التربية في انظمة المياه الدوارة المغلقة: Closed Recirculating Water System

تستخدم أنظمة تدوير المياه المغلقة في تربية الأسماك لأغراض تجارب البحث العلمي وكذلك في تربية اليرقات في المفاقس . ويعود السبب لعدم انتشاره للأغراض التجارية لارتفاع الكلف الغير المباشرة خاصة الطاقة اللازمة لتشغيل المعدات والسيطرة على درجات الحرارة وبما يلائم النوع المراد تربيته ، علاوة على ذلك فأن عدم الالمام الكامل بجميع العوامل المسؤولة عن تغيير نوعية الماء وتدهورها نتيجة الاستعمال المتكرر للماء في مثل هذا النظام.

مميزات النظام المغلق للمياه:

1. تقليل كميات المياه المستخدمة ، ومساحة الارض المستغلة.
2. السيطرة التامة على جميع العوامل البيئية المحيطة بتربية الأسماك.
3. سهولة استزراع الأسماك وسهولة جينيها.
4. سهولة مكافحة الامراض والطفيليات وانعدام الأعداء الطبيعيين.
5. السيطرة على حجم الأسماك وموعد تسويقها طيلة أيام السنة.

إلا انه في الوقت نفسه لايخلو النظام من المساوئ او المعوقات التي يمكن تلخيصها بالاتي:

1. ارتفاع كلفة مالية عالية عند انشائها ، وادامتها.
2. تعتمد على الأجهزة والتكنلوجيا الحديثة.
3. يتطلب وجود الخبرة والالمام بكل مكوناتها من قبل القائمين عليها.

المكونات الأساسية: Essential Components

تتألف الأنظمة المغلقة بصورة عامة من أربع مكونات أساسية هي:

أولا: مخادع التربية: Rearing Chambers

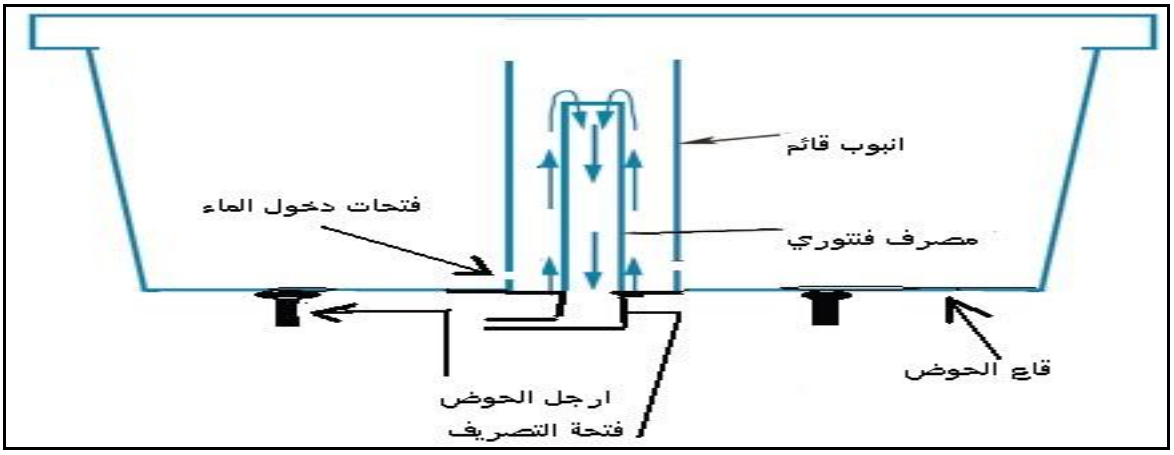
تستخدم لمخادع التربية القنوات المستطيلة والأحواض الدائرية والسايلوات . تختلف المواد المستخدمة في بناء مخادع الزراعة بشكل واسع وتستعمل مواد مثل الكونكريت والخشب والمواد البلاستيكية والألياف الزجاجية Fiberglass او الفولاذ المقاوم للصدأ ومعظم الأحواض المستطيلة او الدائرية لا يتجاوز قطرها عن (10 م) ولا يزيد عمقها عن (1 م) ، وتفضل الأحواض الدائرية كمخادع للتربية لعدم احتوائها على زوايا ميتة تتجمع فيها الفضلات والغذاء مما يفسد نوعية الماء كما يحدث في القنوات المستطيلة.

كما إن الأحواض الدائرية لها القدرة على تركيز المواد الصلبة في وسط القاع حيث يمكن إزالتها إذا تم نصب شبكة تصريف ملائمة . ومن الممكن معالجة الزوايا في القنوات المستطيلة عن طريق جعل نهايات أو زوايا الحوض محدبة عند القاع . يدخل الماء عادة القنوات المستطيلة او الدائرية في الطرف العلوي ويخرج من الطرف الأخر عبر انبوب قائم مثبت على مصرف فينتوري.

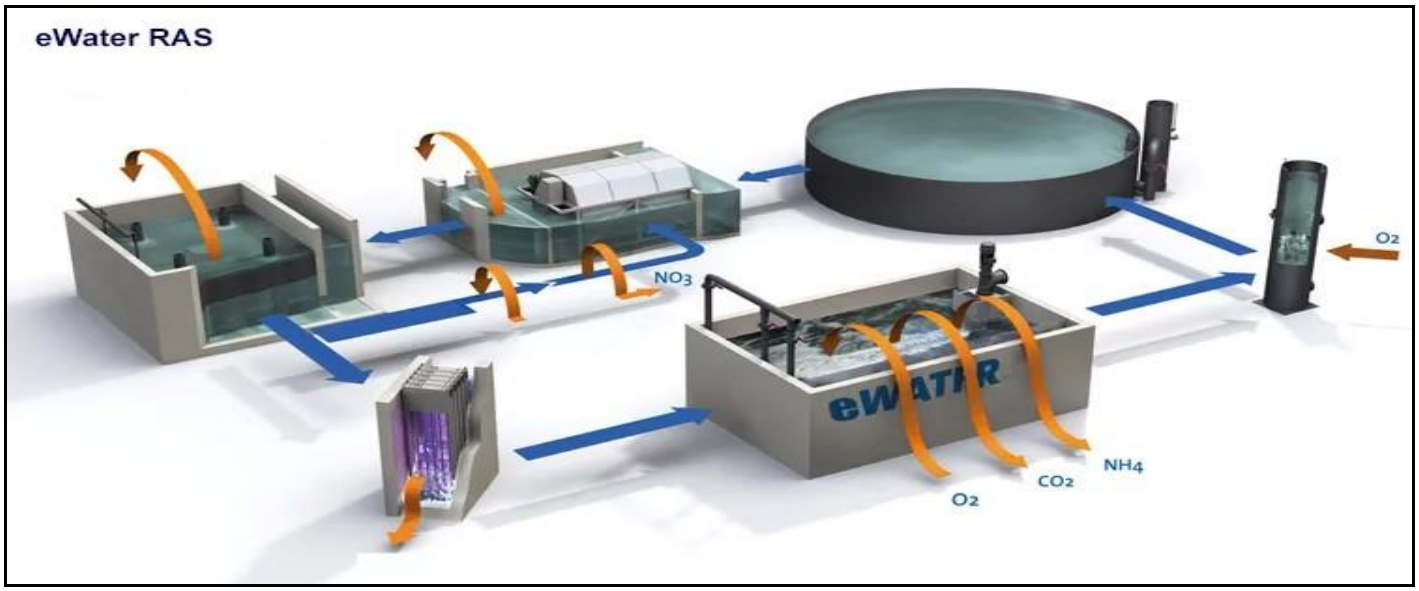
الجهاز الفنتوري: (Venturi drain) يستعمل لتصريف الماء ويعتبر ذي فائدة كبيرة وخاصة في الأحواض الدائرية طالما إن فضلات الأسماك وبقايا الغذاء تتجمع بين الاثنين من الأنابيب القائمة والتي يمكن إزاحتها من النظام بسهولة عن طريق رفع الأنبوب القائم . مثل هذه الأحواض لها القابلية على تنظيف نفسها ذاتيا . تزداد كفاءة جهاز فينتوري في تنظيف الأحواض وبدرجة عالية جدا في حالة إسقاط الماء المجهز للحوض بزاوية على سطح الماء وعلى شكل شلال بحيث يجعل الماء بحركة مستمرة . يفضل إحداث تيار دائري من قبل بعض أنواع الأسماك من السلمون.

من الفوائد الأخرى لمصرف فينتوري هو الحفاظ على مستويات الماء المقررة في حالة حدوث اي عطل في المضخة او اي عطل ميكانيكي اخر مسببا في توقف جريان الماء . ان قطر أنابيب التصريف يعتمد على حجم الحوض ويفضل ان لا يزيد قطر الاحواض الدائرية عن 10 م كما يجب ان لا تكون القنوات المستطيلة طويلة جدا بحيث تضعف نوعية المياه غير المغلقة اما في حالة الانظمة المغلقة وذات المياه الدوارة فان احجام الاحواض تكون اقل بكثير من ذلك معتمدا على حجم منظومة تدوير المياه المستخدمة.

تعتبر السايلوات Silos من المخادع الناجحة لتربية العديد من انواع الأسماك مثل السلمون ؛ لأنها لا تتطلب مساحة قاعية كبيرة كما هو الحال في الأسماك التي تكون تغذيتها قاعية demersal form مثل اسماك الكارب.



شكل يوضح مصرف فنتوري Venturi drain في حوض دائري



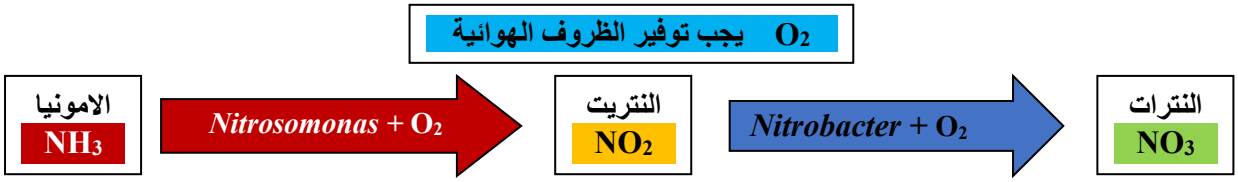
/https://globalaquaculturesupply.com/recirculating-aquaculture-systems-ras

ثانيا: خزان الترسيب الاولي: Primary settling chamber

ان وظيفة خزان الترسيب الاولي هي استلام الماء المطروح من أحواض التربية بواسطة قناة تصريف رئيسية جامعة ، يدخل الماء الى حوض الترسيب الأولي ويخرج منه بالقرب من السطح وعبر فتحات دخول وخروج متباعدة للسماح للماء بالبقاء اطول فترة ممكنة في الحوض لترسيب أكبر قدر ممكن من المواد الصلبة العالقة ويجب ان تكون سرعة جريان الماء مناسبة وحوض الترسيب كبير لتسهيل عملية الترسيب ، يجب ان يكون الحوض كبير ومناسب لخفض نسبة جريان الماء مما يسهل عملية ترسيب المواد العالقة ، ويزود الخزان بفتحة تصريف في الأسفل لتنظيف القاع من فضلات الأسماك وبقايا الغذاء والكتل الصلبة العالقة.

ثالثا: المصفي الحيوي Biofilter

ان الوظيفة الأساسية للمصفي الحيوي هي ازالة النواتج الذائبة للفعاليات الحيوية Metabolites . تتم هذه العملية بواسطة عملية النترنة Nitrification للأمونيا NH_3 التي تفرز من الحيوان عن طريق الكليتين والغلاصم للكائنات المائية وتحويلها الى نتريت NO_2 ومن ثم الى نترات NO_3 ، إذا أصبح المصفي الحيوي لا هوائيا فان تركيز الامونيا في الماء سيزداد بشكل كبير ويؤدي بالتالي الى هلاك الأسماك بصورة جماعية ، ولتفادي ذلك يجب استخدام ضاغطات الهواء او أي وسيلة أخرى لتهوية الماء في المصفى الحيوي.



هناك أربع انواع اساسية من المصافي الحيوية هي:

1. مصافي التيارات المائية المتصاعدة: Updrafts Filters

يدخل الماء الى المصفي على شكل تيار صاعد عند القعر وينتقل الى الأعلى مخترقا بيئة المصفي ليخرج عند الجهة العليا . وقد تندمج حجرة او حوض الترسيب الأولي مع مصفي التيارات الصاعدة عن طريق تصميم الوحدة بحيث يؤدي الغرضين معا ، عزل المواد الصلبة تحت مستوى فتحة دخول الماء وكذلك للمعالجة البيولوجية.

2. المصافي القطارة: Trickling Biofilter

يدخل الماء الصافي القطارة من الأعلى ويسمح له أن يمر عن طريق الجاذبية خلال المصفي بسرعة بحيث لا يغمر بيئة المصفي مع مراعاة كون كل الأجزاء الداخلية للمصفي مرطبة بالماء باستمرار وغالبا ما تستخدم أذرع دوارة تعمل على نشر الماء داخل سطح المصفي.

شكل
يوضح مصفي التيارات الصاعدة
Updrafts Filters

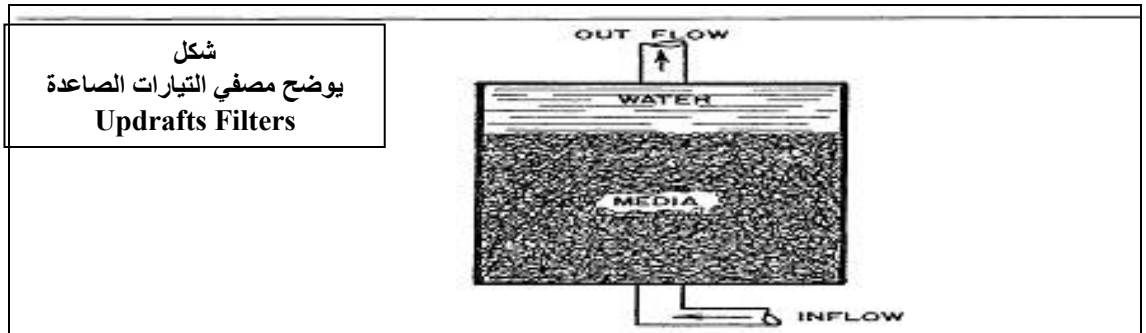


Fig. 5.14. Submerged upflow biological filter.

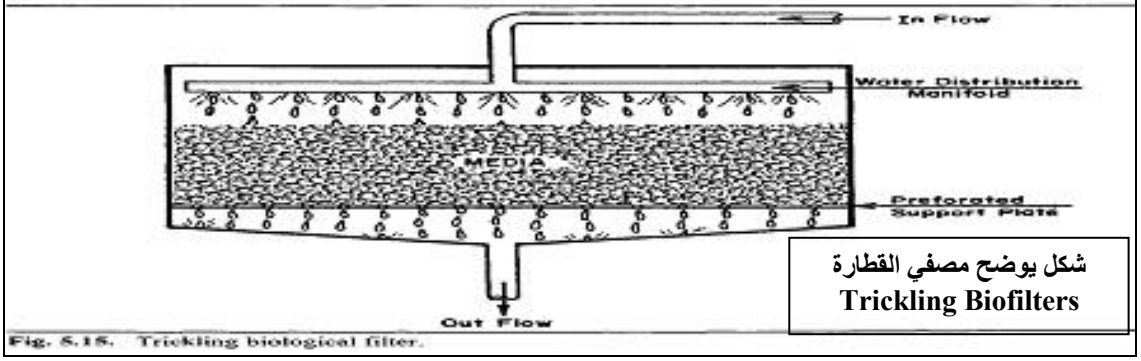


Fig. 5.15. Trickling biological filter.

شكل يوضح مصفي القطارة
Trickling Biofilters

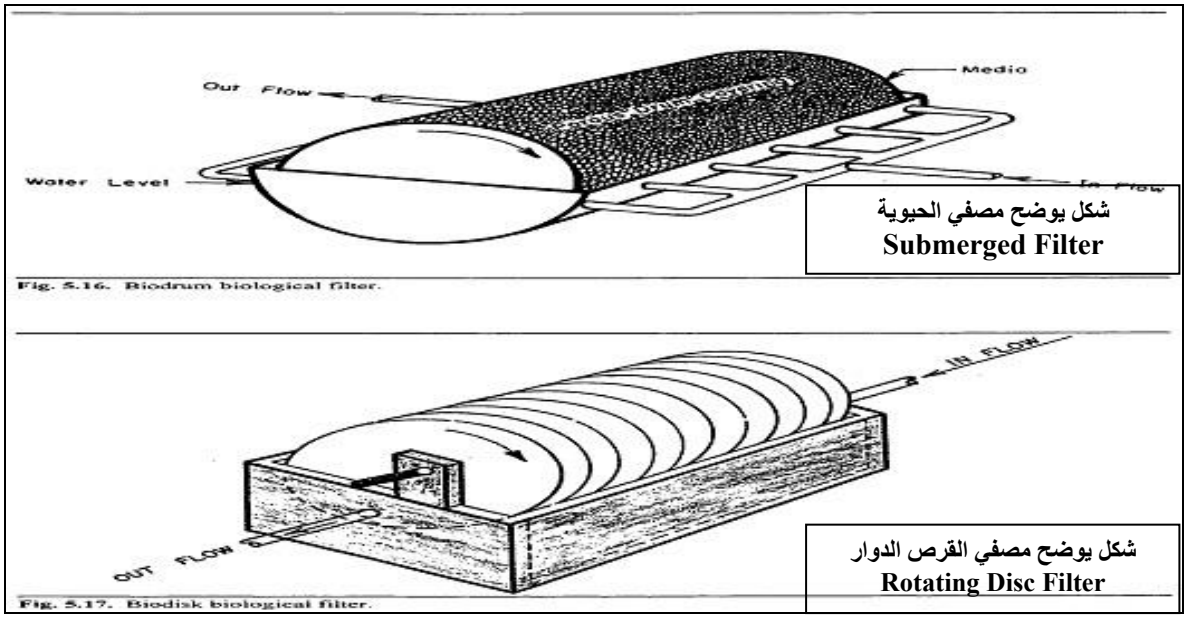
3. المصافي الحيوية المغمورة: Submerged Filter

ان تصميم هذا المصفي يشابه أحواض الترسيب الاولية ، ما عدا كون المصفي الحيوي يحتوي على بيئة تنشأ عليها المستعمرات البكتيرية ، يدخل الماء من إحدى الجهات العليا للمصفي ومن ثم يمر خلال بيئة المصفي وبالتالي يخرج من خلال الجهة العليا المقابلة لفتحة دخول الماء.

4. مصفي القرص الدوار: Rotating Disc Filter

يختلف هذا المصفي عن بقية المصافي الحيوية الاخرى من حيث البيئة المستخدمة تكون متحركة بالماء بعكس بقية المصافي التي تكون فيها البيئات ثابتة . تتكون البيئة في المصفي ذات الأقراص الدوارة من عدد كبير من الصفائح الدائرية والمثبتة على محور دوار يوضع في الحوض بحيث يكون نصف كل قرص مغمور في الماء والنصف الأخر يعرض في الجو.

تبني البكتريا مستعمراتها على الصفائح كما في بقية المصافي الحيوية ولكن تكون البكتريا في هذا النوع معرضة للماء المحمل بنواتج الايض من الأسماك بدرجة أكبر حيث تحصل البكتريا على العناصر الغذائية من هذه النواتج وكذلك على الاوكسجين . ولنجاح هذا النوع من المصافي في مجال التربية فقد شاع استعمالها وعلى نطاق واسع من قبل مربي الأسماك.



شكل يوضح مصفي الحيوية
Submerged Filter

شكل يوضح مصفي القرص الدوار
Rotating Disc Filter

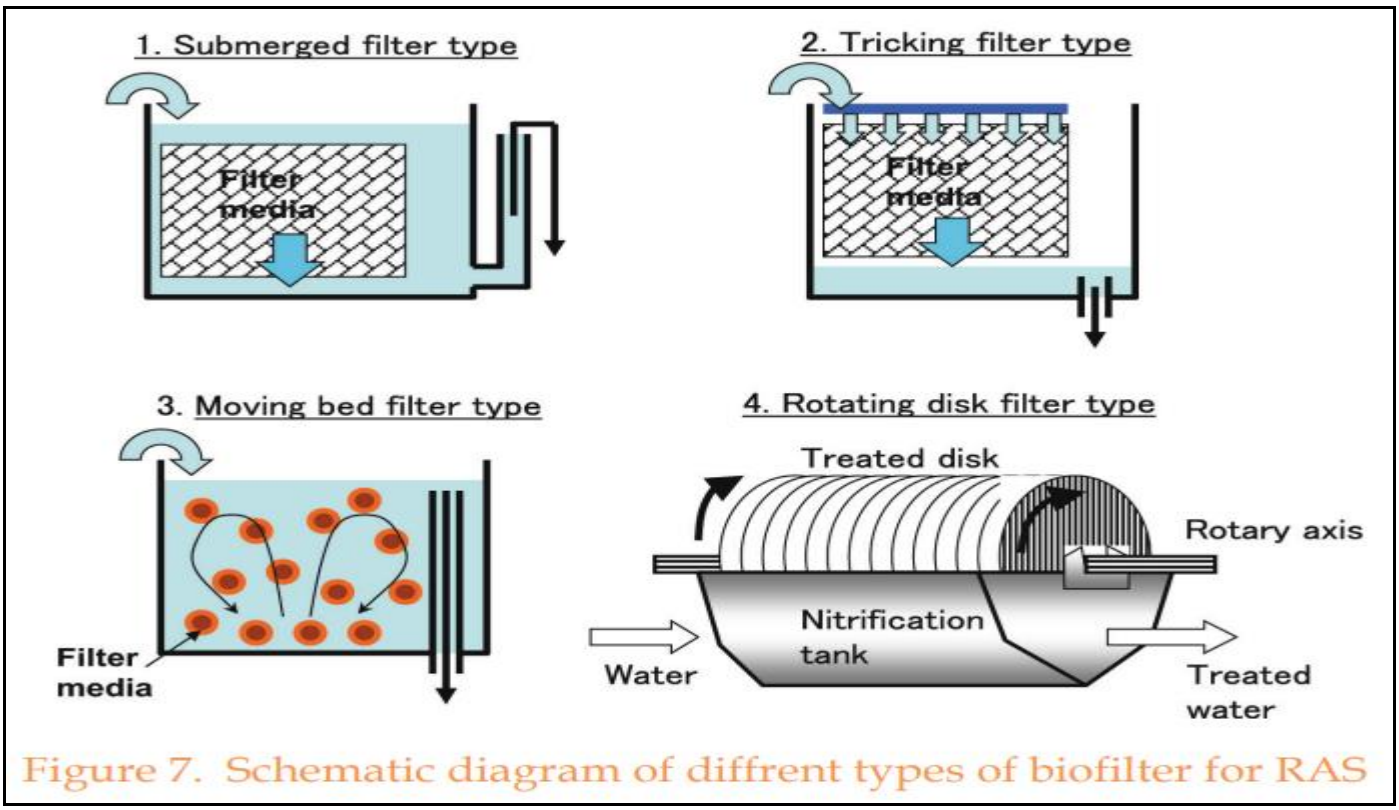


Figure 7. Schematic diagram of diffrent types of biofilter for RAS

https://eprints.cmfri.org.in/16918/1/ICAR-%20CMFRI%20Training%20Manual%20Series%20No.%2028_2022_Chapter%203.pdf

حجم المصفى الحيوي: Biofilter Size

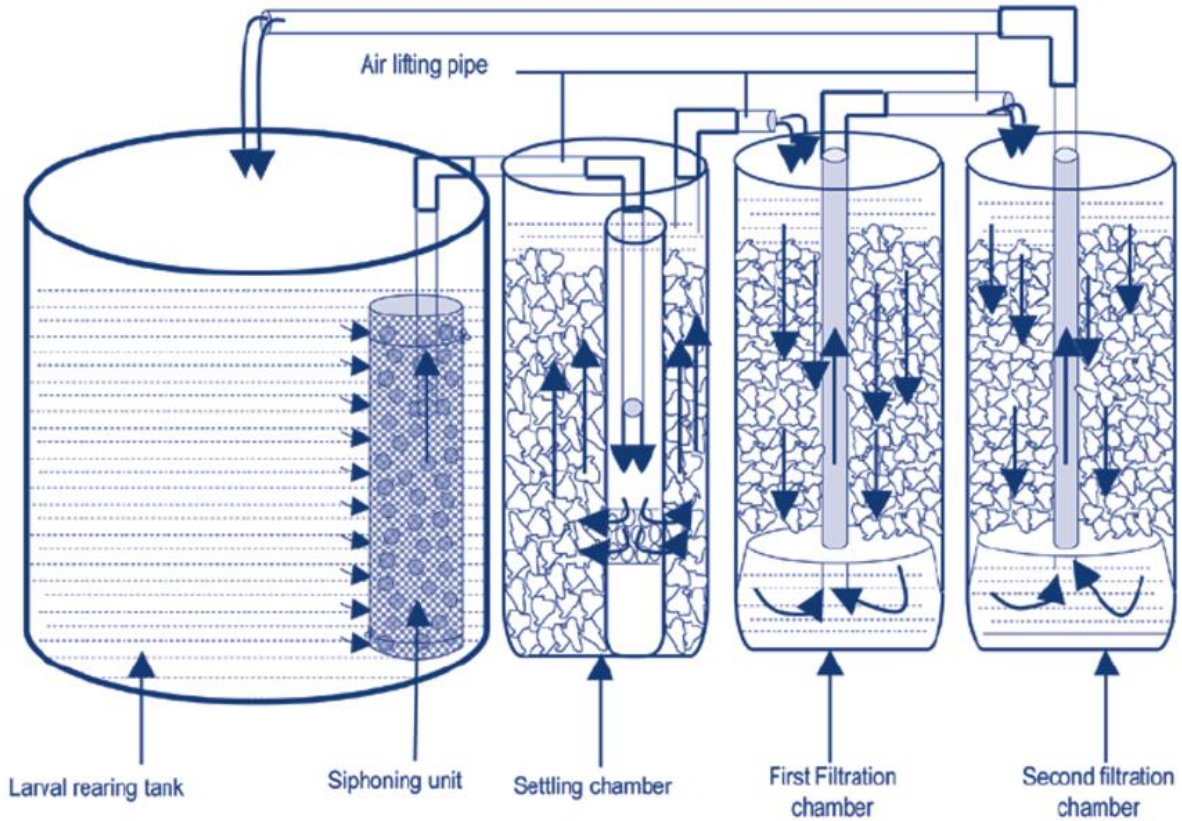
ان حجم المصفى الحيوي يعتمد على عدة عوامل منها عدة ونوع الأسماك المرباة ، والكتلة الحيوية الكلية لها في حوض التربية ، حجم الماء الكلي للمنظومة المدور فيها ، كذلك معدل تدفق الماء الى المصفى الحيوي.

بيئات المصفي الحيوي: Biofilter Media

ان التغيرات او التحويلات الكيمياوية التي تتم في المصافي الحيوية تنجز بواسطة انواع مختلفة من البكتريا والتي بدورها تحتاج الى بيئة هوائية ومساحة سطحية واسعة لكي تنمو عليها . يعد الرمل والحصى من أكثر البيئات الحيوية التي استخدمت سابقا ولكن هذه المواد الثقيلة تتطلب مخادع او خزانات قوية قادرة على تحملها ، كما ان الخزانات التي تتعرض للانسداد بالطمى والرمل . عندما تربى اسماك بكميات قليلة كأسماك الزينة فان قشور المحار إضافة الى الرمل والحصى ، لكن عندما تربى الأسماك بكثافة عالية فان الأمر يتطلب استخدام البيئات ذات الكفاءة العالية في التصفية الحيوية مثل المواد البلاستيكية الخاملة وهي مخلفات تصنيع المواد او الانابيب البلاستيكية وعند استخدامها يجب ان تقطع الى قطع صغيرة.

رابعا: حوض التنقية الثانوي: Secondary settling chamber

ان بعض أنظمة تدير المياه المغلقة تستخدم خزان تنقية ثانوي او نهائي ان فائدة هذا القسم من وحدة التصفية تكمن في تجميع المواد الصلبة التي قد تخترق المصفي الحيوي . يفضل السماح للماء بمغادرة المصفي الحيوي بالارتطام في سطح الماء في خزان التنقية النهائي أثناء الدخول وذلك لتكوين الرغوة (الزبد) وهذا سيسهل إزالتها بين فترة واخرى ، ان وجود الرغوة تعتبر مؤشر لزيادة تركيز المواد العضوية والتي تشمل المواد البروتينية الذائبة في الماء وان ازالة الرغوة باستخدام الشباك اليدوية الناعمة سوف يقلل من الحاجة الكلية الى المصفى الحيوي عن طريق التخلص من المادة العضوية الذائبة من مياه المنظومة.



https://www.researchgate.net/figure/The-biofilter-prepared-with-locally-available-materials-connected-with-LRT-in-a_fig2_215791988

إدارة جودة المياه:

ان الأسماك تعيش وتتنفس في الماء لذا فمن المهم أن تكون الظروف مثلى لنوعية المياه داخل منظومة التربية المغلقة وخصوصا عندما يتم تخزين الأسماك بكثافات عالية . ومن الضروري وصول إمدادات المياه وهي محملة بالأكسجين للأسماك ومزال منها الفضلات مثل البراز (feces) والأمونيوم وثاني أكسيد الكربون والمواد الغذائية غير مأكول.

لذا ان نجاح تربية الاسماك في النظام المغلق يجب ملاحظة النقاط التالية:

1. يجب أن تبقى نوعية المياه تحت الظروف المثلى لبقاء الأسماك المربأة والبكتريا التي تسكن في التصفية الحيوية.
2. يجب أن تؤخذ السجلات المستمر لجودة المياه بشكل منتظم للسيطرة على أي التغييرات التي قد تحدث.
3. توفير خزانات مياه الامداد المنظومة بمياه جيدة النوعية.

درجة الحرارة:

للمحافظة على درجة الحرارة داخل النطاق الأمثل فوائد عديدة من أهمها:

1. تحقيق نمو للأسماك بسرعة أكبر داخل هذا النطاق، لزيادة تحقيق نسب التحويل الغذائي.
2. تصبح الأسماك أقل عرضة للإصابة بالأمراض ، يتم الاحتفاظ درجة الحرارة باستخدام التدفئة أو التبريد الاصطناعي كما هو موضح سابقا وتقاس بسهولة باستخدام ميزان حرارة.
3. الحفاظ عل المستعمرات البكتيرية التي تعيش في البايوفلتر.

الأوكسجين:

الأوكسجين المذاب هو العنصر المتغير الأكثر أهمية لنوعية المياه وهو يعتمد بدوره على درجة حرارة المياه ، حيث يجب أن تبقى تركيزات الأوكسجين الذائب فوق 60% التشبع أو حول (5 PPM) لضمان بقاء ونمو الاسماك كما ان نشاط البكتيريا داخل التصفية الحيوي تعتمد أيضا على مستوى الأوكسجين الذائب في عمود الماء و تصبح عادة غير فعالة عندما تنخفض مستويات الأوكسجين أدناه (2 PPM) ان انخفاض الاوكسجين قد يعود الى عدد من العوامل مثل معدلات التخزين العالية (الكثافة السمكية) في مخادع التربية وتحلل المواد العضوية بما في ذلك feces والطعام غير مأكول.

انخفاض الأوكسجين المذاب له عدة تأثيرات منها:

1. يمكن أن تكون قاتلة لأنواع الأحياء المائية.
2. إجهاد الاسماك وزيادة التعرض للأمراض.
3. يقلل من معدل التحويل الغذائي للأسماك وضعف النمو ويمكن أن يسبب نفوق جماعي في الحالات القصوى.

ويمكن الكشف عن علامات منخفضة الأوكسجين المذاب عندما لاحظ الأسماك ترتفع إلى السطح ، وابتلاع الهواء أو متجمعين حول جهاز تهوية ، هناك أيضا تحقيقات الأكسجين المتاحة التي يمكن قياس مستويات الأوكسجين المذاب على نحو فعال ، وبالتالي السماح للمزارع لكشف ومراقبة الأوكسجين المذاب قبل أن تصل إلى مستوى حرج ، يمكن الحفاظ على مستويات الأوكسجين الذائب من خلال دمج أجهزة التهوية في نظام تدوير المياه حيث تعمل على التشبع المياه بالأوكسجين قبل أن يدخل مخادع التربية.

مستويات الحموضة: pH

الرقم الهيدروجيني هو مقياس لأيون الهيدروجين (H^+) في الماء ويتراوح مقياس درجة الحموضة (0-14) مع الرقم الهيدروجيني من 7 يعني ان الوسط متعادل والرقم الهيدروجيني الأمثل هو بين (6.5 – 9) في النظام المغلق كونه يميل إلى الانخفاض بسبب تراكم (CO_2) التي ينتجها التنفس الأسماك والبكتيريا داخل احواض التصفية الحيوية . وثاني أكسيد الكربون يتفاعل مع الماء لتكوين حمض الكربونيك ، وبالتالي دفع مستويات الحموضة أسفل.

ويصبح pH فعالا عندما تصل مستويات الحموضة أقل من 6.5 كما فعالية البكتيريا داخل التصفية الحيوية تصبح غير فعالة اضافة الى عددا من الآثار الضارة ، حيث يسبب في إجهاد الاسماك ، وزيادة القابلية للمرض ، ومستويات الإنتاج المنخفضة والنمو الضعيف ، وتشمل علامات درجة الحموضة دون المستوى الأمثل زيادة المخاط على أسطح الخيشومية للأسماك ، وأضرار على عدسة العين ، والسلوك الشاذ في السباحة.

يمكن الحفاظ على درجة الحموضة داخل منظومة إعادة تدوير بإضافة العوامل الوقائية مثل بيكربونات الصوديوم أو كربونات الكالسيوم ، وتهوية الماء مما يقلل من تراكم ثاني أكسيد الكربون . يجب فحص المياه لدرجة الحموضة بشكل شبه يومي ضمن نظام إعادة تدوير باستخدام مجسات درجة الحموضة أو مجموعات الاختبار الخاصة.

ثاني أكسيد الكربون:

يتم إنتاج ثاني أكسيد الكربون عن طريق التنفس من الأسماك والبكتيريا داخل النظام ، إذا كانت مستويات ثاني أكسيد الكربون يصل إلى مستويات عالية فإنه يمكن أن يسبب مشاكل في الجهاز التنفسي لأنها سوف تتداخل مع امتصاص الأوكسجين . ثاني أكسيد الكربون يمكن أن تتراكم داخل الأنظمة المغلقة إذا لم يتم إزالته ويمكن تحقيق ازالته عن طريق التهوية.

النفايات النيتروجينية:

الأمونيا هي نفايات نيتروجينية الرئيسية يتم إنتاجها بواسطة الأسماك عن طريق عملية التمثيل الغذائي وتفرز عبر الخياشيم كغاز امونيا ، ويمكن أيضا أن تنتج الأمونيا من تحلل النفايات العضوية المتحللة حيوانية كانت ام نباتية . الامونيا الموجودة في الاحواض تكون على شكلين اما الأمونيا كغاز(NH_3) أو كما أيون الأمونيوم (NH_4^+) الأمونيا سامة للأسماك هي في شكل غازي ويمكن أن يسبب تهيج الخياشيم ومشاكل في الجهاز التنفسي ومستويات الأمونيا تعتمد بشكل كبير على درجة حرارة الماء ودرجة الحموضة فيه ، فعند الدرجات ألعالية من حرارة والحموضة ، ويتم تحويل عدد أكبر من أيونات الأمونيوم إلى غاز الأمونيا مما يسبب زيادة في مستويات الأمونيا السامة داخل الماء.

إذا كانت مستويات الأمونيا مرتفعة فلعل الامر يعود الى:

1. فعالية التصفية الحيوية داخل نظام تدوير المياه فالمرشحات تفشل بسبب عطل ميكانيكي أو فشل البيولوجية الناجمة عن تثبيط النشاط البكتيري.
2. انخفاض النشاط البكتيري بسبب سمية بعض المواد الكيميائية او انتهاء عمر المستعمرة الطبيعي ، ونقص الأكسجين ، ودرجة الحموضة ، ان بقاء البكتيريا على قيد الحياة هو في غاية الأهمية لأنه يضمن صحة والنمو والبقاء الاسماك على قيد الحياة ، إذا كانت المستويات عالية من الأمونيا موجودة داخل النظام المغلق فيجب اجراء عددا من التدابير وهي:
   - A. خفض أو وقف التغذية.
   - B. تدفق المياه العذبة الى مخادع التربية.
   - C. خفض كثافة التخزين.
   - D. زيادة التهوية.
   - E. في حالات الطوارئ - خفض مستوى الحموضة.

المواد الصلبة:

النفايات الصلبة ، أو المعروف باسم الجسيمات العضوية غالبا ما تتكون من البراز أو طعام غير مأكول وينبغي منع تراكم هذه المخلفات الصلبة داخل النظام لأنها يمكن أن تسبب استنزاف الأوكسجين وانتاج الأمونيا سامة عندما تتحلل ، النفايات العضوية هي موجودة في ثلاثة أشكال رئيسية في النظام المغلق:

1. مواد صلبة تتراكم في الجزء السفلي من الخزان.
2. مواد صلبة عالقة وتعويم في عمود الماء.
3. المواد الصلبة الذائبة في عمود الماء ويمكن أن تسبب تهيج الخياشم وحدوث والأضرار.

الأجهزة والمعدات الاحتياطية في المنظومة:

1. مضخات الماء Water Pumps
2. ضاغطات الهواء Air Compressors
3. أجهزة تهوية Air Blowers
4. مولد كهربائي Electric Generator
5. مولدات الأوزون Ozone Generators
6. أجهزة التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet (UV) Rays