مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد41 العدد(3) – 2025: 39-48

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 41 number (3) -2025: 39-48

دراسة عدة بارامترات للحمأة الناتجة عن المعالجة بطريقة الحوامل البيولوجية المتحركة(MBBR) لمعالجة مياه الصرف الصحي

اسد عصام محمود*[1] غسان الحداد[2] محمود حديد[3]

*[1]. مهندس – قسم الهندسة الصحية والبيئية –كلية الهندسة المدنية –جامعة دمشق.
assad1993mahmoud@damascusuniversity.edu.sy.

[2]. أستاذ مساعد، دكتور، مهندس – قسم الهندسة الصحية والبيئية –كلية الهندسة المدنية –جامعة دمشق.
Al-Haddad@damascusuniversity.edu.sy

[3]. أستاذ مساعد، دكتور، مهندس – قسم الهندسة الصحية والبيئية –كلية الهندسة المدنية –جامعة دمشق.
MahmoudHadeed@Damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

إنَّ محطة المعالجة لا تؤدي الغرض منها تأديةً كاملةً إلَّا إذا تمت معالجة الحمأة الناتجة عن معالجة مياه الصّرف إلى الحدّ الذي يسمح بالتخلص منها بشكل آمن بيئياً، إنَّ طبيعة وخواص الحمأة وطريقة معالجتها تتبع مباشرةً لعمليات المعالجة التي تخضع لها مياه الصرف الصحي التي أدَّت إلى تشكل الحمأة، إن التحديد الدقيق لخواص الحمأة هذه يساعد في تصميم حوض الترسيب الثانوي اللّاحق بشكل جيد كما أنه يشكل الأساس في تصميم وحدات معالجة الحمأة في كل محطة معالجة مياه صرف صحي، على الرغم من أهمية دراسة خصائص الحمأة الناتجة عن المعالجة بطريقة ال MBBR ماتزال المعلومات المتوفرة متفرقة وقليلة.

تتناول هذه الدراسة وصف خصائص الحمأة الناتجة عن المعالجة بطريقة الحوامل البيولوجية المتحركة، تم تشغيل محطة تجريبية تعمل بطريقة ال MBBR واستخدمت المكعبات الإسفنجية المصنوعة من البولي يورثان كحامل بيولوجي في حوض التهوية مع نسبة ملء 10%وزمن مكث هيدروليكي 14h، البارامترات التي استخدمت لتحديد خصائص الحمأة في المحطة التجريبية هي عمر الحمأة، دليل حجم الحمأة، إنتاج الحمأة، درجة استقرار الحمأة، خاصية انتزاع المياه من الحمأة. تبين من خلال الدراسة أن حمأة ال MBBR لها خواص ترسيب جيدة وإنتاج حمأة قليل، كما أن عمر الحمأة الطويل يؤدي إلى الاستقرار البيولوجي للحمأة الناتجة، قابلية تجفيف الحمأة الناتجة عن محطة ال MBBRمنخفضة بسبب الهضم الهوائي الحاصل.

الكلمات المفتاحية: حوض الحوامل البيولوجية المتحركة، الغشاء البيولوجي، إنتاج الحمأة، عمر الحمأة، درجة استقرار الحمأة، دليل حجم الحمأة، خاصية انتزاع المياه من الحمأة.

تاريخ الايداع: 2023/2/3
تاريخ القبول: 2023/3/6

حقــوق النشــر: جامعــة دمشــق –ســورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب CC BY-NC-SA

http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.pHp/index/index
ISSN (online): 2789-6854

Study few of parameters of sludge resulting from wastewater treatment by moving bed bioreactor (MBBR)

Assad Essam Mahmoud*[1] Ghassan Al-Haddad[2] Mahmoud Hadeed[3]

*[1]. Engineer in the Department of Sanitary and Environmental Engineering of Civil Engineering Faculty-Damascus University. assad1993mahmoud@damascusuniversity.edu.sy

[2]. Associated Professor in the Department of Sanitary and Environmental Engineering of Civil Engineering Faculty- Damascus University. Al-Haddad@damascusuniversity.edu.sy

[3]. Associated Professor in the Department of Sanitary and Environmental Engineering of Civil Engineering Faculty- Damascus University. MahmoudHadeed@Damascusuniversity.edu.sy

Received: 3/2/2023
Accepted: 6/3/2023

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Abstract:

The treatment plant does not fulfill its purpose fully unless the sludge resulting from wastewater treatment is treated to the extent that allows for environmentally safe disposal. The nature and properties of sludge and the method of treatment are directly related to the treatment processes that wastewater undergoes, which led to the formation of sludge.

Accurate determination of these sludge properties helps in designing the secondary sedimentation basin well and forms the basis for designing sludge treatment units in each wastewater treatment plant, despite the importance of studying the sludge properties resulting from treatment using the MBBR method, the available information is still sparse And a few.

This study deals with the description of the properties of sludge resulting from treatment by the MBBR method. A pilot MBBR plant was commissioned and polyurethane sponge cubes were used as a biological carrier with a filling percentage of 10% and a hydraulic residence time of 14h, the parameters that were used to determine the properties of sludge in the pilot plant are sludge retention time, sludge volume index, sludge production, sludge stability, sludge dewatering property. The study showed that the MBBR sludge has good sedimentation properties and low sludge production, and the long sludge retention time leads to the biological stability of the resulting sludge, the drying ability of the sludge generated by the MBBR plant is low due to the aerobic digestion obtained.

Keywords: Moving Bed Bioreactor, Biofilm, Sludge Retention Time, Sludge Volume Index, Sludge Production, Stability Indexes of Sludge, dewaterability of sludge.

المقدمة:

البكتريا والأحياء الدقيقة المسؤولة عن المعالجة (إزالة المواد العضوية والمغذيات) في أنظمة النمو المرتبط تكون ملتصقة على حوامل بيولوجية خاملة يمكن أن تكون البلاستيك، الحجارة، الرمل أو غيرها من المواد الصنعية، المواد العضوية والمغذيات تؤكسد وتمثل عن طريق البكتريا الملتصقة على الحوامل البيولوجية حيث تشكل الغشاء البيولوجي مثال على هذه المحطات هي طريقة ال (MBBR) [1].

بالسنوات الأخيرة كان هناك اهتمام متزايد في دراسة العمليات التي تعتمد على الغشاء البيولوجي في معالجة مياه الصرف المنزلية والصناعية ومنها طريقة الحوامل البيولوجية المتحركة (MBBR) بسبب حقيقة أن هذه المحطات توفر الحل الملائم لتلبية متطلبات النمو السكاني والصناعي المتسارع الذي يشهده العالم.

هناك أسباب عدة لكون أنظمة النمو المرتبط (MBBR) مفضلة على أنظمة النمو المعلّق (محطات الحمأة المنشطة) منها إمكانية العمل بتراكيز كبيرة للكتلة الحيوية في الحوض مما يسمح للحوض بالعمل تحت ظروف التحميل العالي ويكون أداء هذه المحطات أكثر استقراراً من حيث القدرة على تحمل التغير في حمولة الملوثات، درجة الحرارة، ووجود المواد السامة (التي تثبط عمل البكتيريا) في المياه الداخلة إلى حوض المعالجة [2]، فضلاً عن كونها تتطلب مساحة أقل والذي يعتبر أحياناً عامل أساسي عند إنشاء محطة المعالجة [3].

حمأة مياه الصرف تظهر تغيرات كبيرة في خصائصها بالاعتماد على المنشأ وطريقة المعالجة البيولوجية التي خضعت لها (طريقة الحمأة المنشطة، طريقة الحوامل البيولوجية المتحركة) [4]، على الرغم من أهمية دراسة خصائص الحمأة الناتجة عن المعالجة بطريقة ال MBBR ماتزال المعلومات المتوفرة متفرقة وقليلة.

فهم آلية عمل حوض ال MBBR والعوامل المؤثرة على إنتاج الحمأة في حوض ال MBBR وخصائص الحمأة الناتجة مهم جداً لتصميم حوض ال MBBR بالشكل الأمثل من أجل التطبيقات المختلفة لهذه الطريقة، إن دراسة خواص الحمأة الناتجة عن نظام ال MBBRيساعد على تصميم حوض الترسيب الثانوي اللّاحق بشكل جيد وبالتالي تحسين نوعية المياه المعالجة، وأيضاً يساعد على تحديد معطيات التصميم الأمثل لوحدات معالجة الحمأة.

1. الطريقة والمواد المستخدمة

أجريت الدراسة في محطة الدوير لمعالجة مياه الصرف الصحي بمدينة حمص باستخدام محطة معالجة تجريبية مبينة بالشكل رقم (1) تتكون المحطة التجريبية مما يلي:

1-خزان تجميع مياه الصرف المعالجة ميكانيكياً (أخذت المياه من مدخل حوض الترسيب الأولي للمحطة) سعته 50L.

2-حوض التهوية، أسطواني الشكل أبعاده D=20 cm (القطر)، H=33cm حيث الحجم الفعال للحوض V=10L، والحوض مزود بشبكة تهوية بالهواء المضغوط متوضعة في أسفل الحوض، استطاعة مضخة الهواء 4 l/min.

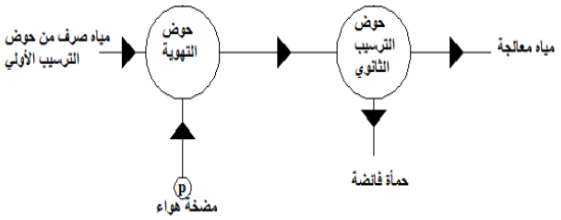
تدخل المياه إلى حوض التهوية بالإسالة من حوض التجميع وتخرج بالراحة إلى حوض الترسيب الثانوي.

3-حوض الترسيب الثانوي، أسطواني أبعاده D=20cm، H=30cm، وفيه قمع تجميع الحمأة ارتفاعه H=15cm، تنتقل المياه المعالجة المتجمعة على السطح إلى حوض المياه المعالجة.

5-حوض المياه المعالجة: يتم تجميع المياه المعالجة في هذا الحوض.

http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.pHp/index/index
ISSN (online): 2789-6854

الشكل رقم (1) المحطة التجريبية المستخدمة بإجراء التجارب



الشكل (2) المخطط التكنولوجي للمحطة التجريبية

في هذا البحث تم استخدام الإسفنج كحامل بيولوجي تنمو عليه الكتلة الحيوية، حيث تعتبر الحوامل البيولوجية المصنوعة من (البولي يورثان –الإسفنج) مناسبة بشكل جيد لعمليات النمو البيولوجي المرتبط (MBBR) بسبب متانتها الميكانيكية، ومساحتها السطحية العالية [5]، تم استخدام قطع الإسفنج بشكل مكعب طول حرفه 2cm، كثافة الإسفنج المستخدم 0.028g/cm3 مع نسبة ملء 10%، وزمن المكث الهيدروليكي 24h خلال فترة التأقلم عُدّل بعدها إلى14h.

تم قياس PH، COD، DO، SS لمياه الصرف المعالجة في مخبر محطة معالجة مياه الصرف الصحي في محطة الدوير، فعالية المعالجة المحققة في المحطة التجريبية هي 89.3% لل COD وال TSS.

سحبت عينات الحمأة من قمع حوض الترسيب الثانوي ثم تمّ إجراء تجربة ال SVI وفقاً للمواصفة D-2710من أجل تحديد خواص ترسيب الحمأة.

سحبت عينات الحمأة من قمع حوض الترسيب الثانوي ثم تم إجراء تجربة تحديد المادة الصلبة العالقة في الحمأة TSSوفق المواصفة D-2540، الراسب المجفف على الفلتر (من المواصفة D-2540) يحرق بدرجة حرارة 550º لمدة [15-20 min]، الراسب المفقود أثناء الحرق يمثل الجزء العضوي من المواد الصلبة العالقة الكلية الموجودة في الحمأة VSS، حيث تم اعتماد نسبة ال VSS/TSS كمؤشر على استقرار الحمأة [6].

من أجل تحديد المادة الصلبة الجافة في الحمأة DS% نأخذ عينات الحمأة من قمع حوض الترسيب الثانوي، أجريت التجربة وفق المواصفة 2540.G مع مراعاة أن العينة يجب أن تخضع للتّجفيف لمدّة 16h للتأكد من تخلصها من كامل الرطوبة، تم استخدام نسبة ال DS% كمؤشر على قابلية الحمأة للتجفيف.

كما تم حساب عمر الحمأة (SRT)من أجل تحديد تأثيره على الخواص الفيزيائية والبيولوجية للندف[8]، كما تم حساب إنتاج الحمأة النوعي(SPS) واليومي(SPd).

الشكل(3) الحامل الاسفنجي قبل نمو الكتلة الحيوية عليه

الشكل(4) الحامل الاسفنجي بعد نمو الكتلة الحيوية عليه

2. النتائج والمناقشة:

2.1. دليل حجم الحمأة (SVI):

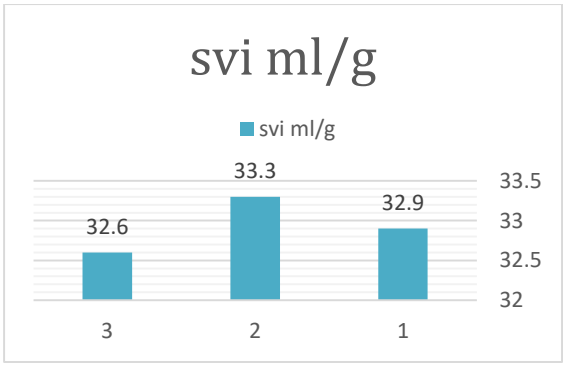
خصائص ترسيب الحمأة يتم تحديدها بالاعتماد على قيمة ال SVI (الحجم الذي تشغله واحدة الوزن أو الحجم الذي يشغله غرام من الحمأة).

الشكل (5) ترسيب عينة الحمأة لمدة 30min في عمود الترسيب

تظهر النتائج خواص ترسيب جيدة جداً للحمأة حيث أن قيمة ال SVI<50 ml/g، التحميل العضوي الحجمي VLR=0.346 gCOD/l.d وزمن المكث الهيدروليكي HRT=14h أدّيا إلى خواص الترسيب الجيدة، لأن التحميل العضوي المنخفض وزمن المكث الهيدروليكي الطويل يحسن خواص ترسيب الحمأة [7].

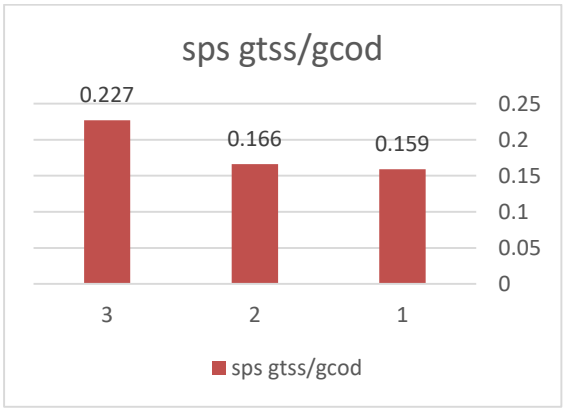
كما أن عمر الحمأة الطويل الذي تتميز به محطات النمو المرتبط يحسن خواص الترسيب فعند زيادة عمر الحمأة تزداد كثافة الندفة، أي أن قيم ال SVI تنخفض عند عمر الحمأة الطويل [8].

قيمة ال SVI في الحمأة الناتجة SVI=33ml/g تعني أن الحمأة مستقرة، لأن انخفاض ال SVIهو مؤشّر على استقرار الحمأة [4].

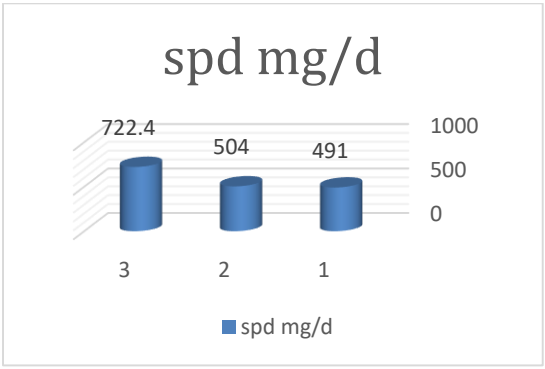


الشكل(6) خصائص ترسيب الحمأة الناتجة عن المعالجة بطريقة ال MBBR

2.2. إنتاج الحمأة:



الشكل (7) إنتاج الحمأة النوعي



الشكل(8) إنتاج الحمأة اليومي

العوامل التي تسبب إنتاج الحمأة القليل في محطة ال MBBR:

- التحميل العضوي المنخفض الداخل إلى حوض المعالجة يقلل إنتاج الحمأة حيث أن المياه المعالجة تعتبر مياه ذات شدة تلوث متوسطة.
- زمن المكث الهيدروليكي الطويل المستخدم HRT=14 h يسبب انخفاض إنتاج الحمأة لأنه يعزز النمو المرتبط على الحامل البيولوجي مما يقلل نسبة النمو المعلّق في الحوض [9].
- عمر الحمأة الطويل الذي تتصف به محطات ال MBBR يسبب انخفاض إنتاج الحمأة بسبب انخفاض القسم العضوي في الحمأة بفعل الاستقرار البيولوجي الحاصل.
- نسبة الملء العالية تقلل تركيز النمو المعلّق في الحوض حيث تكون معظم الكتلة الحيوية ملتصقة على الحوامل الإسفنجية وقسم قليل فقط ينفصل عن الحامل الإسفنجي وهذا يسبب قلّة إنتاج الحمأة في الحوض.
- بما أنه لا توجد دورة حمأة معادة في محطة ال MBBR فهذا يقلل التحميل العضوي والهيدروليكي الداخل إلى حوض الترسيب الثانوي وهذا يؤدي إلى تقليل الحجم اللّازم لحوض الترسيب الثانوي مقارنة بطريقة الحمأة المنشطة [10,11].

2.3. عمر الحمأة(SRT):

هو الزمن الوسطي لمكوث الحمأة في النظام أو فترة تجدد الحمأة، بسبب التركيز الكبير للكتلة الحيوية في حوض المعالجة وإنتاج الحمأة القليل فإنّ محطة ال MBBR لها عمر حمأة طويل.

تم حساب عمر الحمأة من العلاقة التالية [9]:

$$SRT = (No.of\ carries\ .(Tvss) + vAT.mlvssAT)/(Q.(vSS\ eff))$$

حيث:

$No.of\ carries$: عدد الحوامل البيولوجية في حوض التهوية

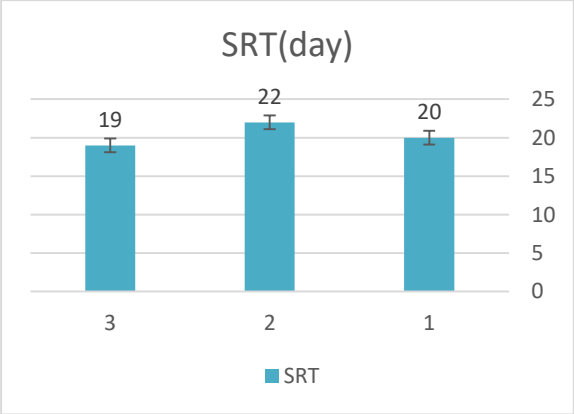
MLvss: وزن المادة العضوية (الحمأة) المرتبطة على الحامل البيولوجي (mg)

Q: معدل التدفق الخارج من الحوض (l/day)

TSS eff : تركيز المادة الصلبة العضوية في التدفق الخارج من الحوض. (mg/l)

V_{AT}: حجم حوض التهوية

$MLVSS_{AT}$: تركيز المادة الصلبة العضوية في حوض التهوية



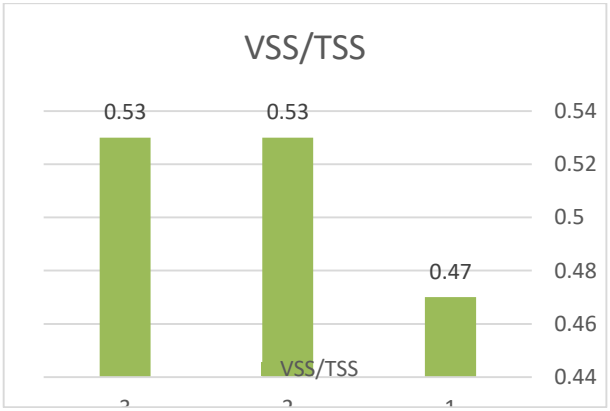
الشكل(9) عمر الحمأة في محطة ال MBBR

عمر الحمأة الطويل في محطة الMBBR التجريبية يؤدي إلى خواص ترسيب حمأة جيدة للحمأة الناتجة، لأنّ عمر الحمأة لا يؤثر فقط على أداء محطة المعالجة ولكنه يتحكم أيضاً بالخصائص الفيزيائية والبيولوجية للحمأة وبالتالي يؤثر على خواص ترسيب الندف [8]، قيم ال SVI المنخفضة التي تشير إلى خواص ترسيب جيدة تُلحظ عند عمر حمأة بين (8-20) يوم ولذلك يعتبر هذا المجال مناسباً لتصميم محطة الحمأة المنشطة عند عمر حمأة بين (16-20) يوم تكون بنية الندفة أكثر صلابة ومتانة منها عند عمر حمأة بين (4-9) أيام [12]. عمر الحمأة الناتجة لدينا في المحطة التجريبية(SRT= 21 d)هو مؤشر على أن الحمأة مستقرة. لأنّ الاستقرار الهوائي يتأثّر بشكل كبير بعمر الحمأة، عندما يكون عمر الحمأة بين [20-30]يوم فإنّ الحمأة تصبح غالباً مستقرة في حوض المعالجة، بينما في المحطات التي تتطلب عمر حمأة أقل من 10 أيام عملية معالجة لاحقة للحمأة يجب أن تتم [4].

2.4. درجة استقرار الحمأة:

يستخدم بارامتر الاستقرار البيولوجي كمؤشر لوصف نوعية الحمأة الناتجة عن نظام المعالجة البيولوجية عندما تكون الحمأة مستقرة بشكل جيد فإنّ التأثيرات السلبية على البيئة تكون قليلة، من أجل تحديد درجة الاستقرار البيولوجي للحمأة الناتجة عن المعالجة بطريقة ال MBBR، تم استخدام نسبة المادة الصلبة العضوية إلى المادة الصلبة الكلية VSS/ TSS كبارامتر رئيسي [13].

يختلف معدل هضم الحمأة حسب خصائصها (خصائص الحمأة تختلف حسب المنشأ وحسب نظام المعالجة الذي خضعت له حمأة منشطة أو mbbr)، الحمأة الناتجة عن نظام الحمأة المنشطة استغرقت 16 يوم لتحقيق الهضم الكامل (complete digestion) بينما استغرقت حمأة ال mbbr 9 أيام، نسبة ال mlvss/mlss في حمأة ال AS كانت (70%) قبل عملية الهضم وهذا يشير إلى أن الحمأة الناتجة غير مهضومة إلى حد كبير وهذا يؤدي إلى زمن الهضم الطويل، نسبة mlvss/mlss في حمأة ال mbbr كانت (44.7%) قبل عملية الهضم وهذا يشير إلى أن الحمأة مهضومة جزئياً [4].



الشكل(10) نسبة المادة الصلبة العضوية إلى المادة الصلبة الكلية

عندما تكون نسبة ال VSS/ TSS < 0.55 فإنّ الحمأة تعتبر مستقرة [14]، وبالتالي الحمأة الناتجة عن المعالجة في محطة ال MBBR التجريبية مستقرة بيولوجياً لأنّ نسبة ال VSS/ TSS = 0.51.

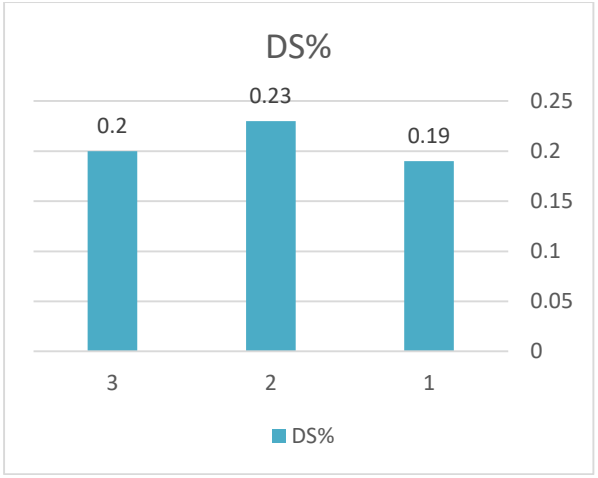
2.5. قابلية تجفيف الحمأة:

تجفيف الحمأة الناتجة عن محطة معالجة مياه الصرف الصحي هو جزء أساسي ومكلف في محطة المعالجة، خطوة التجفيف تقلل المحتوى المائي في الحمأة من 95% إلى 25- % [30] وهذا يقلّل الحجم النهائي للحمأة مما يسهّل عمليات معالجة ونقل وتخزين الحمأة.

اختبارات التجفيف لا غنى عنها لتحديد سهولة نزع المياه من الحمأة التي يكون محتوى الرطوبة فيها عال أكبر من 90%، اختبارات التجفيف يمكن أن تستخدم أيضاً لتقييم لزوجة الحمأة وذلك ضروري لتصميم منشآت التجفيف واختيار المعدات اللّازمة [15].

من أجل تحديد قابلية تجفيف الحمأة وسهولة نزع المياه منها تمّ استخدام بارامتر نسبة المادة الصلبة الجافة في الحمأة (DS%) [16].

عملية هضم الحمأة (سواء هضم هوائي أو لاهوائي) تنقص قابلية تجفيف الحمأة بشكل كبير عند مقارنتها بالحمأة الغير مهضومة؛ لأن الهضم ينقص حجم الندف وهذا ينقص قابلية التجفيف، والجزيئات الناعمة التي يتراوح حجمها بين 0.001- mm [0.1 لها التأثير الأكبر حيث تصبح الحمأة كتيمة [17].



الشكل(11) نسبة المادة الصلبة الجافة في الحمأة الناتجة عن حوض ال MBBR

نلاحظ من النتائج انخفاض قابلية تجفيف الحمأة الناتجة عن المعالجة في حوض ال MBBR، قيمة ال DS=0.21%، وهذا

يفسره الهضم الهوائي الحاصل في الحوض البيولوجي لأنه تقريباً 50% من المادة الصلبة العضوية تحولت إلى غاز خلال الهضم الهوائي(EPA,1989)، وبالتالي من الضروري أن تخضع الحمأة الناتجة عن المعالجة إلى خطوة تكثيف لاحقة لتزيد نسبة ال %DSثم تخضع لاحقاً للتجفيف في منشآت تجفيف الحمأة.

3. الخاتمة:

حمأة مياه الصرف تظهر تغيرات كبيرة في خصائصها بالاعتماد على المنشأ وطريقة المعالجة البيولوجية التي خضعت لها، في هذا البحث تم دراسة خواص الحمأة الناتجة عن المعالجة بطريقة الحوامل البيولوجية بسبب قلة المعلومات المتوفرة عن خصائصها.

شملت الدراسة توصيف لأهم خصائص حمأة ال MBBR وهي خواص الترسيب، إنتاج الحمأة، عمر الحمأة، قابلية تجفيف الحمأة، درجة استقرار الحمأة وهذا يعتبر ذا فائدة كبيرة كون المعلومات المتوفرة عن خواص الحمأة الناتجة عن المعالجة بطريقة الحوامل البيولوجية المتحركة (MBBR)قليلة ومتفرقة حيث أن الدراسة حددت الخصائص الأساسية للحمأة مجتمعة.

تحديد خصائص الحمأة الناتجة عن محطة الMBBR يساعد في تصميم حوض الترسيب الثانوي اللّاحق بشكل جيد كما يساعد في تحديد معطيات التصميم الأمثل لوحدات معالجة الحمأة.

تتصف حمأة ال MBBR بخواص ترسيب جيدة جداً حيث كانت قيمة ال SVI=33ml/g عند التحميل العضوي الحجمي VLR=0.346 gCOD/l.d وزمن المكث الهيدروليكي HRT=14h.

تتصف محطة الMBBR بإنتاج حمأة منخفض كما هو الحال في محطة الحمأة المنشطة ذات التهوية المديدة، إنتاج الحمأة النوعي SPS=0.184 gSS/gCOD وإنتاج الحمأة اليومي SPD= 0.572 g/d مما يقلّل من كلفة معالجة الحمأة اللّاحقة بشكل كبير.

أثبتت انظمة النمو المرتبط (MBBR) أن لها تأثير كبير على استقرار الحمأة كما هو الحال في محطات الحمأة المنشطة ذات التهوية المديدة بسبب عمر الحمأة الكبير، تتميز طريقة ال MBBR بعمر حمأة طويل SRT=20 d، وهذا يؤمن الوصول إلى الاستقرار الهوائي للحمأة حيث كانت نسبة: VSS/TSS=0.51 مما يعني أن الحمأة مستقرة بشكل جيد وتأثيراتها السلبية على البيئة قليلة.

قابلية تجفيف الحمأة منخفضة بسبب الهضم الهوائي الحاصل (DS=0.21%)وهي بحاجة إلى خطوة تكثيف لاحقة لتزيد نسبة ال DSثم تخضع لاحقاً للتجفيف في منشآت تجفيف الحمأة.

خواص الحمأة الناتجة عن محطة ال (MBBR) مشابهة لخواص الحمأة الناتجة عن محطة المعالجة ذات التهوية المديدة مما يعني أنه يمكن الحصول على فعالية إزالة وخواص حمأة جيدة باستخدام حوض صغير الحجم مما يقلل كلفة محطة المعالجة بشكل كبير.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل(501100020595).

9. Karizmeh, M. S., et al. (2014). "Investigation of settleability of biologically produced solids and biofilm morphology in moving bed bioreactors (MBBRs)." Bioprocess and 9iosystems engineering 37(9): 1839-1848

10. Kim BK, Chang D, Son DJ, Kim DW, Choi JK, Yeon HJ, Yoon CY, Fan Y, Lim SY, Hong KH (2011) Wastewater treatment in moving bed biofilm reactor operated by flow reversal intermittent aeration system. World Acad Sci Eng Technol 60:581–584.

11. Van Haandel, A. And J. Van Der Lubbe (2007). Handbook biological wastewater treatment-design and 9iosystems9n of activated sludge systems, Webshop Wastewater Handbook.
Environment International 143: 1059714.

12. Karizmeh, M. S. (2012). Investigation of biologically produced solids in moving bed bioreactor (MBBR) treatment systems, University of Ottawa (Canada).

13. Kazimierczak, Monika. (2012). Sewage sludge stabilization indicators in aerobic digestion – a review. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Land Reclamation.

14. Gong, L., et al. (2012). "Biomass characteristics and simultaneous nitrification–denitrification under long sludge retention time in an integrated reactor treating rural domestic sewage." Bioresource technology 119: 277-284.

15. N.F. Gray, Chapter 17 - Capillary Suction Time (CST), Editor(s): Steve Tarleton, Progress in Filtration and Separation, Academic Press, 2015, Pages 659-670.

16. Peng, G., Ye, F., & Li, Y. (2011). Comparative investigation of parameters for determining the dewaterability of activated sludge. Water environment research: a research publication of the Water Environment Federation, 83(7), 667–671.

17. Radaideh, Jamal & Ammary, Bashaar & Alzboon, Kamel. (2010). Dewaterability of sludge digested in extended aeration plants using conventional sand drying beds. African Journal of Biotechnology. 929. 4578-4583.

References:

1. Wang, Shuai & Parajuli, Sudeep & Sivalingam, Vasan & Bakke, Rune. (2019). Biofilm in Moving Bed Biofilm Process for Wastewater Treatment. 10.5772/intechopen.88520.

2. Advanced Biological Processes for Wastewater Treatment: Emerging, Consolidated Technologies and Introduction to Molecular Techniques 1st ed. 2018 Edition, Kindle Edition by Márcia Dezotti , Geraldo Lippel , João Paulo Bassin.

3. Metcalf & Eddy Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Tsuchihashi, R., & Stensel, H. D. (2013). Wastewater engineering: Treatment and resource recovery (5th Ed.). McGraw-Hill Professional.

4. Azizi, S., et al. (2018). "Evaluation of the Digestibility of Attached and Suspended Growth Sludge in an Aerobic Digester for a Small Community." Water 10(2): 161.

5. Removal of nutrients and organic pollutants from domestic wastewater treatment by Huynh Tan Hung, Nguyen T. Q.Sac, Tran Cong Bang, Nguyen Huynh KhanhTri, Tran QuangHiep, Nguyen Trung Kỳ, Nguyễn Minh Environmental Engineering Research, 2019.

6. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition Book by American Water Works Association/American Public Works Association/Water Environment Federation, 2017, Editors: E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eato.

7. Ødegaard, H. (2006). "Innovations in wastewater treatment:–the moving bed biofilm process." Water science and technology 53(9): 17-33.

8. Shao, Y., et al. (2020). "Sludge characteristics, system performance and microbial kinetics of ultra-short-SRT activated sludge processes."