/m}^3 = 7.1\text{mg/m}^3$$

ثم نحسب كمية كبريتيد الهيدروجين الكلية في حجم الهواء الذي يتم تجديده ؛ حجم المنطقة في مدخل المحطة $400 \text{ m}^3/\text{hr}$ يتم تجديدها 20 مرات فيكون الحجم الكلي $8000 \text{ m}^3/\text{hr}$

وتركيز كبريتيد الهيدروجين الكلي :

عند أعلى تركيز للغاز :

$$X_{\text{TH}_2\text{S}} = 8000 \text{ m}^3/\text{hr} \times 51.8\text{mg/m}^3 = 414400 \text{ mg/hr} = 0.4 \text{ kg/hr}$$

عند متوسط تركيز الغاز :

$$X_{\text{TH}_2\text{S}} = 8000 \text{ m}^3/\text{hr} \times 7.1 \text{ mg/m}^3 = 56800 \text{ mg/hr} = 0.0568 \text{ kg/hr}$$

5-3-1 (أ) حجم هيدروكسيد الصوديوم المستهلك بالتر في المرحلة الأولى للبرج رقم (2)

كل 2.35 كجم /مول من هيدروكسيد الصوديوم سوف يتفاعل مع 1 كجم/مول من كبريتيد الهيدروجين ؛ وحيث أن تركيز كبريتيد الهيدروجين في كمية الهواء المسحوبة للساعة 20 مرة تغيير هواء هي 0.4 kg/hr

في هذه المرحلة يتفاعل هيدروكسيد الصوديوم مع 70% من غاز كبريتيد الهيدروجين

فإن تركيز الصودا الكلي المستهلك طبقا للاتزان الكيميائي لأعلى تركيز للغاز :

$$X_{\text{NaOH}} = \frac{0.4 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times 0.70 \times 2.35 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} = 0.658 \text{ kg/hr}$$

تركيز الصودا الكلي المستهلك طبقا للاتزان الكيميائي لمتوسط تركيز للغاز :

$$X_{NaOH} = \frac{0.0568 \frac{kg}{hr} \times 0.70 \times 2.35 kg}{1 kg} = 0.0934 \text{ kg/hr}$$

وحيث أن تركيز الصودا هو 0.5 kg/l

$$50\% \text{ NaOH} = 0.5 \text{ gm/cm}^3 = 50 \text{ gm/100cm}^3 = 500 \text{ gm /L} = 0.5 \text{ kg/l}$$

$$= 500 \text{ kg NaOH/m}^3$$

حجم هيدروكسيد الصوديوم اللازم عند أعلى تركيز

$$V_{NaOH} = \frac{0.658/\text{hr}}{0.5 \text{ kg/l}} = 1.32 \text{ L/hr} = 31.6 \text{ l/d} = 11370.24 \text{ L/year}$$

حجم هيدروكسيد الصوديوم اللازم عند متوسط تركيز الغاز

$$V_{NaOH} = \frac{0.0934 \text{ kg/hr}}{0.5 \text{ kg/l}} = 0.1869 \text{ L/hr} = 4.48 \text{ l/d} = 1614 \text{ L/year}$$

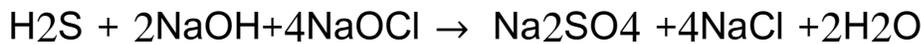
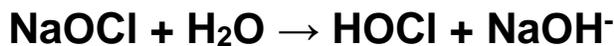
1-3-5 (ب) حجم هيدروكسيد الصوديوم + حجم هيبوكلوريت الصوديوم المستهلك بالتر في

المرحلة الثانية من البرج رقم (2)

كل 2.35 جرام /مول من هيدروكسيد الصوديوم سوف يتفاعل مع 1 جرام/مول من كبريتيد الهيدروجين

الباقي من تركيز كبريتيد الهيدروجين هو 30% يتم التفاعل معها في هذه المرحلة

2.35 kg NaOH per kg of H₂S



كل جرام مول من كبريتيد الهيدروجين سوف يستهلك 2.35 جرام /مول من هيدروكسيد الصوديوم + 8.74 جرام/مول من حامض الهيبوكلورس

$$34.081 + 2(40) + 4(74.453)$$

$$8.74 \text{ kg NaOCl} + 2.35 \text{ kg NaOH per kg of H}_2\text{S}$$

وحيث أن تركيز كبريتيد الهيدروجين في كمية الهواء المسحوبة للساعة بقدر 20 مرات تغيير هواء هي 0.4 kg/hr عند اعلى تركيز

فإن تركيز الصوديوم هيبوكلوريت الكلي المستهلك طبقا لالتزان الكيميائي :

$$X \text{ NaOCl} = \frac{0.4 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times 0.30 \times 8.74 \text{kg}}{1 \text{ kg}} = 1.05 \text{ kg/hr}$$

وعند متوسط تركيز الغاز

$$X \text{ NaOCl} = \frac{0.0568 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times 0.30 \times 8.74 \text{kg}}{1 \text{ kg}} = 0.149 \text{ kg/hr}$$

وحيث أن تركيز هيبوكلوريت الصوديوم هو 0.125 kg/l

$$12.5\% \text{ NaOCl} = 0.125 \text{ gm/cm}^3 = 12.5 \text{ gm/100cm}^3 = 0.125 \text{ gm/L} = 125 \text{ kg}$$

$$\text{NaOCl/m}^3$$

حجم هيبوكلوريت الصوديوم اللازم لأعلى تركيز للغاز

$$V \text{ NaOCl} = \frac{1.05 \text{ kg/hr}}{0.125 \text{ kg/l}} = 8.4 \text{ L/hr} = 201.4 \text{ L/d} = 72493 \text{ L/year}$$

وحجم هيبوكلوريت الصوديوم اللازم لمتوسط تركيز للغاز

$$V_{\text{NaOCL}} = \frac{0.149 \text{ kg/hr}}{0.125 \text{ kg/l}} = 1.19 \text{ L/hr} = 28.60 \text{ L/d} = 10294 \text{ L/year}$$

كل جرام مول من كبريتيد الهيدروجين سوف يستهلك 2.35 جرام /مول من هيدروكسيد الصوديوم + 8.74 جرام/مول من حامض الهيبوكلورس

حجم هيدروكسيد الصوديوم للمرحلة الثانية عند اعلى تركيز للغاز

$$X_{\text{NaOH}} = \frac{0.4 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times 0.30 \times 2.35 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} = 0.3 \text{ kg/hr}$$

حجم هيدروكسيد الصوديوم للمرحلة الثانية عند متوسط تركيز للغاز

$$X_{\text{NaOH}} = \frac{0.0568 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times 0.30 \times 2.35 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} = 0.0398 \text{ kg/hr}$$

وحيث أن تركيز الصودا هو 0.5 kg/l

$$50\% \text{ NaOH} = 0.5 \text{ gm/cm}^3 = 50 \text{ gm/100cm}^3 = 500 \text{ gm /L} = 0.5 \text{ kg/l}$$

$$= 500 \text{ kg NaOH/m}^3$$

حجم هيدروكسيد الصوديوم لأعلى تركيز للغاز

$$V_{\text{NaOH}} = \frac{0.3 \text{ kg/hr}}{0.5 \text{ kg/l}} = 0.564 \text{ L/hr} = 13.50 \text{ l/d} = 4873 \text{ L/year}$$

حجم هيدروكسيد الصوديوم لمتوسط تركيز للغاز

$$V_{\text{NaOH}} = \frac{0.0398 \text{ kg/hr}}{0.5 \text{ kg/l}} = 0.0796 \text{ L/hr} = 1.91 \text{ l/d} = 688 \text{ L/year}$$

5-3-1 (ج) حسابات تركيزات المواد المستهلكة في التحكم في رائحة غاز الأمونيا

توجد الامونيا في الوسط المائي في صورة أيون أمونيوم NH_4^+ حيث يكون هو الايون السائد لصورة الامونيا عند $PH < 8$ وبنسبة 50% أمونيا NH_3 و 50% أيون الامونيوم NH_4^+ عند $PH = 9.5$ ويكون في صورة أمونيا فقط عند $PH > 11$ وبالتالي عند نقطة التعادل تتواجد الامونيا في الصورة المتأينة وهذا بيئيا مفيد حيث أن الامونيا سامة للأسماك كما تتأثر صور الامونيا بدرجة الحرارة فعند درجة حرارة 25 درجة مئوية يكون نسبة الامونيا الحرة الى الامونيا الكلية ضعف النسبة عند 15 درجة مئوية والمعادلة التالية تسمح بحساب التناسب بين الامونيا الحرة والامونيا في الوسط المائي

$$= \left[1 + 10^{0.09018 + \frac{2729.92}{T+273.20} - pH} \right]^{-1} \frac{\text{free } NH_3}{\text{total ammonia}}$$

الجدول التالي يبين نسبة الأمونيا الحرة الى نسبة الأمونيا في الوسط المائي في صورة أيون أمونيوم

pH	T = 15 C ⁰		T = 20 C ⁰		T = 25 C ⁰	
	NH3	NH4+	NH3	NH4+	NH3	NH4+
6.5	0.09	99.91	0.13	99.87	0.18	99.82
7:00	0.27	99.73	0.40	99.60	0.57	99.43
7.5	0.86	99.14	1.24	98.76	1.77	98.23
8:00	2.67	97.33	3.82	96.18	5.38	94.62
8.5	7.97	92.03	11.16	88.84	15.25	84.75
9:00	21.5	78.50	28.43	71.57	36.27	63.73
9.5	46.41	53.59	55.68	44.32	64.28	35.72

تتم معالجة غاز الأمونيا في البرج رقم (1) وهي المرحلة الأولى للتحكم في الروائح وحيث أن درجة الحموضة في المدخل تكون $pH=6.5-8.4$ فإنه يمكن فرض تركيز الامونيا في أقصى الظروف 10 mg وحيث أن معامل هنري للاتزان للامونيا في الوسط المائي الى الحالة الغازية

هو :

معامل هنري للاتزان

$$H_{NH_3} = 0.0569 \frac{atm}{mole/m^3}$$

كتلة الوزن الجزيئي للغاز

$$M_{NH_3} = \text{mole mass} = 17.03$$

ضغط البخار المشبع للغاز

$$P_{NH_3} = \text{saturated vapour pressure of } NH_3 = 10.032 \text{ bar}$$

عدد مرات تغيير الهواء في مبنى المصافي الميكانيكية

$$n \text{ air exchanges} = 20$$

فإننا يمكن استنتاج تركيز الامونيا كالتالي :

$$X_{NH_3} = \frac{H_{NH_3}}{M_{NH_3}} c_{NH_3} \frac{1}{P_{NH_3}} \times \frac{1}{n \text{ airchanges}}$$

$$X_{NH_3} = \frac{0.0569}{17.03} \times 10 \frac{gm}{m^3} \times 1000000 \text{ mg/l} \frac{1}{10.032 \text{ atm}} \times \frac{1}{20} = 167 \text{ ppm}$$

$$X_{NH_3} = 167 \text{ ppm} \times 1.4 \text{ mg/m}^3 = 234$$

ثم نحسب كمية الامونيا الكلية في حجم الهواء الذي يتم تجديده ؛ حجم المنطقة في مدخل المحطة $400 \text{ m}^3/\text{hr}$ يتم تجديدها 20 مرات فيكون الحجم الكلي $8000 \text{ m}^3/\text{hr}$ وتركيز الامونيا الكلي

$$X_{NH_3} = 8000 \text{ m}^3/\text{hr} \times 234 \text{ mg/L} = 1872000 \text{ mg/hr} = 1.87 \text{ kg/hr}$$

يتم حساب كمية المواد الكيميائية التي سوف يتم استهلاكها في عملية معالجة الروائح طبعا للإتزان الكيميائي للتفاعلات الكيميائية حيث أن تركيز الامونيا



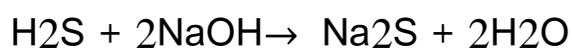
$$2(17.031) + 98.097$$

كل كجم/مول من الحامض سوف يتفاعل مع 2.88 كجم/مول من الأمونيا

أولا : حجم حامض الكبريتيك المركز المستهلك بالتر في البرج رقم (1)

كل جرام/مول من الحامض سوف يتفاعل مع 2.88 جرام/مول من الأمونيا

$$\text{Sluphric acid required kg/NH}_3\text{kg/hr} = 2.88 \text{ kg} / 1 \text{ kg}$$



$$34.081 + 2(40)$$

$$\text{Sluphric acid required kg/NH}_3\text{kg/hr} = 2.88 \text{ kg} / 1 \text{ kg}$$

كمية الحمض الكلية المستهلكة لتركيز الامونيا الكلي

$$\text{Sluphric acid required} = \frac{1.87 \text{ kg/hr}}{2.88 \text{ kg / kg}} = 0.65 \text{ kg/hr}$$

$$98\% \text{H}_2\text{SO}_4 = 0.98 \text{ gm/cm}^3 = 98 \text{ gm/100 cm}^3 = 0.980 \text{ kg/L} = 980 \text{ kg/m}^3$$

حجم حامض الكبريتيك المستهلك بالتر يتم حسابه كالتالي :

$$V \text{ H}_2\text{SO}_4 = \frac{0.65 \text{ kg/hr}}{0.980 \text{ kg/L}} = 0.66 \text{ L/hr} = 16 \text{ L/d} = 5760 \text{ L/year}$$

5-3-1 (د) حجم الكيماويات المستهلكة في مدخل المحطة بالتر

المادة الكيماوية	الكمية المستهلكة في العام بالتر لأعلى تركيز	الكمية المستهلكة في العام بالتر لمتوسط التركيز
حامض الكبريتيك	5760 لتر / عام	5760 لتر / عام
هيدروكسيد الصوديوم	16243 = 4873+11370 لتر/عام	2300 = 686+1614 لتر/عام
هيبوكلوريت الصوديوم	72493 لتر/عام	10294 لتر / عام
الإجمالي	94496 لتر / عام	18354 لتر / عام

5-3-2 حسابات الكيماويات المستهلكة في مبنى نزع المياه من الحمأة (الاحزمة

الضاغطة)

نحسب كمية كبريتيد الهيدروجين الكلية في حجم الهواء الذي يتم تجديده 10 مرات ؛ وحيث أن تركيزات كبريتيد الهيدروجين تكون أقل من المدخل وفي حدود 0.1 mg/m^3 والتي قد تزيد أو تقل قليلا طبقا للنشاط البكتيري للحماة يتحمل منه %0.45 للحالة الغازية .

$$X_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{0.023}{34.08} \times 0.1 \times 0.45 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 1000000 \frac{1}{20.265 \text{ atm}} \times \frac{1}{10} = 0.15 \text{ ppm}$$

$$1\text{ppm} = 1.4 \text{ mg/m}^3$$

$$X_{\text{H}_2\text{S}} = 0.15 \text{ ppm} \times 1.4 \text{ mg/m}^3 = 0.2 \text{ mg/m}^3$$

حجم المنطقة في مبنى نزع المياه $2024 \text{ m}^3/\text{hr}$ يتم تجديدها 10 مرات فيكون الحجم الكلي
 $20240 \text{ m}^3/\text{hr}$

وتركيز كبريتيد الهيدروجين الكلي

$$X_{\text{TH}_2\text{S}} = 20240 \text{ m}^3/\text{hr} \times 0.2 \text{ mg/m}^3 = 4048 \text{ mg/hr} = 0.004 \text{ kg/hr}$$

5-3-2 (أ) حجم هيدروكسيد الصوديوم المستهلك بالتر في المرحلة الأولى للبرج رقم (2)

كل 2.35 كجم /مول من هيدروكسيد الصوديوم سوف يتفاعل مع 1 كجم/مول من كبريتيد الهيدروجين ؛ وحيث أن تركيز كبريتيد الهيدروجين في كمية الهواء المسحوبة للساعة بقدر 10 مرات تغيير هواء هي 0.004 kg/hr فإن تركيز الصودا الكلي المستهلك طبقا لالتزان الكيميائي :

$$X_{\text{NaOH}} = \frac{0.004 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times 0.70 \times 2.35 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} = 0.007 \text{ kg/hr}$$

وحيث أن تركيز الصودا هو 0.5 kg/l

$$50\% \text{ NaOH} = 0.5 \text{ gm/cm}^3 = 50 \text{ gm/100cm}^3 = 500 \text{ gm /L} = 0.5 \text{ kg/l} = 500 \text{ kg NaOH/m}^3$$

حجم هيدروكسيد الصوديوم اللازم

$$V_{\text{NaOH}} = \frac{0.007 \text{ kg/hr}}{0.5 \text{ kg/l}} = 0.013 \text{ L/hr} = 0.312 \text{ l/d} = 112 \text{ L/year}$$

5-3-2 (ب) حجم هيدروكسيد الصوديوم + حجم هيبوكلوريت الصوديوم المستهلك بالتر في
المرحلة الثانية من البرج رقم (2)

كل 2.35 جرام /مول من هيدروكسيد الصوديوم سوف يتفاعل مع 1 جرام/مول من كبريتيد الهيدروجين

2.35 kg NaOH per kg of H₂S



كل جرام مول من كبريتيد الهيدروجين سوف يستهلك 2.35 جرام /مول من هيدروكسيد الصوديوم + 8.74 جرام/مول من حامض الهيبوكلورس

$$34.081 + 2(40) + 4(74.453)$$

8.74 kg NaOCl + 2.35 kg NaOH per kg of H₂S

وحيث أن تركيز كبريتيد الهيدروجين في كمية الهواء المسحوبة للساعة بقدر 10 مرات تغيير هواء هي 0.004 kg/hr

فإن تركيزالصوديوم هيبوكلوريت الكلي المستهلك طبقا للاتزان الكيميائي :

$$X \text{ NaOCl} = \frac{0.004 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times 0.30 \times 8.74 \text{kg}}{1 \text{ kg}} = 0.01 \text{ kg/hr}$$

وحيث أن تركيز هيبوكلوريت الصوديوم هو 0.125 kg/l

$$12.5\% \text{ NaOCl} = 0.125 \text{ gm/cm}^3 = 12.5 \text{ gm/100cm}^3 = 0.125 \text{ gm/L} = 125 \text{ kg NaOCl/m}^3$$

حجم هيبوكلوريت الصوديوم اللازم

$$V_{\text{NaOCl}} = \frac{0.01 \text{ kg/hr}}{0.125 \text{ kg/l}} = 0.02 \text{ L/hr} = 0.50 \text{ L/d} = 181 \text{ L/year}$$

كل جرام مول من كبريتيد الهيدروجين سوف يستهلك 2.35 جرام /مول من هيدروكسيد الصوديوم + 8.74 جرام/مول من حامض الهيبوكلورس

حجم هيدروكسيد الصوديوم للمرحلة الثانية : تركيز الصودا الكلي المستهلك طبقا للاتزان الكيميائي

$$X_{\text{NaOH}} = \frac{0.0096 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times 0.30 \times 2.35 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} = 0.0068 \text{ kg/hr}$$

وحيث أن تركيز الصودا هو 0.5 kg/l

$$50\% \text{ NaOH} = 0.5 \text{ gm/cm}^3 = 50 \text{ gm/100cm}^3 = 500 \text{ gm /L} = 0.5 \text{ kg/l}$$
$$= 500 \text{ kg NaOH/m}^3$$

حجم هيدروكسيد الصوديوم اللازم

$$V_{\text{NaOH}} = \frac{0.004 \text{ kg/hr}}{0.5 \text{ kg/l}} = 0.008 \text{ L/hr} = 0.2 \text{ l/d} = 72 \text{ L/year}$$

5-3-2 (ج) حسابات تركيز حمض الكبريتيك المستهلك في التحكم في رائحة غاز الأمونيا

تركيز الامونيا في أقصى الظروف 1mg وحيث أن معامل هنري للاتزان للامونيا في الوسط المائي الى الحالة الغازية هو

معامل هنري للاتزان

$$H_{NH_3} = 0.0569 \frac{atm}{mole/m^3}$$

كتلة الوزن الجزيئي للغاز

$$M_{NH_3} = \text{mole mass} = 17.03$$

ضغط البخار المشبع للغاز

$$P_{NH_3} = \text{saturated vapour pressure of } NH_3 = 10.032 \text{ bar}$$

عدد مرات تغيير الهواء في مبنى نزع المياه من الحمأة

$$n \text{ air exchanges} = 10$$

فإننا يمكن استنتاج تركيز الامونيا كالتالي :

$$X_{NH_3} = \frac{H_{NH_3}}{M_{NH_3}} c_{NH_3} \frac{1}{P_{NH_3}} \times \frac{1}{n \text{ airchanges}}$$

$$X_{NH_3} = \frac{0.0569}{17.03} \times 1 \text{ mg/m}^3 \frac{gm}{m^3} \times 1000000 \text{ mg/l} \frac{1}{10.032 \text{ atm}} \times \frac{1}{10} = 33.4 \text{ mg/L}$$

ثم نحسب كمية الامونيا الكلية في حجم الهواء الذي يتم تجديده ؛ حجم المنطقة في مدخل

المحطة $2024 \text{ m}^3/\text{hr}$ يتم تجديدها 10 مرات فيكون الحجم الكلي $20240 \text{ m}^3/\text{hr}$

وتركيز الامونيا الكلي

$$X_{TNH_3} = 20240 \text{ m}^3/\text{hr} \times 33.4 \text{ mg/L} = 676251.3 \text{ mg/hr} = 0.676 \text{ kg/hr}$$

يتم حساب كمية المواد الكيميائية التي سوف يتم استهلاكها في عملية معالجة الروائح طبعا

للاتزان الكيميائي للتفاعلات الكيميائية حيث أن تركيز الامونيا



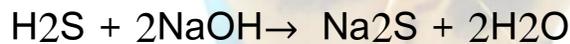
$$2(17.031) + 98.097$$

كل كجم/مول من الحامض سوف يتفاعل مع 2.88 كجم/مول من الأمونيا

أولاً : حجم حامض الكبريتيك المركز المستهلك بالتر في البرج رقم (1)

كل جرام/مول من الحامض سوف يتفاعل مع 2.88 جرام/مول من الأمونيا

$$\text{Sluphric acid required kg/NH}_3\text{kg/hr} = 2.88 \text{ kg} / 1 \text{ kg}$$



$$34.081 + 2(40)$$

$$\text{Sluphric acid required kg/NH}_3\text{kg/hr} = 2.88 \text{ kg} / 1 \text{ kg}$$

كمية الحامض الكلية المستهلكة لتركيز الامونيا الكلي

$$\text{Sluphric acid required} = \frac{0.676 \text{ kg/hr}}{2.88 \text{ kg} / \text{kg}} = 0.235 \text{ kg/hr}$$

$$98\%\text{H}_2\text{SO}_4 = 0.98 \text{ gm/cm}^3 = 98 \text{ gm/100 cm}^3 = 0.980 \text{ kg/L} = 980 \text{ kg/m}^3$$

حجم حامض الكبريتيك المستهلك بالتر يتم حسابه كالتالي :

$$V_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{0.235 \text{ kg/hr}}{0.980 \text{ kg/L}} = 0.24 \text{ L/hr} = 5.75 \text{ L/d} = 2070 \text{ L/year}$$

5-3-2 (د) حجم الكيماويات المستهلكة في وحدة نزع المياه من الحمأة بالتر / عام

المادة الكيميائية	الكمية المستهلكة في العام بالتر
حامض الكبريتيك	2070 لتر / عام
هيدروكسيد الصوديوم	184 = 72 + 112 لتر/عام
هيبوكلوريت الصوديوم	181 لتر/عام
الإجمالي	2435 لتر / عام

5-3-2 (هـ) حجم الكيماويات المستهلكة في المدخل + وحدة نزع المياه من الحمأة بالتر/عام عند متوسط تركيز غاز كبريتيد الهيدروجين والأمونيا

المادة الكيميائية	الكمية المستهلكة في العام بالتر لأعلى تركيز	الكمية المستهلكة في العام بالتر لمتوسط التركيز
حامض الكبريتيك	5760+2070=7830 لتر / عام	5760+2070=7830 لتر / عام
هيدروكسيد الصوديوم	16243+181=16424 لتر/عام	2300+390=2690 لتر/عام
هيبوكلوريت الصوديوم	72493+181=72674 لتر/عام	10294+1740=12034 لتر / عام
الإجمالي في العام	96928 لتر / عام = 96.9 م ³ /عام	22554 لتر / عام = 22.55 م ³ / عام
3 سنوات	290784 L = 290.78 m ³	67662 L = 67.66 m ³

4-5 إجراءات تشغيل مراحل أبراج التحكم في الرائحة

Procedures of odor control Scrubbers stages

تم تصميم مراحل الأبراج بحيث تكون فعالة في التحكم في الروائح وذلك بجعل مراحل أبراج التحكم بالروائح تتم من درجة الحموضة المنخفضة إلى درجة الحموضة الأعلى بحيث يكون البرج الذي يبدأ منه العملية هو برج التحكم في الامونيا وازالتها باستخدام حامض الكبريتيك عند درجة حموضة $pH=2$ ثم تتبع بتكسير مركبات الكبريتيد العضوية مثل المركبتان وثنائي مثيل الكبريتيد وثنائي إيثيل ثنائي الكبريتيد واسكاتول والمرحلة الأولى لبدء معالجة غاز كبريتيد الهيدروجين والمركبتات H_2S و mercptanes عند درجة حموضة $pH=7$ ثم أخيرا التخلص من كبريتيد الهيدروجين عند درجة حموضة $pH=9-11$ وقد تم تزويد الابراج بالكترودات لقياس درجة الحموض وأيضا تستطيع قراءة جهد الأكسدة وإختزال oxidation reduction potential ORP وتم ربطها بمضخات حقن المواد الكيميائية بحيث تشغل المضخات وتوقفها عند اللزوم طبقا لدرجة الحموضة المطلوبة للتفاعل الكينمائي .

كبريتيد الهيدروجين ومركبات المركبتان mercptanes هي أحماض ضعيفة تتفاعل مع هيدروكسيد الصوديوم مكونة أملاح ذائبة في الماء تبقى لفترة طويلة حتى تتمكن هيبوكلوريت الصوديوم من تكسيرها ؛ المركبات العضوية الأخرى لا تتفاعل مع هيدروكسيد الصوديوم ولكنها تتفاعل في على سطح حشو البرج مع هيبوكلوريت الصوديوم الذي يعمل كمادة مؤكسدة قوية خصوصا عند درجة الحموضة المنخفضة .

1-يقوم المشغل بفتح مياه التخفيف للمواد الكيميائية

2-ثم يقوم بتشغيل مروحة الشفط

3- ثم يقوم بتشغيل مضخات حقن المواد الكيميائية

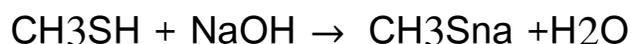
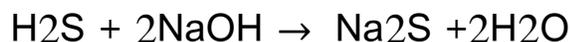
4- ثم تشغيل المضخة رقم (1) الخاصة بتدوير المياه المحتوية على حامض الكبريتيك والتي تسحبها المضخة من خزان التخفيف والتدوير أسفل البرج ودفعها لأعلى البرج حتى تنتشر المياه على سطح حشو البرج (البيئة الصناعية البلاستيكية) ومهمة الحشو زيادة مساحة سطح التلامس بين الحامض والغازات ؛ وهنا يحدث التفاعل بين الحامض والامونيا وتتكون املاح كبريتات الامونيوم



5- ثم تشغيل المضخة رقم (2) ومهمتها تدوير حقن هيدروكسيد الصوديوم في إتجاهين الأول في أعلى الماسورة التي تنقل الغاز بين البرجين (أي بعد خروج الهواء محملا بالغازات الى البرج الثاني) وهنا يتفاعل هيدروكسيد الصوديوم فقط مع كبريتيد الهيدروجين



وهي المرحلة الثانية بين البرج رقم (1) والبرج (2) وتكون درجة الحموضة عالية 9-11 pH وتتم التفاعلات التالية :



6-تشغيل المضخة رقم (3) والتي تعمل على تدوير خليط صوديوم هيبوكلوريت/هيدروكسيد الصوديوم أعلى البرج رقم (2) والذي يحتوي على حشو يساعد على مساحة التلامس بين الغاز والكيماويات وهو الإتجاه الثاني لضخ مضخة التدوير رقم (2) هو ضخ هيدروكسيد الصوديوم داخل خزان تحضير محلول هيبوكلوريت الصوديوم لتحضير خليط من هيدروكسيد الصوديوم/هيبوكلوريت الصوديوم لتحقيق درجة حموضة 9-11 تحقق أعلى تأثير للهيبوكلوريت على كبريتيد الهيدروجين



في المرحلة الثالثة (تعتبر الثانية بالنسبة للبرج (2)) يحقن هيبوكلوريت الصوديوم مع هيدروكسيد الصوديوم ؛ يذوب هيبوكلوريت الصوديوم في الماء مكونا حامض الهيبوكلورس HOCl وهو عامل مؤكسد قوي و أيون هيبوكلوريت OCl^- وهو عامل مؤكسد ضعيف وحيث أن الفرق بين قوة الأكسدة بينهما كبير فيمكن قراءتها باستخدام الكترود ORP والتي تعكس كمية HOCl الموجودة في المحلول كما أن تركيز هذين الشئيين يرتبط بدرجة الحموضة ويتأثر بها كثيرا فعند درجة حموضة عالية يتحول الهيبوكلورس كله الى أيون OCl^- ويكون تركيز عالي في المحلول بينما عند درجة حموضة منخفضة سيتحول أيون الهيبوكلوريت الى هيبوكلورس وبالتالي سيكون تركيز الحامض عند درجة حموضة $pH \leq 7$ كبير وهو العامل المؤكسد القوي اللازم لأكسدة مركبات الكبريتيد العضوية التي لم يتفاعل معها هيدروكسيد الصوديوم .



مضخات تجريع المواد الكيميائية



خزانات المواد الكيميائية

التغيير الصغير في درجة الحموضة يحدث تغيير صغير نسبيا في تركيز حامض الهيوكلورس وبالتالي في قراءة ORP وعند درجة حموضة $PH > 9$ تعمل البيكربونات المتواجدة اصلا في الماء كمنظم لدرجة الحموضة Buffering وبالتالي اضافة حامض أو قاعدة سيحدث إزاحة تدريجية لقيمة درجة الحموضة وهذا هو السبب في استخدام الكترود قياس ORP للتحكم بطريقة ناجحة آلية في درجة الحموضة في هذا المدى لدرجة الحموضة .

يتم ضبط هذه البيانات على ناقل البيانات وتصبح العملية كلها آلية

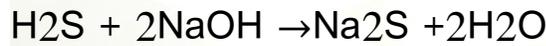
رقم البرج (المرحلة)	المركب المستهدف	درجة الحموضة pH	جهد الأكسدة والاختزال ORP	كيمياويات المعالجة
1	الامونيا NH3	2	-	حامض الكبريتيك
2	الكبريتيدات	7	-	هيدروكسيد صوديوم
2	كبريتيد هيدروجين	11-9	650-750	هيبوكلوريت/صودا

يمكن تفسير ميكانيكية التحكم في الروائح عن طريق التفاعلات الكيميائية التي تحدث في كل مرحلة كالتالي :

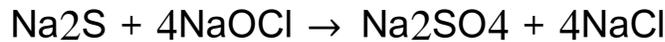
في البرج رقم (1) وهو البرج الذي يتم ضخ الهواء التي تسحب مروحة الشفط من من المبنى يتم ضخ حامض الكبريتيك المركز بهدف الحصول على درجة حموضة منخفضة للتفاعل مع الأمونيا



في المرحلة بين البرجين البرج رقم (1) و(2) يتم ضخ هيدروكسيد صوديوم بهدف معادلة درجة ويتم إذابة كبريتيد الهيدروجين بهيدروكسيد الصوديوم



حيث ترتفع الحموضة إلى $\text{pH} \leq 7$ وتكون مناسبة أيضا لتفعيل دور حامض الهيبوكلورس المؤكسد القوي لمركبات الكبريتيد العضوية مع كبريتيد الصوديوم الناتج من تفاعل هيدروكسيد الصوديوم مع كبريتيد الهيدروجين في المرحلة التالية في البرج رقم (2)



5-5 المرحلة الثالثة نظام الكربون المنشط

Activated carbon th³ stage

ينتقل الهواء الى المرحلة الرئيسية الثالثة وهي خزان الكربون المنشط والذي تم تصميمه للقيام بعملية إزالة الروائح بكفاءة حتى في أثناء توقف أبراج إزالة الرائحة

يستخدم الكربون المنشط إمتزاز الغازات خصوصا غاز كبريتيد الهيدروجين وهو مرحلة إضافية للتخلص من باقي آثار الغازات وقد يستخدم بمفرده لإزالة الروائح وخاصة كبريتيد الهيدروجين ؛ النظام عبارة عن خزان يتم تقسيمه من الداخل أقسام معبأة بالكربون المنشط وفي حالة إنخفاض كفاءة وسط الإمتزاز وهو الكربون على على استيعاب الغازات يتم اعادة تنشيطه باستخدام هيدروكسيد صوديوم 45% ؛ يستطيع النظام استيعاب تركيز من كبريتيد الهيدروجين يصل الى 150ppm ويستطيع إزالة 99% منه .

الخزان قطره 3.5 m من البولي بروبيلين المقوه وبداخله وعاء استانلس استيل طوله 4m وقطره 0.858m ؛ ويستوعب معدل تدفق 40000 m³/hr وهي أكبر من سعة التدفق في مرحلتي المدخل ونزع المياه من الحمأة وسعتها 24240 m³/hr ؛ يوجد عداد قياس للضغط على الخزان وجهاز متابعة تركيز غاز كبريتيد الهيدروجين H₂S ؛ وامام مدخل الخزان منظم للتحكم في حجم الهواء damper .

سعة الامتزاز النوعية للكربون 16% و ؛ وزن الكربون 7250 kg والوزن الجزيئي لغاز كبريتيد الهيدروجين MW=34.08 ؛ وعدد أفجارو Avogadro's No.= 22 ؛ والنسبة بين الوزن الجزيئي /عدد افجارو 1.55 .



عمر وسط الامتزاز (زمن استعمال الكربون لامتصاص الروائح قبل الحاجة لاعادة تنشيطه)
يمكن حسابها كالتالي

*النشاطية الديناميكية للكربون dynamic activity $X_{dy}=0.285 \text{ kg H}_2\text{S/kg carbon}$

*كثافة الكربون الحجمية bulk density $P_s = 560 \text{ kg/m}^3$

* سعة الامتزاز النوعي للكربون adsorption capacity $(X_{dy} \cdot P_{sgH_2S/cm^2})= 16\%$

*متوسط تركيز الغاز (8-150) جزئ في المليون $Y_A \text{ inlet } 8\text{ppm average} - 150\text{ppm}$
max.

*كثافة الغاز gas density $P_G = 1.2\text{kg/m}^3$

*السرعة السطحية في العمود الفارغ superficial velocity $W = 0.413\text{m/s}$

*ارتفاع طبقة الامتزاز height of adsorbed bed $h= 0.75 \text{ m}$

* ارتفاع طبقة الامتزاز الفعالة effective of absorber zone $h_A = 0.2 \text{ m}$

*طول منطقة الامتزاز length of adsorption zone $\phi = 0.5$

نحسب عمر وسط الامتزاز من المعادلة التالية:

$$T \text{ minimum} = \frac{X_{dy} \frac{\text{kgH}_2\text{S}}{\text{m}^3\text{carbon}} P_s \text{ kg/m}^3}{W \frac{\text{m}}{\text{s}} Y_A \text{ ppm} \times P_G \text{ kg/m}^3} (h - \phi \cdot h_A)$$

$$T \text{ minimum} = \frac{0.285 \times 560}{0.413 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 3 \text{ ppm} \times 1.2} (0.75\text{m} - 0.5\text{m}) = 26.90 \text{ d}$$

$$T \text{ minimum} = \frac{0.285 \times 560}{0.413 \frac{m}{s} \times 1 \text{ ppm} \times 1.2} (0.75m - 0.5m) = 80.70 d$$

1- يدخل الهواء الذي تضخه مروحة الشفط من المبنى بعد مروره على البرجين 1؛ 2 الى أسفل خزان الكربون المنشط حيث يتم دفعه الى أعلى فيتم امتزازه على سطح حبيبات الكربون

2- يقرأ جهاز متابعة تركيز غازكبريتيد الهيدروجين تركيزه في الهواء الخارج من أعلى الخزان

3- يوضح عداد قياس فرق الضغط بين طبقات الكربون ؛ يتم متابعة قياس الضغط شهريا ومقارنته بالضغط التصميمي فإذا كان لأقل من السابق مثلا 100pa يجب ضبط منظم التحكم في ضغط الهواء ان لزم الامر ؛ اما اذا كان أعلى 200pa أي 50% من الضغط التصميمي فيجب تغيير الكربون

4- بمرور الوقت سوف يتشبع الكربون بالغاز ويجب أخذ عينات منه لإختبار تشبعه من عدمه بإختباره اليود

5- في حالة تشبع الكربون يتم تنشيط الكربون بغسله بمحلول من هيدروكسيد الصوديوم عدة مرات ؛ فتح محبس تصريف الخزان بينما تستمر عملية التنشيط مع دخول الهواء بشكل طبيعي أو يمكن غلق محبس دخول الهواء وفصله عن مراحل الأبراج وترك الهواء يخرج بعد البرج الثاني ؛ نبدأ التنشيط باستخدام محلول من هيدروكسيد الصوديوم 5% ثم نفرخ الخزان ثم نملأ الخزان بماء مالح وتركه ساعة واحدة ثم نفرغه .

نملأ الخزان مرة أخرى بمحلول من هيدروكسيد الصوديوم 5% ونتركة 24 ساعة ثم نفرخ الخزان ثم نملأ الخزان بماء مالح وتركه ساعة واحدة ثم نفرغه .

نملأ الخزان مرة أخرى ب محلول من هيدروكسيد الصوديوم 5% ونتركة 8 ساعة ثم نفرخ الخزان ثم نملأ الخزان بماء مالح ثم نفرغه فورا .

5-6 تخزين المواد الكيميائية واستخدامها وتجربتها

Chemicals storage, handling and feeding

أي مادة كيميائية سواء صلبة أو سائلة أو غازية لابد لها من نظام يتم من خلاله تغذية عملية المعالجة بهذه المادة لكي يمكن التحكم في نسبة المواد الكيميائية المضافة ويعتمد الإستعمال الفعال للمواد الكيميائية على الجرعة الدقيقة والخط الفعال للمادة مع المياه ولابد من الأخذ في الإعتبار في تصميم نظام التغذية الخواص الكيميائية والفيزيائية للمادة المستخدمة وأقل وأعلى معدل درجة حرارة للغرفة التي سيتم فيها تركيب النظام وأعلى وأقل معدل تدفق للمياه المراد معالجتها بالمادة الكيميائية وأعلى وأقل جرعة سيتم استخدامها من المادة الكيميائية ومدى مناسبة الجهاز المستخدمة في النظام للغرض الذي من اجله يتم تنفيذ نظام التغذية.

يجب الأخذ في الإعتبار الزيادة المتوقعة في التجريب طبقا للزيادة المتوقعة في معدل التدفق . معظم الكيماويات المستخدمة في المعالجة خطيرة ويمكن ان تسبب أضرارا للمشغل لذا يجب تناولها واستعمالها بحرص وفق بيانات لوائح المان التي يوصي بها المنتج (بيانات الأمان material safety data sheet(MSDS) ويجب حفظ الجدول الخاص بهذه التعليمات في مكان استهلاك وتخزين المواد الكيميائية ؛ يتم تخزين المواد الكيميائية طبقا لخصائصها فمثلا المواد الصلبة التي يمكن ان تخلف غبار يتطاير في الجو مثل الجير يتم تخزينها في خزانات مغلقة تسمى packaged-type bulk-storage tank لأن التراب المتطاير ليس فقط خطر على الصحة العامة ولكن ايضا قد يكون سبب في حدوث انفجارات كما في بعض الكيماويات الأخرى ؛ يفضل ان تكون مدة التخزين للمواد الكيميائية 15-30 يوم فقط .

5-6-1 حسابات جرعة المادة الكيميائية Chemical dosage calculations

سعة المضخات لحقن الكيماويات في المدخل 27L/hr وسعة المضخات لوحدة نزع المياه
14L/hr

$$\text{Dosage, ppm} = \frac{(\text{kg chemical/d})}{(\text{mil.kg wastewater treated/d})}$$

أو يمكن كتابة المعادلة بصورة اخرى كالتالي

$$\text{kg chemical/d} = (\text{dosage, ppm}) \times (\text{mil. Kg wastewater treated/d})$$

5-6-2 ضبط كبسة او دفعة مضخات تجريع الكيماويات chemical feed percent stroke setting

مضخات تجريع المواد الكيميائية هي مضخات ازاحة موجبة positive displacement وهي ايضا تسمى مضخات مكبسية piston pumps وهذه المضخات تعمل بطريقة ازاحة أو دفع حجم من المواد الكيميائية السائلة بمقدار دفع المكبس أو طول المكبس ؛ يسمى طول المكبس Stroke ويمكن اطالته أو تقصيره لزيادة أو نقصان حجم المواد الكيميائية التي يدفعها .

يمكن حساب النسبة المئوية لدفع المكبس من العلاقة التالية :

$$\% \text{ Stroke setting} = \frac{\text{required feed} \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{\text{maximum feed} \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}$$

فمثلا اذا كان معدل ضخ المادة الكيميائية المطلوب هو 15.9 لتر في الدقيقة لمحلول هيبوكلوريت الصوديوم في مدخل المحطة وكان أقصى معدل ضخ للمضخة هو 27 لتر في الدقيقة فإن :

$$\% \text{ Stroke setting} = 0.58888 = 59\% \frac{15.9 \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ d}}}{27 \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ d}}}$$

يمكن حساب كمية محلول المادة الكيميائية المطلوب التغذية بها أو تجريعها ملل/دقيقة ايضا
من العلاقة :

$$\text{Solution mL/ min} = \frac{585 \text{ chemical feed volume } \frac{\text{L}}{\text{d}} \times (1000) \text{ or } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right) \times 1000000}{1440 \frac{\text{minutes}}{\text{day}}}$$

فإذا كان معدل التغذية بالمحلول الكيميائي المطلوب هو 369.6 لتر/يوم فإن معدل التغذية
ملل/دقيقة هو :

$$\text{Solution mL/ min} = \frac{369.6 \frac{\text{L}}{\text{d}} \times (1000)}{1440 \frac{\text{minutes}}{\text{day}}} = 256.666 \text{ ml/minutes feed rate}$$

يتم معايرة مضخات التغذية بمقارنة التغذية الحقيقية للمادة الكيميائية المستخدمة بمعدل التغذية
المصمم عليها المضخة ؛ ولحساب معدل التغذية لمادة كيميائية جافة يتم وضع تنك أو حوض
أسفل خط تغذية المضخة معلوم الوزن ثم بعد مرور وقت معين مثلا 30 دقيقة يتم إعادة وزن
التنك ثم تقدير معدل التغذية الحقيقي كالتالي :

$$\text{Chemical feed rate kg/ min} = \frac{\text{chemical applied kg}}{\text{length of application minutes}}$$

فمثلا اذا كان الحوض الموضوع اسفل خط التغذية من المضخة قد جمع وزن قدره 1 كجم من
المادة الكيميائية الجافة في خلال 30 دقيقة فإننا يمكننا حساب معدل التغذية الحقيقي للمضخة
بالمادة الكيميائية الجافة كالتالي :

$$\text{Chemical feed rate kg/ min} = \frac{1 \text{ kg}}{30} = 0.033 \text{ kg/minute}$$

$$\text{Chemical feed rate kg/ day} = 0.033 \times 1440 \text{ min/day} = 47.52 \text{ kg/day}$$

مثال توضيحي لعملية معايرة مضخات التغذية للمواد الكيميائية :

إذا كان وزن الحوض الذي تم وضعه أسفل خط تغذية المضخة قبل بدء المعايرة هو 0.16 كجم وبعد عملية تشغيل المضخة للتغذية استقبل مادة كيميائية ثم تم وزنه ووجد انه 1 كجم فإن معدل التغذية بالمادة الكيميائية الحقيقي كجم/يوم هو :

$$\text{Chemical feed rate kg/ min} = \frac{1 \text{ kg} - 0.16 \text{ kg}}{30 \text{ min.}} = 0.028$$

$$\text{Chemical feed rate kg/ day} = 0.028 \times 1440 \text{ min/day} = 40.32 \text{ kg/day}$$

إذا كانت المضخة تضخ سائل تكون عملية المعايرة اصعب ؛ يتم تقدير معدل التغذية الحقيقي بالسائل الكيميائي ومقارنته بالمعدل المصمم عليه المضخة ونستخدم العلاقات التالية :

$$\text{Flow rate Lpd} = \frac{\frac{\text{ml}}{\text{minute}} \times 1440 \frac{\text{minutes}}{\text{day}}}{1000 \frac{\text{ml}}{\text{L}}}$$

ولحساب جرعة المادة الكيميائية كجم/يوم

$$\text{Chemical (kg/day)} = \text{Chemical (mg/L)} \times \text{flow m}^3/\text{d}$$

فمثلا لو تم معايرة مضخة تغذية هيبوكلوريت الصوديوم وكان معدل ضخ السائل خلال خمس دقائق 1320 ملل وكان تركيز المادة الكيميائية 12.5% فإننا يمكننا حساب معدل التغذية بالكيلو جرام /يوم كالتالي :

$$\text{mL/min flow rate} = \frac{1320 \text{ mL}}{5 \text{ min}} = 264 \text{ mL/ min}$$

ثم نحول معدل التدفق ملل/دقيقة mL min الى لتر/ يوم

$$\text{Lpd flow rate} = \frac{264 \text{ ml/min} \times 1440 \frac{\text{min}}{\text{day}}}{1000 \frac{\text{ml}}{\text{L}}} = 380.16 \text{ L/d}$$

ثم حسابها بالكيلو جرام في اليوم :

$$\text{Chemical (kg/day)} = \text{Chemical (mg/L)} \times \text{flow m}^3/\text{d}$$

$$\text{Chemical (kg/day)} = [0.125 \times 10000] \times 0.380 \text{ m}^3/\text{d} = 47.50 \text{ kg/d}$$

يمكن تقدير الضخ الحقيقي بحساب الحجم الذي يتم ضخه خلال فترة زمنية معينة فمثلا لو تم ضخ 95 لتر خلال 15 دقيقة ومتوسط معدل الضخ اثناء الإختبار هو 87 لتر للدقيقة فإننا يمكننا تقدير عدد اللترات التي تم ضخها بقياس النقص الحاصل في مستوى الحوض المستخدم للإختبار من العلاقة :

$$\text{Flow Lpm} = \frac{\text{volume pumped L}}{\text{duratin of test}} = \frac{87\text{L}}{15} = 5.8 \text{ L/min}$$

لاحظ انك سوف تحسب حجم السائل الذي تناقص من خلال حساب حجم الحوض الذي تم تفريره باستخدام عمق التناقص في مستوى الحوض ونصف قطر الحوض لكي تحصل على الحجم الذي تم ضخه .

أحد أهم القياسات لمتابعة التشغيل هو متابعة كمية المادة الكيميائية المستهلكة كل وردية أو كل يوم وهي مهمة أيضا لمعرفة احتياج المحطة المستقبلية أو الإحتياج الزائد المتوقع وايضا للنجمك في مخزون المادة الكيميائية ويتم ذلك بحساب متوسط استهلاك المادة الكيميائية :

$$\text{Average use kg/ day} = \frac{\text{total chemical used kg}}{\text{number of days}}$$

$$\text{Average use L/ day} = \frac{\text{total chemical used L}}{\text{number of days}}$$

$$\text{Inventory supply day} = \frac{\text{total chemical in inventory kg}}{\text{average use kg/ day}}$$

$$\text{Inventory supply day} = \frac{\text{total chemical in inventory L}}{\text{average use L/ day}}$$

فمثلا لو كانت بيانات المادة الكيميائية المستهلكة خلال أسبوع هي كالتالي :

السبت 47.5 كجم / يوم الأحد 48 كجم/ يوم الاثنين 46 كجم/يوم الثلاثاء 50 كجم/ يوم
الاربعاء 49 كجم/يوم الخميس 44 كجم/يوم الجمعة 49 كجم/يوم .. يمكننا حساب المتوسط
الإستهلاكي كالتالي :

$$\text{Average use kg/ day} = \frac{333.5 \text{ kg}}{7 \text{ days}} = 47.60 \text{ kg/day}$$

بفرض ان المخزون هو 2700 كجم يمكننا حساب الفترة التي يغطيها المخزون

$$\text{Inventory supply day} = \frac{2700 \text{ kg}}{47.60 \text{ kg/ day}} = 56.70 \text{ days}$$

Daily operating LOG

Operating programeter	Fri	Sat	Sun	Mon	Tues	Wed	Thu
Time of day							
Operator							
Stage 1 pH							
Stage 2/3 pH							
Stage 2/3 ORP							
NaOH tank level							
NaOCL tank level							
Deffrenial pressure of activated carbon tank							

