An Experimental Study of Sequencing Batch Reactors (Sbrs) for Wastewater Treatment Under Local Conditions For Use in Irrigation

Dr. Houssam Sabbouh*

(Received 10 / 7 / 2025. Accepted 7 / 9 / 2025)

□ ABSTRACT □

The research is summarized in conducting a series of experiments on a laboratory model of a sequencing batch reactor (SBR) to verify its effectiveness in treating wastewater and its potential use for irrigation purposes.

The research discusses the characteristics of wastewater and the risks of contamination, in addition to presenting the known methods of treatment. The research also includes a detailed presentation of sequencing batch reactors (SBRs), their design mechanism, and the calculation of the design parameters of the reactor under study based on the characteristics of the wastewater used in all stages of the test.

The research methodology included the operation and steps followed to test the proposed reactor model under prevailing laboratory conditions.

Samples were taken from the reactor over six consecutive days, and then the basic parameters necessary for evaluation were measured, namely: TSS, BOD5, nitrate, nitrite and phosphate. We have presented the results in special tables that allowed us to evaluate the effectiveness of the proposed method for wastewater treatment.

The test results at the approved operating cycle times showed high effectiveness in removing BOD and TSS, while this effectiveness was lower in removing nitrate and phosphorus due to their already low values in the water undergoing treatment.

Finally, an analytical reading of the results presented the conclusions, which allowed us to reach recommendations that we consider important to take into account in subsequent research in this field.

Keywords: Wastewater treatment, sequencing batch reactors, activated sludge, wastewater treatment methods.

Copyright **:**Latakia University journal (Formerly Tishreen) -Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering Latakia University (Formerly Tishreen), Latakia, Syria.**

دراسة تجريبية للمفاعلات الدفقية المتسلسلة (SBR)
عند معالجة مياه الصرف الصحي في الظروف المحلية لاستخدامها في أعمال الري

د. حسام صبوح*

(تاريخ الإيداع 10 / 7 / 2025. قُبِل للنشر في 7/ 9 / 2025)

□ ملخّص □

يتلخص البحث في إجراء سلسلة من التجارب على نموذج مخبري للمفاعل الدفقي **(SBR)** للتأكد من فعاليته لمعالجة مياه الصرف الصحي وإمكانية استخدامها لأغراض الري.

تعرض البحث لمواصفات مياه الصرف الصحي ومخاطر التلوث بها، إضافة إلى عرض الطرق المعروفة في مجال معالجتها، كما تضمن البحث عرضاً مفصلاً للمفاعلات الدفقية المتسلسلة **(SBR)** وآلية تصميمها وحساب البارامترات التصميمية للمفاعل المدروس اعتماداً على مواصفات مياه الصرف الصحي التي استخدمت في كافة مراحل الاختبار.

تضمنت منهجية إجراء البحث كيفية التشغيل والخطوات المتبعة لاختبار نموذج المفاعل المقترح في ظل الظروف المخبرية السائدة.

أُخذت العينات من المفاعل على مدى ستة أيام متتالية، ومن ثم قياس البارامترات الأساسية اللازمة للتقييم، وهي: **TSS**, **BOD_5**، النترات، النتريت والفوسفات، وقد أوردنا النتائج في جداول خاصة سمحت بتقييم فعالية الطريقة المعروضة لمعالجة مياه الصرف الصحي.

أظهرت نتائج الاختبار عند أزمنة دورة التشغيل المعتمدة فعالية عالية في إزالة الـ BOD والـ TSS، بينما كانت تلك الفعالية أقل عند إزالة النترات والفوسفور نظراً لانخفاض قيمها أصلاً في المياه الخاضعة للمعالجة.

ختاماً وبقراءة تحليلية للنتائج تم عرض الاستنتاجات، التي سمحت بالتوصل إلى التوصيات التي نرى أهمية الأخذ بها في الأبحاث اللاحقة في هذا المجال.

الكلمات المفتاحية: معالجة مياه الصرف الصحي – المفاعلات الدفقية المتسلسلة –الحمأة المنشطة – طرق معالجة مياه الصرف الصحي.

حقوق النشر : مجلة جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* **أستاذ مساعد – قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية– جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)– اللاذقية– سوريا.**

مقدمة:

مع التطور الحضاري والنمو السكاني المتزايد في مختلف دول العالم ازداد الطلب على المياه اللازمة لأغراض مختلفة (للأغراض المعاشية– للصناعة – للزراعة .... الخ.)، لذلك أصبح من الضروري التوجه إلى البحث عن مصادر مائية بديلة تقلل الحاجة للمياه المأخوذة من مصادرها الطبيعية.

لقد شاعت في العقود الأخيرة عملية استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة لأغراض الري المختلفة (محاصيل زراعية – حدائق) في معظم دول العالم ولا سيما الفقيرة منها بالمياه والتي لا يتوفر لديها مورد بديل لري المزروعات، حيث قام العديد من تلك البلدان بوضع معايير بيولوجية صارمة لإعادة استخدام مياه الصرف بعد معالجتها، ذلك لأن استخدام مياه المجاري دون معالجة يؤدي إلى التسبب بالأمراض المختلفة وإلحاق الضرر بالإنسان والنبات على حد سواء**[1، 2]**.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في أنه يتعرض لمشكلة معالجة مياه الصرف الصحي بشكل عام نظراً لما تشكله المياه غير المعالجة من خطورة على النظام البيئي برمته، والذي ينعكس مباشرة بمؤشرات صحية سلبية على الإنسان ويركز بالأساس على فكرة استخدام المفاعلات الدفقية المتسلسلة **Sequencing BatchReactors (SBR)**نظراً لأهمية استخدام هذه المفاعلات لمعالجة التدفقات الضئيلة من مياه الصرف الصحي، والتي غالباً ما تأتي من التجمعات السكانية الصغيرة.

أما الهدف الرئيسي للبحث فيتلخص في الدراسة التفصيلية نظرياً وعملياً للمفاعلات الدفقية المتسلسلة **(SBR)** وبيان مدى فعاليتها لمعالجة مياه الصرف الصحي التي ستستخدم لأغراض الري وذلك في الظروف والمعطيات المحلية وعلى مياه مأخوذة منأحد مصبات الصرف الصحي في مدينة اللاذقية.

1- أساسيات معالجة مياه الصرف الصحي:

1-1- التعريف بمياه الصرف الصحي والمشاكل المرتبطة بها [1، 2، 3]:

تتكون مياه الصرف الصحي من المياه المستعملة بمواصفاتها قبل الاستعمال مضافاً إليها الشوائب التي تصاحب استعمالها. ونشير هنا إلى أن مياه الصرف الصحي تتشكل في المتوسط من (% 99.9) ماء و (% 0.1) مواد صلبة.

تختلف الشوائب المحمولة مع مياه الصرف الصحي كماً ونوعاً وتبعاً لعوامل كثيرة، فهي في مياه الصرف الصناعي مرتبطة بطبيعة الصناعة والتكنولوجيا المتبعة ونوعية المواد الأولية المستخدمة، في حين نرى أن تركيب مياه الصرف المنزلية يكون متماثلاً تقريباً في أغلب الحالات حتى ولو اختلف مصدرها مع بعض الفروقات البسيطة، حيث يرتبط هذا التركيب بمستوى حياة الناس وبالتالي بمعدلات استهلاك المياه، كما يتأثر بالموقع الجغرافي والعوامل المناخية، غير أن هذه الفروقات لا تلعب دوراً مؤثراً على عملية المعالجة.

تعتبر الملوثات العضوية المحمولة مع مياه الصرف الصحي من أهم المشاكل الواجب التغلب عليها، ونشير هنا إلى أن التعبير عن مستوى التلوث العضوي في تلك المياه يمكن أن يتم من خلال القيام باختبارات أساسية تتمثل بالمؤشرات التالية:

- الاحتياج البيوكيميائي للأكسجين (BOD) (Biochemical Oxygen Demand)
- الاحتياج الكيميائي للأكسجين (COD) (Chemical Oxygen Demand)
- الاحتياج الكلي للأكسجين (TOD) (TotalOxegen Demand)
- مجتوى الكربون العضوي الكلي (TOC) (Total Organic Carbon)

وعموما فإن المعيار الشائع الاستخدام والمطبق في تحديد التلوث العضوي في المياه الملوثة هو الـ (BOD) والـ (COD).

بشكل عام تعتبر مياه الصرف الصحي (المياه المنزلية) خطيرة جداً من وجهة نظر الصحة البيئية وذلك لاحتوائها على كمية كبيرة من المواد العضوية القابلة للتعفن وعلى أعداد هائلة من البكتريات التي قد تسبب العديد من الأمراض المعروفة.

تحتوي مياه الصرف الصحي على أعداد هائلة من الكائنات الحية الدقيقة، والتي تضم في عدادها البكتريات المسببة للعديد من الأمراض المعدية والمعوية والجلدية وتجعل من مياه الصرف الصحي مصدر خطر من وجهة النظر الصحية.

يُعبِّر المحتوى البكتيري في مياه الصرف الصحي عن درجة تلوثها، غير أن هذا الدليل قد لا يكون قاطعاً لسببين رئيسيين:

أولهما: قد تكون المياه عالية التلوث وغير حاوية على البكتريات (إذا تم مزجها مع مياه الصرف الصناعي)، بل إنها تحتوي على مواد سامة.

ثانيهما: إمكانية احتواء مياه الصرف الصحي على البكتريات النافعة إلى جانب البكتريات الضارة.

إن احتواء المياه على العصيات المعوية ليس دليلاً قاطعاً على تلوثها بالجراثيم الممرضة، غير أن ذلك يعتبر دليلاً أكيداً على تلوثها بفضلات الإنسان والحيوان، وهذا ما يعتبر أمراً غير مرغوب من وجهة النظر الصحية.

1-2- طرق معالجة مياه الصرف الصحي [1، 2]:

إن الهدف الأساسي من عملية معالجة مياه الصرف الصحي هو التخلص من مسببات تلوث تلك المياه سواء كانت مواد عضوية أو غيرها، عالقة كانت أم ذائبة،ولعل من أهم الأسباب الموجبة لعملية المعالجة ما يلي:

آ- منع أو تقليل الملوثات التي ربما وجدت طريقها لمصدر المياه السطحية أوالجوفية.

ب- منع انتشار الأمراض المعدية بإزالة أو قتل الجراثيم الموجودة في الفضلات السائلة والحمأة.

ج- موازنة الحمأة لمنع حدوث المخاطر الصحية.

د- الحد من إنتاج الروائح الكريهة وغيرها من المكدرات.

هـ- إعادة استخدام ماء التصريف الخارج من محطات المعالجة وإعادة استخدام الحمأة والنواتج الثانوية من وحدات المعالجة.

تصنف طرق معالجة مياه الصرف الصحي تبعاً لنوعية العمليات الجارية في منشآت المعالجة وفقاً لما يلي:

- المعالجة الأولية (الميكانيكية).
- المعالجة الثانوية (البيولوجية).
- المعالجة الثالثية (المتقدمة).

ينتج عن عمليات معالجة مياه الصرف الصحي كميات كبيرة من الحمأة التي تتعرض بدورها إلى المعالجة لتصبح قابلة للاستخدام فيما بعد.

انطلاقاً من القواعد الصحية لحماية المصادر المائية من التلوث يجب إخضاع مياه الصرف الصحي بعد معالجتها للتعقيم بغية القضاء على الكائنات الحية الدقيقة التي يمكن أن تسبب العديد من الأمراض.

1-2-1- المعالجة الأولية (الميكانيكية):

تتمثل الغاية من المعالجة الميكانيكية لمياه الصرف الصحي في تخليصها من المواد الصلبة العالقة (غير المنحلة)، حيث تستخدم من أجل ذلك المنشآت التالية:

1)- الحواجز القضبانية والمناخل بأنواعها (خشنة – متوسطة – ناعمة):

تقوم باحتجاز المواد الصلبة كبيرة الحجم نسبياً (أبعادها لا تقل عن 5 mm) كقطع الورق والكرتون وأغصان الأشجار وعلب الكونسروة وغيرها من المواد الأصغر حجماً والمحمولة مع تيار مياه الصرف الصحي.

2)- أحواض حجز الرمال (مصائد الرمل):

مهمتها تخليص مياه الصرف الصحي من الشوائب العالقة ذات المنشأ المعدني وبشكل أساسي الذرات الرملية، ومن هنا سميت هذه الأحواض بمصائد الرمل.

3)- أحواض الترسيب الأولية:

يجري فيها تخليص مياه الصرف الصحي من المواد العالقة التي تزيد كثافتها أو تقل عن كثافة الماء، حيث تترسب الأولى بفعل قوى الجاذبية إلى القاع، في حين تبقى الثانية طافية على سطح المياه في تلك الأحواض يتم كشطها، ويجري التخلص منها بواسطة أقنية خاصة تزود بها أحواض الترسيب.

تعتبر المعالجة الميكانيكية مرحلة تمهيدية تسبق المعالجة البيولوجية، مع العلم أنه يمكن الاكتفاء بالمعالجة الميكانيكية إذا ما كانت مواصفات المصدر المائي تسمح باستقبال مياه الصرف الصحي التي خضعت لتلك المعالجة، وهذا ما نشهده غالباً عندما تكون كميات مياه الصرف الصحي قليلة وغزارة المصدر المائي المستقبل لها كبيرة.

1-2-2- المعالجة الثانوية (البيولوجية):

تعتمد هذه الطريقة على النشاط الحيوي للكائنات الحية الدقيقة (البكتريات) الموجودة أصلاً في مياه الصرف الصحي، حيث تقوم تلك البكترياتبتفكيك المركبات العضوية المنحلة وغير المنحلة المحمولة مع تيار مياه الصرف الصحي، معتمدة في ذلك على توفر كميات كافية من الأكسجين المنحل في الوسط المائي.

تبعاً للظروف التي تتم فيها المعالجة البيولوجية يمكن التمييز بين نموذجين :

1)- المعالجة البيولوجية في الظروف شبه الطبيعية : وهي تتم في منشآت محددة مثل حقول الري وحقول الترشيح وبحيرات (برك) الأكسدة .

2)- المعالجة البيولوجية في الظروف الاصطناعية : وتتم في منشآت خاصة بها مثل المرشحات البيولوجية وأحواض التهوية (الحمأة المنشطة) .

توجه المياه بعد المعالجة البيولوجية في الظروف الاصطناعية إلى أحواض الترسيب، التي تسمى" أحواض الترسيب الثانوي " أو " أحواض الترسيب النهائي " ، حيث تكون محملة بعد خروجها من أحواض المعالجة البيولوجية بنواتج تهشم الغشاء البيولوجي المتشكل على سطح المادة الراشحة فيها ، أما من أحواض التهوية فتخرج حاملة الحمأة المشبعة بالكائنات الحية الدقيقة ، ويتمثل دور أحواض الترسيب النهائي في تخليص المياه المعالجة بيولوجياً من هذه النواتج .

1-2-3- المعالجة الثالثية (المتقدمة):

تعتبر المعالجة المتقدمة ضرورية إذا ما كانت مواصفات المصدر المائي الذي يستقبل مياه الصرف الصحي المعالجة تتطلب تخفيض تراكيز بعض الملوثات (مواد عالقة ، COD ، BOD وغيرها) في تلك المياه والتي خضعت لمعالجة بيولوجية مسبقة . إضافة إلى ذلك تسمح المعالجة المتقدمة لمياه الصرف الصحي باستخدام هذه الأخيرة في العمليات التكنولوجية الصناعية ، مما يقلل من كميات مياه الصرف الصحي الملقاة في المصادر المائية من جهة ، كما يساهم في تخفيض كميات المياه العذبة اللازمة للأغراض الصناعية.

تعتبر المعالجة المتقدمة التي تسمح بتخليص المياه من مركبات الآزوت والفوسفور ضرورية في الحالة التي يؤدي فيها وصول كميات إضافية من العناصر المغذية (آزوت وفوسفور) إلى المصادر المائية لحدوث ظاهرة التشبع الغذائي فيها.

1-2-4- تعقيم مياه الصرف الصحي:

تعتبر عملية تعقيم مياه الصرف الصحي المرحلة الأخيرة من مراحل معالجة تلك المياه قبل إلقائها في المصادر المائية. وتتلخص مهمة هذه العملية بالقضاء على البكتريات الممرضة والفيروسات المتبقية في مياه الصرف الصحي المعالجة. أكثر طرق التعقيم شيوعاً هي الكلورة (إضافة غاز الكلور أو كلور الكالسيوم أو هيبوكلوريد الصوديوم إلى المياه المعالجة)، كما يمكن تعقيم مياه الصرف الصحي باستخدام الأوزون.

1-3- استخدام المفاعلات الدفقية المتسلسلة (SBR) لمعالجة مياه الصرف الصحي:

1-3-1- الوصف العام [2، 4، 5]:

المفاعلات الدفقية المتسلسلة (SBR) هي نظام حمأة منشطة يعمل على الملء والسحب لمعالجة مياه الصرف الصحي.

ظهر الاهتمام بأنظمة الـSBR في أواخر الخمسينيات من القرن الماضي و بدايات الستينيات مع تطور المعدات الحديثة و التكنولوجيا.

إن تحسين تجهيزات التهوية وأجهزة التحكم سمحت لأنظمة الـSBR بالتنافس بنجاح مع أنظمة الحمأة المنشطة التقليدية.

لقد استخدمت أنظمة الـ SBR بنجاح لمعالجة مياه الصرف الصحي البلدية ومياه الصرف الصناعية وهي ملائمة بشكل فريد لتطبيقات معالجة مياه الصرف المتميزة بشروط التدفقات المنخفضة أو المتقطعة.

تستخدم أنظمة الـSBR عادة من أجل التجمعات السكانية الصغيرة وتكون مفيدة للأماكن حيث الأراضي المتوفرة محدودة.

تستخدم أنظمة الـ SBR لمعالجة التدفقات المنخفضة والتي تتأرجح ما بين $800 - 20000\ m^3/d$.

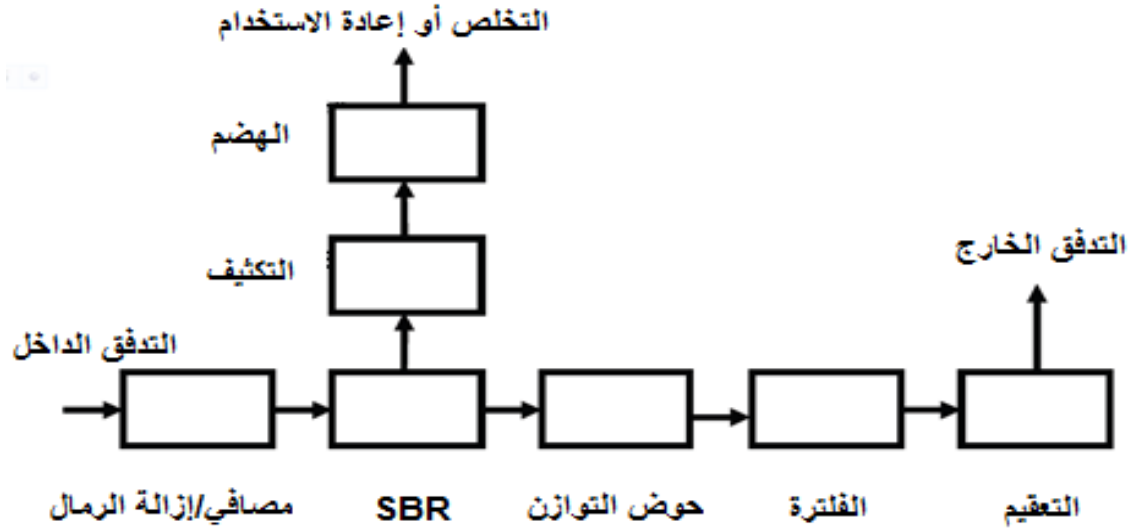
أما مراحل عمل منظومة المعالجة عند استخدام مفاعلات الـ SBR فهي على النحو التالي:

يمر التدفق الداخل لمياه الصرف بشكل عام عبر مصافي و أحواض إزالة الرمال لتدخل بعدها إلى حوض مفاعل الـ SBRالذي يحوي على الكتلة الحيوية المتأقلمة مع مكونات مياه الصرف خلال الدورة السابقة.

عندما يكون المفاعل ممتلئاً يصبح نظام العمل مشابهاً لنظام الحمأة المنشطة التقليدي ولكن بدون تدفق داخل مستمر أو تدفق خارج .

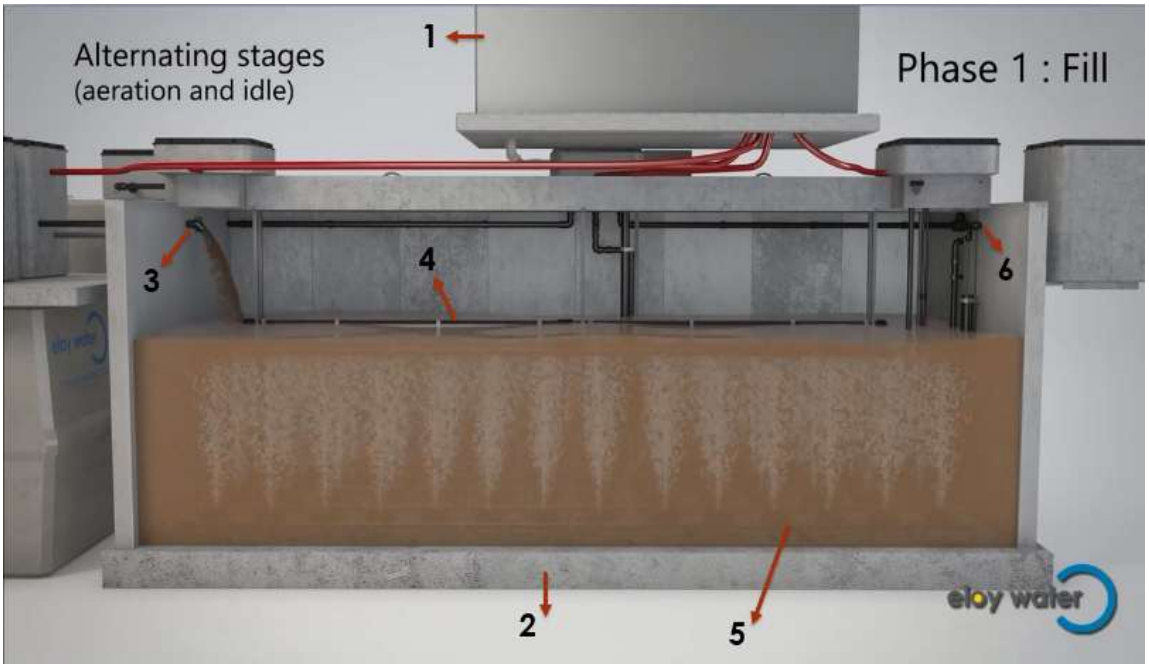
يبدأ الفعل البيولوجي بعمليتي التهوية والمزج ثم ترسب الكتلة البيولوجية، وتزال المياه المعالجة، بينما تسحب الحمأة الزائدة في أي وقت من الدورة، حيث أن السحب المتكرر يجعل النسبة F/M في التدفق الداخل ثابتة من دورة لأخرى. مع العلم أنه في أنظمة التدفق المستمر تتم المحافظة على النسبة F/M في التدفق الداخل وتبقى ثابتة من خلال ضبط معدل تدفق الحمأة المنشطة المعادة باستمرار وإدخالها بمحاذاة التدفق الداخل.

من أهم ملحقات مفاعل الـ SBR هو حوض التوازن الذي يساعد على تحمل تدفقات الذروة أو حمولات الذروة في التدفق الداخل و موازنتهم في المفاعل الدفقي. هذا ونبين على الشكل رقم (1) رسم تخطيطي لمحطة معالجة لمياه الصرف الصحي تستخدم المفاعل الدفقي (SBR) **[6]**.



الشكل رقم (1): رسم تخطيطي لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام المفاعل الدفقي (SBR)

ينفذ المفاعل الدفقي (SBR) من البيتون أو الفولاذ، وقد بيناعلى الشكل رقم (2) رسماً توضيحياً لعناصر المفاعل المذكور **[7، 8]**.



الشكل رقم (2): رسم توضيحي لعناصر المفاعل الدفقي (SBR)

1- وحدة تحكم
2- حوض الـ SBR
3- أنبوب تدفق الماء الداخل
4- أنابيب طافية لنقل الماء المعالج والمواد الطافية
5-مسار ناشرات الفقاعات الهوائية
6-أنبوب تدفق الماء الخارج المعالج

1-3-2- معايير التصميم ومخطط التشغيل [2، 4، 5، 6، 7]:

عند البدء بتصميم منشآت أية محطة معالجة لا بد من معرفة جملة من العناصر العائدة لتيار المياه الداخل بالإضافة إلى ضرورة معرفة الخواص الواجب توفرها في تيار المياه الخارج.

أما أهم هذه البارامترات بالنسبة للتدفق الداخل فهي:

1- التدفق التصميمي
2- قيمة BOD_5
3- قيمة TSS
4- قيمة pH
5- قلوية المياه المعالجة
6- درجة حرارة المياه المعالجة
7- تركيز الآزوت الكلي TKN
8- آزوت الأمونيا NH3-N
9- تركيز الفوسفور الكليTP

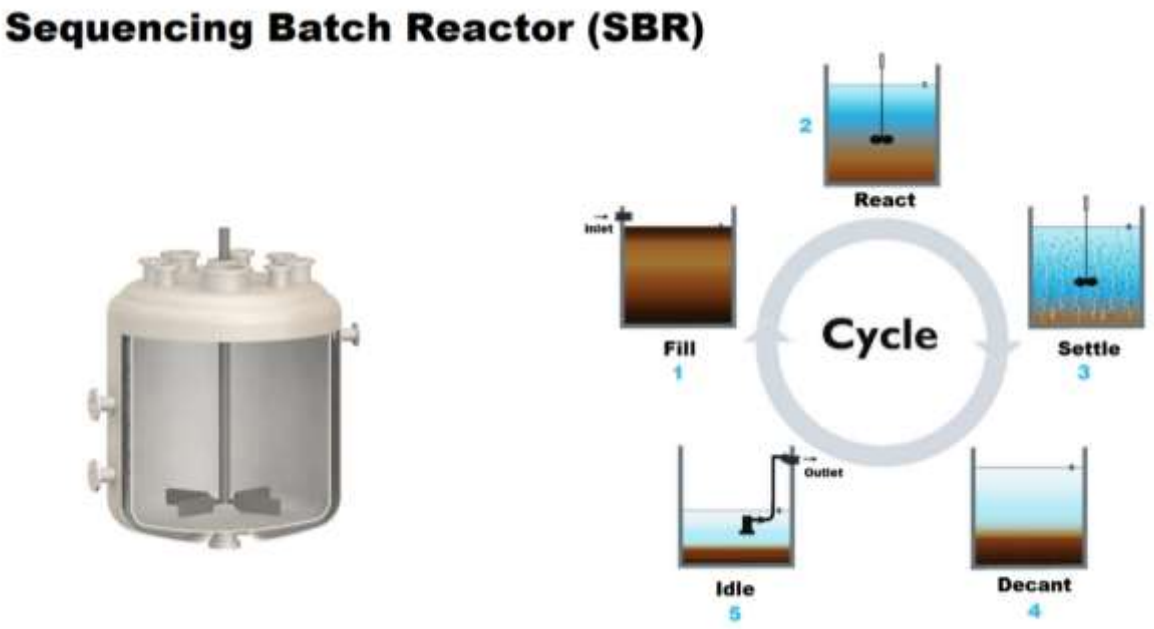
من الضروري الإشارة هنا إلى أنه إذا كان المطلوب إزالة المغذيات و NH3-N أو TKN عندها ستكون النترجة ضرورية، وإذا كان النتروجين الكلي TN مرتفع عندها ستكون النترجة والنترتة ضرورية **[4].**

في الخلاصة وبعد تحديد خصائص التدفق الداخل ومواصفات التدفق الخارج المستخدم للري التي تتميز بمواصفات أساسية وفق ما يبينه الجدول رقم (1) اللاحق، يقوم المهندسون باختيار نموذج مفاعل الـ SBR المطلوب وذلك بالاعتماد على تلك الخصائص.

الجدول رقم (1): خواص مياه الصرف الصحي المعالجة الصالحة لاستخدامها في الري [2]

البارامتر	قيمة الحد الأقصى المسموح mg/*l*
المواد الطافية	غير موجودة
المواد الصلبة العالقة الكلية TSS	10
درجة الحموضة pH	8.4 – 6
الحاجة البيوكيميائية للأكسجينBOD	10
النترات	10
الفوسفات	15

أما آلية عمل منظومة المعالجة الحاوية على مفاعلات دفقية (SBR) فنوضحها على الشكل رقم (3) اللاحق **[7].**



الشكل رقم (3):آلية عمل منظومة المعالجة الحاوية على مفاعلات دفقية (SBR)

طرائق البحث ومواده:

2- منهجية العمل التجريبي والمواد اللازمة:

2-1- المواد والتجهيزات المستخدمة:

لقد أجريت جميع التجارب في مخبر الهندسة البيئية في كلية الهندسة المدنية في جامعة اللاذقية على عينات من مياه الصرف الصحي المأخوذة من مصب شبكة الصرف الصحي بالقرب من حي العائدين في مدينة اللاذقية، وقد تم استخدام الأدوات والتجهيزات التالية:

1)- حوض بلاستيكي أسطواني الشكل حجمه ($V = 0.04\ m^3$)، قطره ($D = 0.325\ m$) وارتفاعه ($H = 0.48\ m$) (انظر الشكل رقم 4).

2)- وحدة قياس تدفق الهواء المار إلى المفاعل متصلة مع مضخة هواء.

3)- أنبوب بلاستيكي قطر (5 mm) مثقب وملفوف بشمل حلزوني يتوضع في قاع المفاعل لتأمين كمية الهواء للمفاعل اللازمة عند الضرورة.

4)- خلاط ميكانيكي.

5)- أنبوب طافي لسحب المياه المعالجة من أعلى المفاعل.

6)- حاضنة قياس الـ (BOD).

7)- سبيكتروفوتومتر لقياس تراكيز كل من النترات والنتريت والفوسفور في المياه.

8)- جهاز ترشيح للمساعدة في تحديد قيمة (TSS) في المياه.

9)- جهاز مخبري لقياس درجة الحرارة والـ pH.

10)- خزان التوازن.

2-2- الحسابات والمعايير المعتمدة لتصميم المفاعل المدروس:

بداية وقبل البدء بالعمل التجريبي تم التعرف على مواصفات مياه الصرف الصحي التي ستستخدم في البحث من خلال تحديد قيم أهم البارامترات مخبرياً في خمس عينات أخذت بالتتالي من مصب شبكة الصرف الصحي المشار إليه سابقاً، وقد بينا قيم تلك البارامترات في الجدول رقم (2) اللاحق.

الشكل رقم (4): صورة توضيحية للحوض البلاستيكي المستخدم كمفاعل SBR

الجدول رقم (2): قيم البارامترات المقاسة في عينات مياه الصرف الصحي الخام

البارامتر		العينة الأولى	العينة الثانية	العينة الثالثة	العينة الرابعة	العينة الخامسة	القيمة الوسطية
الرمز	واحدة القياس						
BOD_5	mg/*l*	205	215	190	185	195	198
TSS		85	75	82	74	78	78.8
NO_3		31.05	29.03	30.7	33.2	31.6	31.12
NO_2		0.41	0.84	0.64	1.03	0.83	0.75
TP		2.67	3.52	3.71	3.45	3.23	3.32
pH	-----	7.40	7.20	7.4	7.30	7.30	7.32
t	C^0	21.6	22	22.6	22.5	22	22.14

– تتلخص المعايير والحسابات التصميمية للمفاعل المدروس كما يلي **[2، 9، 10، 11، 12، 13]**:

حجم السحب: $\mathbf{V_f = 10\ l}$

الحجم الكلي: $\mathbf{V_t = V_f / 0.3 = 10 / 0.3 = 33\ l}$

حجم الترسيب: $\mathbf{V_s = V_t - V_f = 33 - 10 = 23\ l}$

– انطلاقاً من معطيات الجدول رقم (1) مع الأخذ بالاعتبار عامل أمان من جهة إمكانية ازدياد قيمة التلوث العضوي نفترض أن قيمة BOD_5 التصميمية تساوي **(250 mg/l).**

- التركيز المتوازن للمواد الصلبة المعلقة الكلية: **MLSS = 2500 mg/l**

-التركيز المتوازن للمواد الصلبة المعلقة الجافة:

$$\mathbf{MLVSS = (65 - 75)\ \% * MLSS = 2500 * 0.75 = 1875\ mg/l}$$

– استناداً إلى معطيات المراجع المختصة حول المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي ولا سيما عند استخدام طريقة الـ SBR نفترض أن: $\mathbf{F / M = 0.1\ kg\ BOD_5 / 1\ kg\ MLVSS\ .\ d}$.

– تقدر الطاقة الكهربائية المستهلكة من قبل محرك الخلاط الميكانيكي من أجل الحفاظ على الحالة المعلقة للسائل بحدود (8-12 Watt/ m^3)، وبالتالي قيمتها في حالتنا مساوية: $\mathbf{V_t * 12 = 0.033 * 12 = 40\ watt}$.

– تؤخذ قيم أزمنة مراحل عمل المفاعل بعد الاسترشاد بالمراجع ذات الصلة **[2، 4، 6، 7]** على النحو التالي:

1– زمن الملء 0.5 ساعة

2– زمن التفاعل:

- الخلط دون تهوية 3.6 ساعة (لإزالة الفوسفات)
- الخلط مع تهوية 9 ساعة
- الخلط بعد إيقاف التهوية 5.4 ساعة (منقوص الأوكسجين لإزالة النترات)

3– زمن الترسيب 5 ساعة

4– زمن السحب 0.5 ساعة

من أجل حجم المياه المعالجة $V_f = 10\ l$ نتحقق من قيمة النسبة F/M كما يلي:

$$\mathbf{F = V_f * BOD_5 = 250 * 10 = 2500\ mg = 0.0025\ kg}$$

$$\mathbf{M = V_f * MLVSS / 1000 = 0.01 * 1875 / 1000 = 0.018\ kg}$$

$$\mathbf{F/M = 0.0025 / 0.018 = 0.13}$$

وهي قيمة مقبولة لأنها تقع ضمن المجال التصميمي **(0.30 – 0.05).**

حساب الاحتياج للأكسجين في المفاعل SBR في ظل الفرضيات والمعطيات التصميمية:

من المعروف أنه لإزالة **1 kg (BOD)** يلزم بحدود **(1.4 – 1.6) kg (O_2)**، فإذا ما أخذنا القيمة الدنيا تكون كمية الأكسجين المطلوبة:

$$\mathbf{M(O_2) = 1.6 * Q * (BOD_5 - 0.1 * BOD_5) / 1000 =}$$

$$\mathbf{1.6 * 0.01 * (250 - 250 * 0.1 * 250) / 1000 = 0.0036\ kg/day}$$

تحسب كمية الأوكسجين الواجب نقلها إلى المياه المعالجة داخل المفاعل SBR بالمعادلة التالية:

$$\mathbf{SOTR = AOTR / \{[(C_{SW} * B * FA - C) / C_{SW}]*(1.024^{(T-20)} * \alpha) \}}$$

حيث أن:

SOTR- كمية الأكسجين الواجب نقلها إلى المفاعل.

AOTR- كمية الأكسجين اللازمة لأكسدة المواد العضوية داخل المفاعل.

C_{SW} = 9.08 mg/*l*- قابلية ذوبان الأكسجين في المياه عند درجة حرارة التجربة.

B=0.95- عامل تصحيح التوتر السطحي نتيجة الملوحة.

F/A = 1- عامل الارتفاع.

C = 2 mg/*l*- تركيز الأوكسجين المنحل الأصغري المتبقي في الحوض.

α = 0.85

بتطبيق المعادلة أعلاه نجد أن: **SOTR = 0.0058 Kg/day** ، وبافتراض عامل أمان في التصميم قيمته (1.5) ، ينتج لدينا ما يلي: **SORT = 1.5 * 0.0058 = 0.0087 Kg/day**

انطلاقاً من قيمة كمية الأكسجين الواجب نقلها إلى داخل المفاعل يمكن حساب حجم الهواء اللازم ضخه من أجل تأمين كمية الأكسجين المطلوبة وفق ما يلي:

$$V_A = SORT / D_A * A = 0.0087 / 1.201 * 0.232 = 0.031\ m^3/day$$

حيث أن:

D_A- كثافة الهواء، كغ/م^3

A- نسبة تواجد الأكسجين في الهواء وتساوي % 23.2

تدفق المياه الخام من خزان التوازن إلى مفاعل الـ**SBR**:

$$10 * 1000 / 30 = 333.3\ ml / min$$

2-3- اختبار المفاعل وأخذ العينات للتحقق من فعاليته:

لقد تم اختبار فعالية المفاعل المدروس وفق المنهجية وخطوات العمل المعروفة لتشغيل مفاعلات الـ (SBR)، والتي تشمل عادة الخطوات التالية **[9، 10]:**

1)- الملء 4)- السحب

2)- التفاعل 5)- السكون

3)- الترسيب

حيث قمنا بأخذ العينات من أعلى سطح المياه المعالجة في المفاعل بعد (21) يوماً من تشكل الحمأة وذلك على مدى ستة أيام متتالية، ومن ثم تم قياس قيم البارامترات الأساسية فيها باستخدام الأجهزة المناسبة، وقد تم تدوين قيم نتائج القياسات في الجداول (3 - ..... -7) التالية:

الجدول رقم (3): فعالية إزالة الـ BOD_5 في مفاعل الـ SBR المدروس

تاريخ أخذ العينة	قيمة BOD_5 في المياه الداخلة إلى المفاعل	قيمة BOD_5 في المياه الخارجة من المفاعل	نسبة الإزالة
- - - - -	mg / *l*	mg / *l*	%
15-06-2018	180	32	82
16-06-2018	174	24	86
17-06-2018	166	22	87
18-06-2018	171	17	90
19-06-2018	168	15	91
20-06-2018	172	12	93

الجدول رقم (4): فعالية إزالة الـ TSS في مفاعل الـ SBR المدروس

تاريخ أخذ العينة	قيمة TSSفي المياه الداخلة إلى المفاعل	قيمة TSSفي المياه الخارجة من المفاعل	نسبة الإزالة
- - - - -	mg / *l*	mg / *l*	%
15-06-2018	91	16	82
16-06-2018	89	14	84
17-06-2018	95	14	85
18-06-2018	86	13	86
19-06-2018	89	11	87
20-06-2018	92	11	88

الجدول رقم (5): فعالية إزالة النترات في مفاعل الـ SBR المدروس

تاريخ أخذ العينة	قيمة النتراتفي المياه الداخلة إلى المفاعل	قيمة النتراتفي المياه الخارجة من المفاعل	نسبة الإزالة
- - - - -	mg / *l*	mg / *l*	%
15-06-2018	33.51	23.65	29
16-06-2018	29.51	20.22	31
17-06-2018	37.22	24.36	34
18-06-2018	31.36	19.80	36
19-06-2018	28.53	16.76	41
20-06-2018	30.40	17.20	43

الجدول رقم (6): فعالية إزالة النتريت في مفاعل الـ SBR المدروس

تاريخ أخذ العينة	قيمة النتريتفي المياه الداخلة إلى المفاعل	قيمة النتريتفي المياه الخارجة من المفاعل	نسبة الإزالة
- - - - -	mg / *l*	mg / *l*	%
15-06-2018	0.52	0.31	40
16-06-2018	0.91	0.48	47
17-06-2018	0.89	0.45	49
18-06-2018	1.41	0.63	55
19-06-2018	0.74	0.22	66
20-06-2018	0.80	0.26	68

الجدول رقم (7): فعالية إزالة الفوسفور في مفاعل الـ SBR المدروس

تاريخ أخذ العينة	قيمة الفوسفورفي المياه الداخلة إلى المفاعل	قيمة الفوسفورفي المياه الخارجة من المفاعل	نسبة الإزالة
- - - - -	mg / *l*	mg / *l*	%
15-06-2018	3.05	2.65	13
16-06-2018	3.86	3.12	19
17-06-2018	3.39	2.68	21
18-06-2018	3.64	2.78	23
19-06-2018	3.25	2.43	25
20-06-2018	3.32	2.40	28

النتائج والمناقشة:

عند قراءة معطيات جداول نتائج الاختبارات التي أجريت على عينات المياه المعالجة المأخوذة من أعلى حوض المفاعل نجد أن كفاءة عمل المفاعل عموماً مقبولة على الرغم من أن قيم بعض البارامترات المسجلة في المياه المعالجة في المفاعل المدروس تتفق مع مواصفات مياه الري الزراعي، وقد يعزى ذلك إلى عدم توفر الظروف المثلى لعمل المفاعل المدروس في المخبر، ومن جهة أخرى قد تكون دورة التشغيل التي تم خلالها أخذ العينات غير كافية.
نشير أخيراً إلى أن انخفاض نسب الإزالة للنترات والفوسفات من المياه المعالجة يعزى إلى أن قيمها في المياه الخام كانت منخفضة نسبياً.

الاستنتاجات والتوصيات:

بالعودة إلى نتائج اختبار مفاعل الـ SBR المدروس على مياه صرف صحي مأخوذة من أحد مصبات شبكة الصرف الصحي لمدينة اللاذقية نجد أنه قد حقق فعالية جيدة، حيث كانت مواصفات المياه الخارجة من المفاعل محققة نسبياً للمواصفات الرئيسية المطلوبة لمياه الري الزراعي، وهنا يمكن أن نوصي بدراسة تشغيل المفاعل بأزمنة دورات مختلفة واختبار هكذا مفاعلات على مياه مأخوذة من مصبات أخرى من شبكة الصرف الصحي لمدينة اللاذقية والتي ستكون غالباً مختلفة بالمواصفات عن المياه المأخوذة من قبلنا للتأكد من فعالية هذه الطريقة عند شروط مغايرة لما تم اعتماده في هذا البحث، كما يفضل أن تشمل الاختبارات اللاحقة دراسة تأثير درجة حرارة المياه المعالجة على العملية برمتها.

References:

[1] V. S. Yakovlev, A. Ya. Karelen, U. M. Laskov, V. E.Kalitsoon.*Water Disposal and Wastewater Treatment*,Stroyizdat,(in Russian),Moscow, 1996.

[2] Metcalf and Eddy, Inc. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*.5th Edition, New York, McGraw Hill, 2014.

[3]W. Al-Rekabi, H. Qiany, and W. Qiany, Review on Sequencing Batch Reactors, *Pakistan Journal of Nutrition*, 6(1): 11 – 19, (2007).

[4] O. Alagha, A. Allazem, A. Bukhari& others, Suitability of SBR for Wastewater Treatment and Reuse: Pilot – Scale Reactor Operated in Different Anoxic Conditions, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17(5): 1 – 13, March (2020).

[5] R. Piotrowski, A. Paul, M. Lewandowski,Improving SBR Performance Alongside with Cost Reduction through Optimizing Biological Processes and Dissolved Oxygen Concentration Trajectory,*Faculty of Electrical and Control Engineering, Gdansk University, Poland*, 11/12, 80-233, 31 May (2019).

[6] Interstate Water Pollution Control Commission*, Sequencing Batch Reactors Design and operational Considerations*,New England, September 2005.

[7] Metropolia University of Applied Sciences,*Design for Wuhan Green Sewage Treatment Plant Using SBR Activated Sludge Process*, Helsinki 2017.

[8] T. L. Kirschenman, S. Hameed,*A Regulatory Guide to Sequencing Batch Reactors*,Presented at the 2nd International Symposium on Sequencing Batch Reactor Technology, Norbonne, France, 10 – 12 July (2000).

[9] K. Sivakumar, T. Alekhya, Sk. Samad Ahmad , Design of Sewage Treatment Plant by Using SBR Technologies in Narayana Engineering College, *UGC Car Group Journal*. India, Vol. 10, Issue No. 7, June (2020).

[10]C.K. Azeez, F. Y. Al-Jaber, S.A. Ahmed and A.A. Hussain, Sequencing batch reactor (SBR) technology in wastewatertreatment: A mini-review, *Muthanna Conference Engineering Science and Technology,*Al-Muthanna University, Iraq. (2022).

[11] A. Jakubaszek, A. Stadnik, Efficiency of Sewage Treatment Plants in the Sequential Batch Reactor, *Civil and Eviron. Eng. Rep*.University of Zielona Gora, Poland, 28(3): 121 – 131,(2018).

[12] S. Lochmatter, J. Msillard, C. Holliger,Nitrogen Removal Over Nitrite by Aeration Control in Aerobic Granular Sludge Sequencing Batch Reactors**.***Int. J. Environ. Res. Public Health,* Switzerland,(2014).

[13]P. A. Wilderer, R.L. Irvine, M. Gronszy,Sequencing Batch Reactors Technology**.** *Scientific and Technical Report No. 10;* IWA Publishing, UK, (2001).