



جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية
قسم الهندسة البيئية

اختيار التقنية الأفضل لمعالجة المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الألبان

□ دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة البيئية

إعداد

المهندسة وئام خبيصه

إشراف

الدكتور المهندس غسان درة الحداد

2013

كلمة شكر وتقدير

لم يكن ممكناً إنجاز هذا البحث لولا العقول النيرة التي تركت بصماتها عليه، وأعطت ما بوسعها لإتمامه، فالشكر كل الشكر لأعضاء الهيئة التدريسية في قسم الهندسة البيئية في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق.

كما أوجه الشكر العميق والامتنان لـ

الدكتور المهندس غسان درّة الحداد

والذي كان لتشجيعه وعنايته وحرصه وتوجيهاته الفضل الأكبر في إتمام هذا البحث وتحقيقه.

قائمة المحتويات

10	المقدمة	1.
10	معالجة المخلفات السائلة	1.1.
11	معالجة المخلفات السائلة الصناعية	1.2.
12	المخلفات السائلة الناتجة عن صناعة الأجبان	1.3.
13	الوضع الحالي للموارد المائية	1.4.
15	الوضع الحالي للزراعة	1.5.
15	التدهور البيئي	1.6.
16	تقنيات معالجة المخلفات السائلة في سورية	1.7.
17	أهداف البحث	1.8.
17	مبررات البحث	1.9.
18	خطة البحث	1.10.
20	صناعة الحليب ومشتقاته	2.
20	الحليب	2.1.
21	صناعة الأجبان	2.2.
23	استهلاك المياه	2.3.
23	المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الألبان	2.4.
24	صناعة الحليب ومشتقاته في سورية	2.5.
29	الأسس النظرية لمعالجة المخلفات السائلة الناتجة عن صناعة الأجبان	3.

29	المخلفات السائلة الناتجة عن صناعة الألبان	3.1
30	تقنيات معالجة المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الألبان	3.2
35	المعالجة الأولية	3.2.1.
35	التصفية	3.2.1.1
36	التوازن	3.2.1.2
37	التعديل (تعديل درجة الـ pH)	3.2.1.3.
38	المعالجة الفيزيائية والكيميائية	3.2.2.
38	التنظيف	3.2.2.1.
39	التعويم بالهواء المضغوط	3.2.2.2.
40	المعالجة البيولوجية	3.2.3.
41	الحمأة المنشطة - التهوية المديدة	3.2.3.1.
42	طريقة الحوامل البيولوجية المتحركة	3.2.3.2.
44	مميزات تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة	3.2.3.2.1.
45	الحوامل البيولوجية البلاستيكية	3.2.3.2.2.
48	نظام التهوية	3.2.3.2.3.
48	الترسيب	3.2.3.3.
49	إجراءات التحاليل	3.3
49	الأكسجين البيولوجي المحتاج	3.3.1
50	الأكسجين الكيميائي المحتاج	3.3.2

50	درجة الحموضة	3.3.3.
50	الأكسجين المنحل	3.3.4.
53	الدراسة التجريبية	4.
53	معالجة مصلى الجبن	4.1.
53	التحاليل المخبرية	4.2.
53	الأكسجين البيولوجي المحتاج BOD_5	4.2.1.
54	الأكسجين الكيميائي المحتاج COD	4.2.2.
55	درجة الحموضة pH	4.2.3.
56	الأكسجين المنحل DO	4.2.4.
56	مصلى الجبن - عينة الدراسة	4.3.
58	مواصفات مصلى الجبن	4.2.
60	الاختبارات العملية	4.4.
60	المحطة التجريبية لمعالجة مصلى الجبن	4.4.1.
65	تشغيل المحطة التجريبية	4.4.2.
65	المعالجة الأولية	4.4.2.1.
65	المعالجة الفيزيائية والكيميائية	4.4.2.2.
66	فعالية المعالجة الفيزيائية الكيميائية	4.4.2.3.
67	مناقشة نتائج المعالجة الفيزيائية والكيميائية	4.4.2.4.
67	المعالجة البيولوجية	4.4.2.5.

67	..... حوض التوازن .4.4.2.5.1	
68	..... حوض الحوامل البيولوجية المتحركة .4.4.2.5.2	
69	..... إقلاع وتشغيل حوض الحوامل البيولوجية المتحركة .4.4.2.5.3	
70	..... حوض الترسيب النهائي .4.4.2.5.4	
70	..... حوض المياه المعالجة .4.4.2.5.5	
70	..... فعالية المعالجة البيولوجية .4.4.2.6.	
71	..... مناقشة نتائج المعالجة البيولوجية .4.4.2.7	
74	..... تركيز الكتلة الحيوية <i>MLSS</i> في حوض الحوامل البيولوجية المتحركة .4.4.2.7.1	
74	..... المرود النظري والمرود الفعلي لحوض الحوامل البيولوجية المتحركة .4.4.2.7.2	
75	..... التحميل الحجمي العضوي لحوض الحوامل البيولوجية المتحركة .4.4.2.7.3	
76	..... المقارنة بين تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة وتقنية الحمأة المنشطة - التهوية المديدة .. 4.4.3.	
77	..... مردود محطة المعالجة التجريبية .4.4.4	
80	..... النتائج والتوصيات .5	
82	..... المراجع .6	

قائمة الجداول

- الجدول 1 التبخر واستعمالات المياه للموارد المائية في سورية (مليون م³) (MOI, 2010) 14
- الجدول 2 تركيب حليب البقر (Hui, 1993) 20
- الجدول 3 قيم COD و BOD₅ لبعض منتجات الألبان والأجبان القياسية 24
- الجدول 4 قيم الإنتاج الزراعي بالأسعار الجارية (مليون ليرة سورية) (CBS, 2011) 24
- الجدول 5 إنتاج الحليب ومشتقاته (CBS, 2011) 26
- الجدول 6 الطريقة التقليدية لإنتاج الألبان والأجبان في سورية (FAO, 1989) 26
- الجدول 7 طرائق المعالجة المقترحة للمخلفات الناتجة عن صناعة الأجبان (Gray, 2004) 31
- الجدول 8 كفاءة بعض التقنيات المستخدمة في معالجة المخلفات السائلة الناتج عن صناعة الألبان (Al Turkmani, 2007) 32
- الجدول 9 مواصفات الحوامل البيولوجية البلاستيكية (WEF, 2010) 46
- الجدول 10 مواصفات مصل الجبن المستخدم لتشغيل المحطة التجريبية 59
- الجدول 11 فعالية المعالجة الفيزيائية والكيميائية 67
- الجدول 12 فعالية المعالجة البيولوجية 71
- الجدول 13 مقارنة حجم حوض التهوية في تقنيتي الحوامل البيولوجية المتحركة والحماة المنشطة - التهوية المديدة 77
- الجدول 14 مردود المحطة التجريبية في معالجة مصل الجبن 78

قائمة الأشكال

- الشكل 1 معالجة المخلفات السائلة الصناعية..... 12
- الشكل 2 المراحل الأساسية لصناعة الجبن (Smith, 1995)..... 22
- الشكل 3 المراحل الأساسية لمعالجة المخلفات السائلة الناتجة عن صناعة الأجبان..... 30
- الشكل 4 مصفاة خشنة ميكانيكية التنظيف..... 36
- الشكل 5 نموذج حوض التوازن..... 37
- الشكل 6 نموذج حوض تعديل درجة الحموضة..... 38
- الشكل 7 نموذج حوض التعويم بالهواء المضغوط..... 40
- الشكل 8 نموذج لتقنية الحمأة المنشطة - التهوية المديدة..... 42
- الشكل 9 مخطط حوض الحوامل البيولوجية المتحركة..... 43
- الشكل 10 صورة تبين نمو الفيلم البيولوجي على الحوامل K1..... 44
- الشكل 11 نموذج حوض الترسيب..... 48
- الشكل 12 قياس الأكسجين البيولوجي المحتاج BOD5..... 54
- الشكل 13 قياس الأكسجين الكيميائي المحتاج COD..... 55
- الشكل 14 قياس درجة الحموضة pH..... 55
- الشكل 15 قياس الأكسجين المنحل DO..... 56
- الشكل 16 مخطط صناعة الجبن في الورشة التي أخذ منها المصل لتشغيل المحطة التجريبية..... 58
- الشكل 17 مصل الجبن المنتج في الورشة..... 60
- الشكل 18 صورة المحطة التجريبية (الحوامل البيولوجية المتحركة)..... 62
- الشكل 19 مخطط المحطة التجريبية (الحوامل البيولوجية المتحركة)..... 63
- الشكل 20 المخطط التكنولوجي للمحطة التجريبية (الحوامل البيولوجية المتحركة)..... 64
- الشكل 21 تحديد جرعات المواد المخثرة والمندفة اللازمة للمعالجة الكيميائية..... 66
- الشكل 22 الحوامل البيولوجية AnoxKaldnes™ K3..... 68

الشكل 23 تركيز BOD_5 و COD في المياه المعالجة بالنسبة للزمن..... 72

الشكل 24 فعالية المعالجة البيولوجية - تخفيض BOD_5 و COD..... 72

الشكل 25 عينات المياه المعالجة..... 73

اختيار التقنية الأفضل لمعالجة المخلفات السائلة الناجمة عن تصنيع الأجبان

يهدف البحث إلى اختيار التقنية الأفضل بين طريقتي المعالجة البيولوجية (طريقة الحوامل البيولوجية المتحركة وطريقة الحمأة المنشطة - التهوية المديدة) لمعالجة مياه الصرف الصناعي الناتجة عن صناعة الأجبان في سورية.

تم تشغيل محطة تجريبية لمعالجة مصل الأجبان الناتج عن صناعة الأجبان بالطريقة التقليدية.

تتلخص مراحل المعالجة كمايلي:

- معالجة أولية: تعديل درجة ال pH ،
- معالجة فيزيائية كيميائية: التعويم بالهواء المضغوط لإزالة الدهون والزيوت بالإضافة إلى تخفيض الحمل العضوي،
- معالجة بيولوجية: طريقة الحوامل البيولوجية المتحركة، وتتضمن حوض التهوية وحوض الترسيب النهائي اللاحق له.

اعتمدت قيمة ال COD, BOD₅ كمؤشرات أداء لقياس فعالية المعالجة.

أثبتت طريقة الحوامل البيولوجية المتحركة فعاليتها في معالجة مصل الأجبان بالإضافة إلى تخفيض COD بنسبة % 97.5 وتخفيض BOD₅ بنسبة % 98.7.

تمت مقارنة نتائج وفعالية المعالجة البيولوجية باستخدام طريقة الحوامل البيولوجية المتحركة نظرياً مع طريقة الحمأة المنشطة - التهوية المديدة. أظهرت المقارنة أن المعالجة البيولوجية بطريقة الحوامل البيولوجية المتحركة أكثر فعالية وأقل تأثيرات جانبية. إن طريقة الحوامل البيولوجية المتحركة تحقق توفيراً في حجم حوض التهوية يصل إلى % 80.

وفقاً لذلك، يوصى باعتماد تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة كبديل أفضل لمعالجة المصل الناتج عن صناعة الأجبان في سوريا.

الفصل الأول
المقدمة

1. المقدمة

1.1. معالجة المخلفات السائلة

إن مسألة معالجة المخلفات السائلة بكل أشكالها والتخلص منها أصبحت حاجة ملحة نتيجة النمو السكاني المترافق مع ازدياد الاحتياجات البشرية من حيث الموارد المائية النظيفة المتاحة بالإضافة إلى نمو الاحتياج البشري لمنتجات الألبان والأجبان حيث تحول هذا الإنتاج من مرحلة الاكتفاء الذاتي على المستوى المنزلي إلى التصنيع بهدف تزويد السوق المحلية باحتياجاته من منتجات الألبان والأجبان وصولاً إلى التصدير. بدأ التركيز على الإدارة الرشيدة للمخلفات السائلة وآليات التخلص منها بشكل أساسي بغرض التقليل من المخاطر الصحية وانتشار الأمراض التي تنقلها الحشرات والقوارض والتي تتجمع وتزداد بالقرب من البؤر الملوثة بمياه الصرف الناتجة عن صناعة الألبان. بقيت هذه الثقافة سائدة حتى وقت قريب حيث تم التوسع في نطاق إدارة المخلفات السائلة ليشمل المنعكسات السلبية الناتجة عن تلك المخلفات على نوعية الموارد المائية السطحية والجوفية.

تاريخياً، مع بداية نشوء التجمعات السكنية كان السكان مسؤولين عن كل من التزود بالمياه والتخلص من الفضلات. تمثلت عملية التخلص من المخلفات السائلة في استخدام الحفر الفنية والتي كان يتم تفريغها دورياً في المسطحات المائية القريبة من أنهار وبحيرات وبحار. لم تكن موضوعات معالجة النفايات السائلة وقدرة المجرى المائي على التنقية الذاتية مطروحة في ذلك الوقت حيث ساد الاعتقاد بأن صرف المخلفات السائلة في المياه الجارية لا يسبب تلوثها على اعتبار أن التنظيف الذاتي للنهر أو البحيرة يكفي للتعامل مع تلك المخلفات.

في مرحلة لاحقة، ومع النمو السكاني ونتيجة التطور الاجتماعي والوعي بالأخطار الصحية بدأ العمل على إنشاء شبكات الصرف الصحي لتجميع المخلفات السائلة وصرفها بعيداً عن التجمع السكاني إلى أقرب مجرى مائي، لكن إنشاء شبكات الصرف الصحي ساهم في زيادة كميات المخلفات السائلة والتي تطرح في البيئة دون معالجة بحيث بدأت تظهر تأثيراتها البيئية والصحية على مواقع الصرف وعلى التجمعات السكنية التي تنمو وتتوسع مقتربةً منها.

بدأ بناء محطات المعالجة ليعتمد في البداية على المعالجة الأولية فقط لتخليص المياه من بعض الملوثات قبل صرفها إلى المجرى المائي. تطورت تقنيات المعالجة ومراحلها في استجابة لتطور التشريعات السائدة حيث بدأ التركيز على المعالجة الثانوية لتخليص المياه من المواد العضوية ثم تطورت لتشمل محتوى المياه من النتروجين

والفوسفور. كما جاءت عملية المعالجة الثالثة ممثلة بعمليات الفلترية النهائية في استجابة للتشريعات الصارمة الحديثة. تتوافق تقنيات المعالجة الحديثة مع الأهداف المطلوبة منها مثل حماية البيئة والاستفادة من المياه المعالجة في رقد الموارد المائية التقليدية.

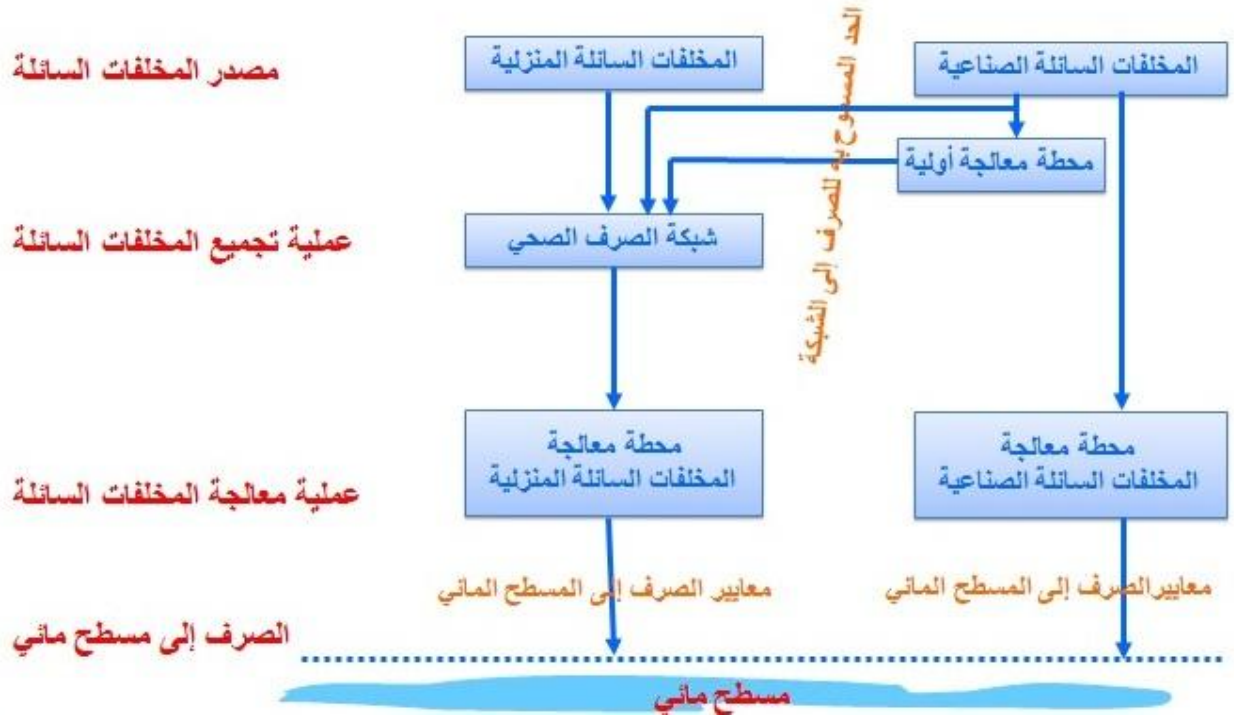
في المرحلة الأخيرة من هذا التطور، وبتيجة دراسات الحدود الاقتصادية وإدارة الموارد المائية، بدأ التركيز على إنشاء شبكات ومحطات معالجة منفصلة للفصل بين الصرف الصحي المنزلي والصرف الصناعي.

1.2. معالجة المخلفات السائلة الصناعية

تقوم الصناعات بصرف مخلفاتها السائلة إلى الموارد المائية القريبة أو إلى شبكات الصرف الصحي المنزلية إن وجدت وذلك ضمن خططها لخفض التكاليف الإنتاجية إلى أقصى حد ممكن بهدف زيادة الأرباح مما يدفعها للإحجام عن الإنفاق على معالجة مخلفاتها واتباع التدابير المناسبة للحد من التلوث.

إن زيادة الوعي البيئي بالآثار السلبية لصرف المخلفات الصناعية إلى البيئة، بالإضافة إلى الآثار التشغيلية والاقتصادية على شبكات الصرف الصحي وأنظمة معالجتها تستلزم الحد من هذه المخلفات وتطوير بدائل فعالة لمعالجة المخلفات الصناعية في مصدرها.

لتجنب المشاكل البيئية تم وضع القوانين والإجراءات المختلفة للحد من طرح الصناعات لمخلفاتها إلى البيئة قبل معالجتها وتخليصها من الملوثات الضارة بالبيئة وصحة الإنسان أو على الأقل خفض تراكيزها إلى الحدود المقبولة بيئياً. تحدد التشريعات الملزمة مواصفات المخلفات السائلة الصناعية المسموح بصرفها إلى الموارد المائية أو إلى شبكة الصرف الصحي. (انظر الشكل 1)



الشكل 1 معالجة المخلفات السائلة الصناعية

1.3. المخلفات السائلة الناتجة عن صناعة الأجبان

تعتبر صناعة الأجبان مصدراً مهماً من مصادر المياه الملوثة في العديد من البلدان بما فيها سورية. على الرغم من أن صناعة الأجبان لا تسبب مشاكل بيئية كبيرة بشكل مباشر، إلا أن صرف هذه المخلفات إلى البيئة المحيطة ينتج الكثير من الآثار البيئية نظراً لمحتواها العالي من المواد العضوية.

تقليدياً، كانت تتم إعادة مصّل الأجبان إلى المزارعين للاستفادة منه في تغذية الحيوانات، أو يرش على الأراضي الزراعية كسماد، أو تتم إضافته إلى الأعلاف منخفضة القيمة الغذائية. تتيح التطبيقات الحديثة الاستفادة من مصّل الألبان في إنتاج بعض المركبات ذات الأهمية الاقتصادية حيث يحتوي مصّل الحليب على لاكتوز وألومينات وغلوبولينات وأنزيمات وأملاح وفيتامينات بالإضافة للجزء المتبقي من الكازين والمواد الدسمة. يمكن الاستفادة من هذا المصّل كغذاء متكامل لما يحويه من مركبات ذات قيمة اقتصادية وغذائية وذلك بتكثيفه أو تجفيفه وإضافته إلى مختلف الصناعات الغذائية والمعجنات. كما يمكن الاستفادة منه كبيئة مغذية للنباتات الفطرية لإنتاج بعض المركبات مثل الحموض العضوية والبنسلينيات واستخلاص الأريستروول والحموض الأمينية. (Al Bahra et al., 2002)

حالياً، نتيجة تطور صناعة الألبان أصبح هذا النوع من الاستخدام غير مرغوب فيه أو غير متاح بشكل دائم كما أنه لا يشمل كامل المخلفات السائلة الناتجة عن عمليات التصنيع مما دعا إلى تطوير التقنيات اللازمة لمعالجة هذه المخلفات بما يضمن حماية البيئة ومنع التلوث.

1.4. الوضع الحالي للموارد المائية

تصنف سورية بحكم موقعها الجغرافي ضمن البلدان الجافة حيث يسود فيها المناخ المتوسطي الذي يتميز بشتاء بارد وماطر وصيف جاف وحر وطويل يفصل بينهما فصلان انتقاليان قصيران. تصل الفترة الجافة في سورية إلى سبعة أشهر وتتفاوت من الغرب على البحر المتوسط شرقاً باتجاه البادية. تتفاوت كميات الهطول المطري ما بين 100 مم في البادية إلى أكثر من 1000 مم في المناطق الساحلية. يعتبر ثلث مساحة سورية البالغة 180185 ألف كيلو متر مربع، أرضاً قابلة للزراعة وغابات، فيما يكون الباقي بادية وجبال صخرية.

أظهرت الموازنة المائية للعام 2010 في سورية أن متوسط الموارد المائية السطحية يقدر بحوالي 3425 مليون م³ سنوياً، وأن متوسط الموارد المائية الجوفية بما في ذلك البنايع يقدر بحوالي 8989 مليون م³ سنوياً. يقدر مجموع الموارد المائية التقليدية المتاحة بحوالي 16125 مليون م³ سنوياً. في حين يبلغ مجموع الموارد المائية المتاحة متضمنة الموارد المائية غير التقليدية مثل رواجع مياه الري ومياه الصرف الصحي والصناعي حوالي 18984 مليون م³ سنوياً. (MOI, 2010)

يبين الجدول 1 أن مجموع الموارد المائية السطحية والجوفية المستخدمة في الزراعات المرورية يبلغ 14300 مليون م³ سنوياً، وأن الكمية الإجمالية المستخدمة لأغراض الشرب والاستعمالات المنزلية تبلغ 1612 مليون م³ سنوياً. يقدر العجز المائي للعام 2010 بحوالي 670 مليون م³ سنوياً. (MOI, 2010)

تنخفض حصة الفرد في سورية من كميات المياه المتجددة على المستوى الوطني لتصل إلى قيم دون حد الفقر الافتراضي وهو 1000 م³ سنوياً حيث بلغت ما يقارب 737 م³ في عام 2008 – 2009 و تختلف حصة الفرد بين الأحواض لتصل في حوض بردى و الأعوج (منطقة عينة الدراسة) إلى 138 م³ في عام 2008 – 2009 وهي أدنى قيمة مما ينذر بكارثة صحية واجتماعية في ظل التدهور السريع لنوعية المياه نتيجة التلوث.

الجدول 1 التبخر واستعمالات المياه للموارد المائية في سورية (مليون م³) (MOI, 2010)

المجموع	الحوض الهيدرولوجي							استعمالات المياه
	البادية	اليرموك	بردى والأعوج	الساحل	العاصي	الفرات وحلب	دجلة والخابور	
7210	6	43	167	348	1247	4925	474	احتياج الري الزراعي من المياه السطحية
7089	109	206	539	91	803	1010	4331	احتياج الري الزراعي من المياه الجوفية
14299	115	249	706	439	2050	5935	4805	اجمالي احتياجات الري الزراعي
1612	47	125	301	168	314	526	131	احتياج الشرب والاستعمالات المنزلية
523	10	32	33	45	235	153	15	الاحتياج الصناعي
1880	9	21	0	16	124	1,660	50	فواقد التبخر
18314	181	427	1040	668	2723	8274	5001	المجموع

1.5. الوضع الحالي للزراعة

إن القطاع الزراعي هو المستهلك الأكبر للموارد المائية حيث تشكل مياه الري حوالي 78 % من الاستعمال الكلي للمياه مقارنةً مع مياه الشرب والمياه الصناعية اللتين لا تشكلان سوى 9 % و 3 % على الترتيب من إجمالي استخدام المياه. إن الطلب على المياه للأغراض الزراعية يطرح العديد من التحديات الاستراتيجية بما في ذلك الحاجة للحفاظ على الموارد المتاحة وتحقيق الأمن الغذائي. بالإضافة إلى ذلك، هناك توسع سنوي في مساحة الأراضي الزراعية المرورية نتيجة النمو السكاني وزيادة الطلب على المنتجات الزراعية، والذي يزيد بدوره الطلب على مياه الري.

نتيجةً لزيادة الضغط على الموارد المائية وخاصة الموارد غير التقليدية، يجب التركيز على الإدارة المستدامة للموارد المائية في القطاعات المختلفة. تشمل الموارد المائية غير التقليدية مياه الصرف الصحي والصناعي المعالجة ورواجع مياه الري.

يمكن اعتبار المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الألبان أحد الموارد المائية غير التقليدية حيث تقدر كمية المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الأجبان للعام 2010 بحوالي 1.5 مليون م³ سنوياً على اعتبار أن كمية المخلفات السائلة الناتجة عن عملية التصنيع تساوي تقريباً كمية الحليب المصنع في الورشة. تعتبر هذه الكمية على الرغم من ضآلتها مصدراً فعالاً لمياه الري خصوصاً أن مواقع مصانع الألبان غالباً ما تكون بالقرب من أراضي المراعي بالإضافة إلى التخلص من أحد بؤر التلوث شديدة التركيز حيث تبلغ قيمة BOD₅ لهذه المخلفات حوالي (22680 mg/l).

1.6. التدهور البيئي

تؤدي الضغوط السكانية وأنماط الاستهلاك والإحاح المتزايد لمتطلبات الحياة التنموية إلى قصر النظر في استغلال الموارد البيئية الطبيعية ومآلها إلى التلف والتدهور، وقد يرجع هذا إلى أسباب كثيرة منها فشل بعض السياسات الخاصة بتسعير الموارد الطبيعية وفشل الأسواق التي لا تعتبر تكاليف استخدام الأصول البيئية ضمن تكلفة الإنتاج مما يؤدي لاستنزاف الموارد الطبيعية واستخدام البيئة كمستودع للنفايات (مياه الأنهار والبحار، وتلوث الهواء والتربة). (Al Neesh, 1999)

تقدر كلفة التدهور البيئي في سورية بحوالي (1.8 - 3.5 %) من الناتج المحلي الإجمالي سنوياً. تشير دراسة صادرة عن وزارة الدولة لشؤون البيئة في العام 2010 إلى أن كلفة التدهور البيئي في سورية من الناتج المحلي الإجمالي وبالاستناد إلى أرقام عام 2007 بتقديرات متوسطة بلغت نحو 45.6 مليار ليرة

سورية سنوياً، أي ما يعادل % 2.4 من الناتج المحلي الإجمالي. بلغت كلفة الأضرار الإجمالية الناتجة عن قطاع النفايات % 0.14 أي ما يعادل 2.7 مليار ليرة سورية علماً أن هذه الأرقام تقريبية.

1.7. تقنيات معالجة المخلفات السائلة في سورية

تؤثر العديد من العوامل في تصميم محطات المعالجة وتتضمن عوامل التقييم أهداف المعالجة ووثوقية العملية وتعقيد التشغيل وقيود الموقع وتأثير المجتمع والاستمرارية. إن معالجة مياه الأجبان باستخدام تقنيات المعالجة التقليدية مكلف جداً ويتطلب طاقة كبيرة خصوصاً للتهوية نتيجة الحمل العضوي عالي التركيز ومصادر الملوثات المتغيرة.

قبل اختيار أي تقنية معالجة يجب إجراء تقييم مفصل ودراسة جدوى بالإضافة إلى التحليل الاقتصادي وتقييم الأثر البيئي. إن دراسة الجدوى يجب أن تأخذ بعين الاعتبار الكلفة الكلية لدورة حياة البديل الذي تم اختياره والمتضمنة كلفة الإنشاء والتشغيل والصيانة والتوافق مع الأنظمة وتعقيد الإنشاء والتشغيل واحتياج المساحة واليد العاملة والمرونة لزيادة الاستطاعة وتغيير الموقع.

في سورية، تستعمل طرائق المعالجة التقليدية في معالجة الصرف الصحي البلدي والصناعي حيث يتم استخدام تقنية الحمأة المنشطة - التهوية المديدة في أكثر من % 98 من الحالات بصرف النظر عن المتطلبات الخاصة للمشاريع. تشمل مساوئ استخدام تقنية الحمأة المنشطة المديدة مايلي:

- مناسبة لأحجام تصل إلى حوالي 100,000 شخص أما للأحجام الكبيرة والتراكيز العالية فهي ليست فعالة اقتصادياً. (ATV – DVWK – A131, 2000)
- حجم حوض التهوية أكبر بحوالي ثلاث إلى ست مرات من حجمه في محطة الحمأة المنشطة التقليدية.
- قد يحدث انتفاخ الحمأة نتيجة عمر الحمأة الطويل والذي يؤدي لخواص سيئة من حيث الترسب.
- قد تتشكل رغوة في حوض التهوية بسبب غياب أحواض الترسيب الأولي وعمر الحمأة الطويل وانخفاض نسبة F/M.
- تتطلب كلفة تشغيل وصيانة عالية خصوصاً مضخات الهواء لحوض التهوية. (Al Turkmani, 2009)

1.8. أهداف البحث

يهدف البحث إلى دراسة تقنيات معالجة المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الأجبان مما يسهم في الحد من الآثار البيئية الناتجة عن صرفها إلى البيئة دون معالجة نظراً لمحتواها العالي من المواد العضوية. كما يقوم البحث على المقارنة بين أحد التقنيات الحديثة في المعالجة وهي الحوامل البيولوجية المتحركة وبين أحد التقنيات التقليدية وهي تقنية الحمأة المنشطة - التهوية المديدة لتحديد البديل الأفضل لاعتماده في عمليات المعالجة.

1.9. مبررات البحث

يؤدي طرح المخلفات السائلة الناتجة عن مصانع الأجبان غير المعالجة إلى الأراضي والمسطحات المائية إلى تدهور النظم البيئية للأهوار والبحيرات والمياه الجوفية وخروجها من دائرة الاستثمار المفيد بالإضافة إلى الأضرار الصحية نتيجة المحتوى العالي لهذه المخلفات بـ BOD و COD والنترات والفوسفات والمواد الصلبة العالقة والمنحلة .

يسبب استخدام هذه المخلفات في الري دون معالجة أو صرفها إلى أراضي الغابات والمراعي المجاورة تعفن المواد العضوية على سطح التربة وإطلاق الروائح الكريهة والغازات الضارة كما تصبح بيئة مناسبة لنمو الميكروبات والجراثيم وانتشار الأمراض مما يمثل تهديداً للصحة العامة.

يؤثر صرف هذه المخلفات دون معالجة إلى المسطحات المائية في جودة المياه في هذه المسطحات كما يؤثر في التنوع الحيوي البيئي حيث يجب مراعاة المحافظة على كمية مياه مناسبة بحيث يستطيع المسطح المائي الاستمرار في القيام بدوره من خلال أنظمتها البيئية وتحقيق الاستثمار المستدام.

تقوم درجة pH المنخفضة للمخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الأجبان والتي تتراوح بين 4 - 5 بدور كبير في التأثير في المصادر المائية في منطقة المصب، حيث تفسد الحموضة الزائدة جودة المياه بيئياً وتمنع إمكانية الحياة المائية كما تحد من صلاحية هذه المياه للاستخدامات البشرية والاقتصادية حيث تتطلب مواصفات جودة المياه أن لا تغير المخلفات السائلة قيم pH للمسطحات المائية بأكثر من درجتين حيث تعتبر القيمة الأسوأ المقبولة لحموضة المسطحات المائية 6. (MOEA, 2011)

تعد نسبة الأكسجين المنحل العامل الأهم والأكثر حسماً في تحديد جودة المياه وتوصيف الوضع الصحي للنظام المائي في حين تظهر العلاقة العكسية بين BOD و DO الدور الذي يلعبه صرف مخلفات صناعة الأجبان ذات الحمل العضوي المرتفع إلى المسطحات المائية. يعتبر الحد الأسوأ الذي يمكن

القبول به لقيمة BOD في المسطحات المائية هو (30 mg/l) ، في حين أن الحد الأسوأ الذي يمكن
القبول به لقيمة COD هو (75 mg/l). (MOEA, 2011).

تحتاج كمية المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الألبان للعام 2010 والتي بلغت حوالي 1.5
مليون م³ وتحتوي ما يقارب 34000 طن من BOD إلى التمديد بحوالي 1100 مليون م³ من الماء
العذب لتصبح ضمن الحدود المقبولة التي تحافظ على جودة المسطحات المائية.

إن الصرف المفاجئ لحمل عضوي مرتفع إلى شبكة الصرف الصحي يسبب قصوراً في أداء محطات
المعالجة البلدية حيث تشير التقديرات إلى أن (50 kg) من مصل الجبن تعادل كمية مياه الصرف الصحي
الناتج عن 22 شخصاً باليوم. إن (50 kg) من المصل والتي تعادل حوالي 48.5 لتر تحوي حملاً عضوياً
يقدر بـ (2 kg) من BOD₅ إذا قدرنا الحمل العضوي BOD₅ لهذه الفضلات بحوالي (22680
mg/l) والتي تعادل الفضلات الناتجة عن 22 شخصاً باليوم على اعتبار أن الـ BOD الناتج عن
الشخص يومياً هو (50 g). وفقاً لذلك، يتطلب معمل تصنيع الألبان والذي ينتج (50,000 kg)
من مصل الجبن باليوم محطة معالجة بنفس الحجم الذي تتطلبه مدينة عدد سكانها 22000 نسمة. تظهر
هذه التقديرات بوضوح أن صرف المخلفات الصناعية الناتجة عن تصنيع الألبان إلى محطات الصرف
الصحي البلدية يستلزم كلفة عالية وعمليات معالجة معقدة. (Gillies, 1974)

تعادل كمية المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الألبان في سورية والتي قدرت بحوالي 1.5 مليون
م³ للعام 2010 كمية الصرف الناتج عن مدينة عدد سكانها 1.86 مليون نسمة لمدة عام.

1.10 خطة البحث

تم إجراء العمل على أربع مراحل:

- المرحلة الأولى: دراسة نظرية لصناعة الألبان والتقنيات المستخدمة لمعالجة المخلفات السائلة الناتجة عنها.
- المرحلة الثانية: تحديد مواصفات المخلفات السائلة (مصل الجبن) المراد معالجته.
- المرحلة الثالثة: تصميم وتشغيل محطة تجريبية لمعالجة المخلفات السائلة بحيث تتم المعالجة البيولوجية بتقنية الحوامل البيولوجية المتحركة وتحديد فعالية تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة ومردود المعالجة.
- المرحلة الرابعة: مقارنة فعالية ومردود المعالجة البيولوجية بطريقة الحوامل البيولوجية المتحركة نظرياً مع طريقة الحمأة المنشطة - التهوية المديدة واختيار البديل الأفضل واستخلاص النتائج والتوصيات.

الفصل الثاني
صناعة الألبان

2. صناعة الحليب ومشتقاته

تتميز صناعة الحليب ومشتقاته بتعدد المنتجات وخطوط الإنتاج إضافةً إلى الخدمات والوحدات المساعدة والتي تستهلك المياه والطاقة كما تتضمن العمليات المرافقة مثل الصيانة والتخزين والتعليب والاختبار والتحليل المطلوبة. نتيجة حساسية الحليب ومنتجاته للتلوث الميكروبي يتم اختيار جميع المعدات بحيث تكون سهلة التنظيف والتعقيم.

2.1. الحليب

استخدم حليب الحيوانات الداجنة من قبل البشر للتغذية منذ حوالي 8000 عام قبل الميلاد وتطور هذا الاستخدام مع الزمن حيث يتم حالياً إنتاج آلاف الأنواع من منتجات الألبان والأجبان في العالم. الحليب هو سائل معقد جداً يتألف من أكثر من 100 ألف جزيء مختلف. يشمل تركيب الحليب الإجمالي الدهون والبروتينات واللاكتوز والرماد بالإضافة للمواد الصلبة. يبين الجدول 2 تركيب حليب البقر.

الجدول 2 تركيب حليب البقر (Hui, 1993)

المركبات	النسبة	ملاحظات
الماء	86.7 %	يوجد الماء بشكله الحر والمرتبط
المواد الدسمة	4.1 %	تكون المواد الدسمة موجودة على شكل لبيدات بسيطة أو معقدة، اللبيدات البسيطة عبارة عن ثلاثة أحماض دسمة مع الغليسول تشكل أسترات الأحماض الدسمة
البروتينات	3.6 %	تشمل المواد الآزوتية غير البروتينية والبروتينات
اللاكتوز	4.9 %	تشمل اللاكتوز (سكر الحليب) وسكريات آزوتية وحمضية

المركبات	النسبة	ملاحظات
المعادن	0.7 %	
الفيتامينات		تضم B و C بشكل ذائب في الماء بنسب ضئيلة أما A,D,E,K فتوجد ذائبة في المادة الدسمة
الغازات		تضم CO ₂ , N ₂ , O ₂ وهي تسبب فوران الحليب وتشكل الرغوة

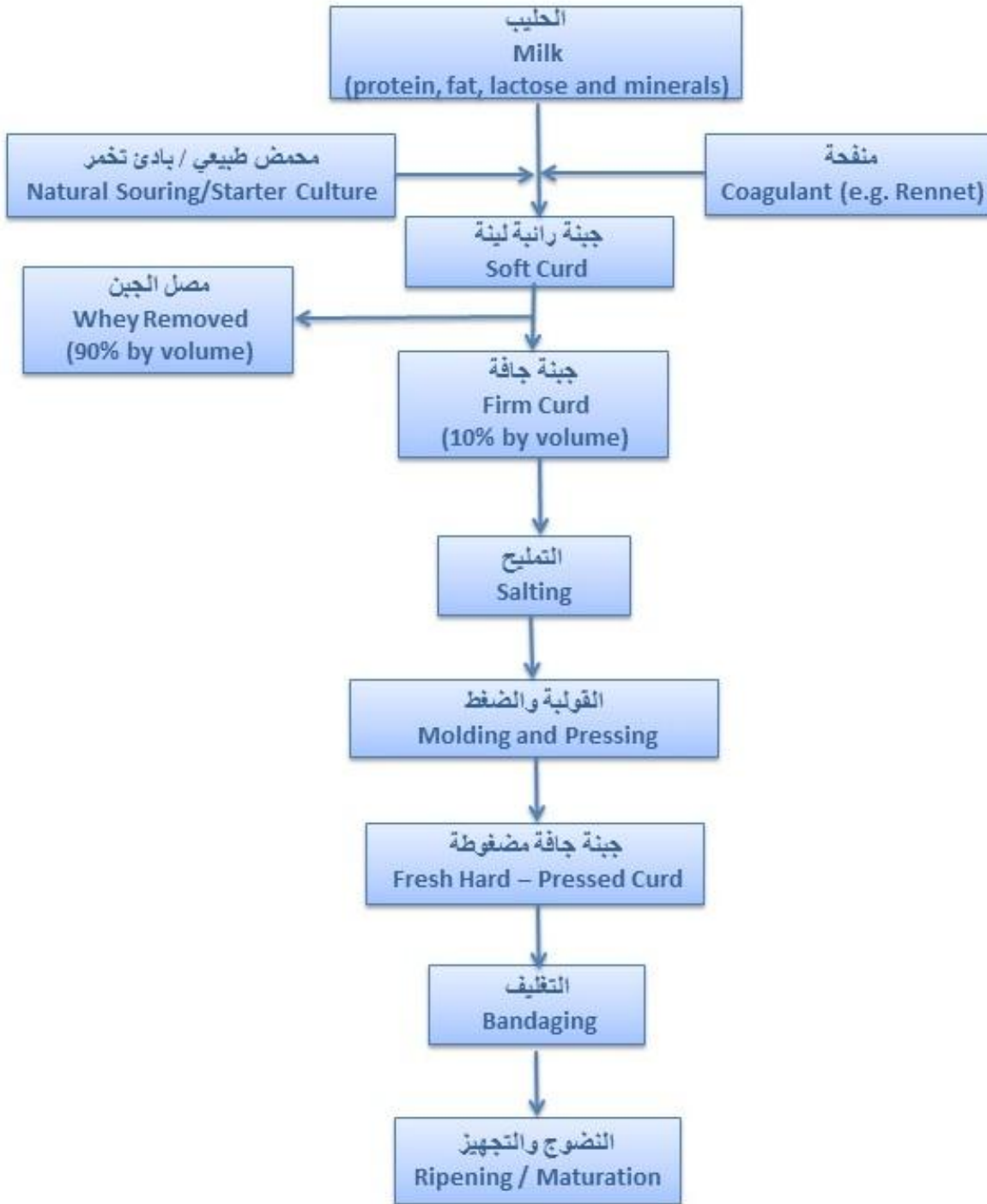
يتم إنتاج الحليب ومشتقاته كما يلي:

- إنتاج الحليب في المزارع واستهلاكه كحليب طازج.
- إعداد مجموعة متنوعة من منتجات الألبان مثل الزبدة والجبن والحليب المجفف.

2.2. صناعة الأجبان

يعد الجبن واحداً من أقدم المنتجات الغذائية وتشمل صناعة الأجبان مجموعة كبيرة من المنتجات المختلفة. على نطاق عالمي، يستخدم حوالي 30 % من الحليب المنتج في صناعة الأجبان. (Fox and Mc Sweeney, 1993)

إن صناعة الجبن هي عملية تركيز، حيث يتم تركيز الدسم والكازين الجبن حوالي عشرة أضعاف في حين يتم إزالة باقي البروتينات واللاكتوز والأملاح القابلة للذوبان على شكل مصل الجبن. تشمل عملية تحويل الحليب إلى الجبن خمس خطوات عادةً وهي: التخثير، التحميض، استخراج المصل، القولية والتعليق. يظهر الشكل 2 الخطوات الأساسية لصناعة الأجبان.



الشكل 2 المراحل الأساسية لصناعة الجبن (Smith, 1995)

2.3. استهلاك المياه

يستخدم الماء في صناعة الأجبان لتنظيف المعدات ومنطقة العمل والحفاظ على الشروط الصحية المناسبة. تختلف معدلات استهلاك المياه بحسب حجم المعمل وعمره وتقنيات التصنيع. يقدر استهلاك المياه النموذجي في معمل صناعة أجبان ذي كفاءة مقبولة بحوالي 1.3 – 1.2 لتر من الماء لكل كيلوغرام من الحليب المنتج. (UNEP, 2002)

2.4. المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الألبان

يعتمد حجم وتركيز ومكونات المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الألبان والأجبان على نوعية المنتجات المصنعة وخطوط الإنتاج وتقنية التصنيع وبرامج إدارة المياه وحماية البيئة.

تقسم المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الألبان إلى ثلاث فئات رئيسية:

- المياه المرافقة لعمليات الإنتاج: وتشمل المياه المستخدمة في توفير الغلايات وأبراج التبريد ومياه الغسيل العكسي للفلاتر.
- مياه التنظيف: وتنتج من تنظيف المعدات الملوثة بالحليب ومنتجاته كما تشمل الحليب التالف والمرتج والفواقد والانسكابات في أثناء استلام الحليب أو خلال عمليات الإنتاج، مصلى الأجبان والألبان الناتج عن عملية التخثير، والمحاليل الملحية، والمياه الناتجة عن تنظيف أدوات الإنتاج.
- مياه الصرف الصحي الناتجة عن العمال.

يركز البحث على معالجة المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الأجبان والمثلة بمصل اللبن المركز دون خلطه بأنواع المخلفات الأخرى.

تحتوي المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الأجبان سكريات منحلّة وبروتينات ودهون وبعض المواد المضافة المتبقية. يظهر الجدول 3 قيم الأكسجين الكيميائي المحتاج COD والأكسجين البيولوجي المحتاج BOD₅ لبعض منتجات الألبان والأجبان القياسية.

الجدول 3 قيم COD و BOD₅ لبعض منتجات الألبان والأجبان القياسية

(Wang et al., 2004)

المنتج	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)
الحليب	11400	183000
الحليب المقشوط	90000	147000
زبدة الحليب	61000	134000
القشطة	400000	750000
الحليب المجفف	271000	378000
المصل	42000	65000

2.5. صناعة الحليب ومشتقاته في سورية

يؤثر قطاع الثروة الحيوانية بشكل كبير في نمو الاقتصاد السوري حيث يشكل إنتاج الحليب ومشتقاته حوالي 47% من إجمالي الإنتاج الحيواني وحوالي 18% من إجمالي الإنتاج الزراعي (انظر الجدول 4). كما يشغل جزءاً كبيراً من قوة العمل في سورية بما في ذلك العديد من الأسر ذات الدخل المنخفض في المناطق الريفية.

الجدول 4 قيم الإنتاج الزراعي بالأسعار الجارية (مليون ليرة سورية) (CBS, 2011)

السنة	الإنتاج النباتي	الإنتاج الحيواني	الإنتاج الزراعي	الحليب ومشتقاته
2006	345776.3	182689.3	528465.6	77321.4
2007	341735	224083.8	565818.8	100980.6
2008	402638.6	250525.6	653164.2	124117.8

السنة	الإنتاج النباتي	الإنتاج الحيواني	الإنتاج الزراعي	الحليب ومشتقاته
2009	486570.8	295636.4	782207.2	141989.5
2010	468821.9	297333.6	766155.5	139777.2

تتميز صناعة الحليب ومشتقاته في سورية بالأهمية الاقتصادية للقطاع الخاص حيث يتم تصنيع جزء كبير من الحليب المنتج في ورشات صناعة الجبن التقليدية الصغيرة، كما يباع جزء من الحليب مباشرة للمستهلكين أو يستهلك من قبل الأسرة المنتجة. تشمل منتجات الألبان الرئيسية في سورية والمنتجة في القطاعين العام والخاص:

- الحليب المبستر.
 - الحليب المعقم.
 - اللبن (عادي و منكه).
 - اللبنة (عادية ومنكهة).
 - القشطة (المعلبة ، المعقمة، قصيرة المدة).
 - حلويات الألبان (جاهزة للأكل).
 - الحليب المكثف (المحلى، المركز، المجفف).
 - الحليب المجفف.
 - السمن.
 - الزبدة.
 - الجبن (بجميع أشكاله الأبيض والطبيعي). (Al Turkmani, 2007)
- يبين الجدول 5 الإنتاج السنوي من الحليب والجبن ومشتقاته في سورية.

الجدول 5 إنتاج الحليب ومشتقاته (CBS, 2011)

السنة	إجمالي الحليب (ألف طن)	الحليب المستهلك طازج (ألف طن)	الحليب المصنع (ألف طن)	السمن (طن)	الجبن (طن)	الزبدة (طن)
2006	2535	825	1710	17915	136812	10654
2007	2680	958	1722	17298	144076	10500
2008	2452	838	1614	14485	128527	10074
2009	2409	852	1557	14661	121239	9899
2010	2241	737	1504	14105	115551	9005

يتم صنع منتجات الألبان والأجبان باستخدام الطرائق التقليدية من قبل المزارعين وأصحاب الورشات الصغيرة. يعرض الجدول 6 الطرائق التقليدية في إنتاج الألبان.

الجدول 6 الطريقة التقليدية لإنتاج الألبان والأجبان في سورية (FAO, 1989)

المنتج	طريقة التصنيع
اللبن	يتم تسخين الحليب إلى حوالي (80 °C) ومن ثم يتم تبريده إلى نحو (37 - 40 °C) ، ثم يتم إضافة بادئ تخمر وهو لبن مصنع في مرة سابقة. تتم تغطية حاوية الحليب بأغطية صوفية للحفاظ على درجة حرارة ثابتة ولمدة لا تقل عن أربع ساعات. بعد التخمير يحفظ اللبن لحين الاستعمال.
اللبنة (اللبن المصفى)	يمكن أن يوصف باللبن ذي محتوى المياه المنخفض، وهو يملك خصائص كل من الجبن واللبن. تقدر كمية المادة الجافة بحوالي (18 - 20 %).

المنتج	طريقة التصنيع
الشنينة	يحضر هذا المنتج بجز اللبن في وعاء خاص مصنوع من جلد الخراف المسلوخ ويتميز بطعم حامض ورائحة قوية جداً.
الشنكليش	يصنع من اللبن وهو يعتبر نوعاً من الحليب المخمر لكنه يتميز بأن كمية المادة الجافة فيه تكون أعلى وتقدر بحوالي (50 - 45%). تضاف التوابل لإعطائه الطعم المميز كما يمكن إضافة الفلفل أيضاً.
الجبين	يصنع الجبين في سوريا منذ عدة قرون. تنتج جميع الأجبان تقريباً بنفس الطريقة لكن تختلف الخطوة النهائية التي تعطي الجبين شكله النهائي من نوع لآخر. يعتبر أهم أنواع الجبين المنتج الجبنة البلدية أو البيضاء وهي ذات شكل مربع ولون أبيض. بالإضافة للأنواع الأخرى من الجبين مثل العكاوي، الشلل، الحلوم و الناعمة.
القريشة	وهي جبين حلو الطعم ينتج بإضافة الحمض إلى مصل الحليب المغلي.

الفصل الثالث

الأسس النظرية لمعالجة المخلفات
السائلة الناتجة عن تصنيع الأجبان

3. الأسس النظرية لمعالجة المخلفات السائلة الناتجة عن صناعة الأجبان

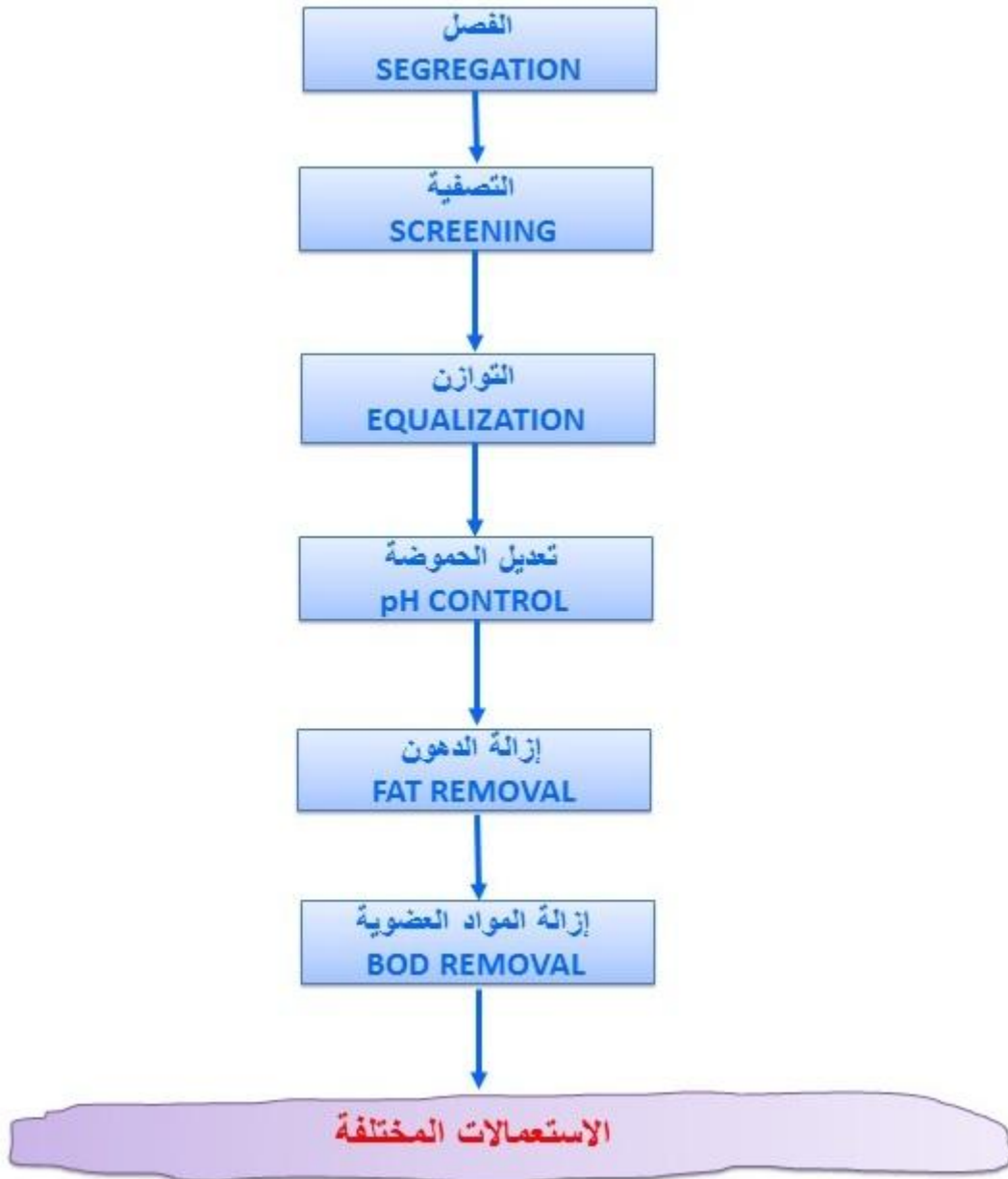
إن معالجة مياه الصرف الصحي أو الصناعي هي إخضاع هذه المياه لمجموعة من العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية لتحقيق المردود المطلوب من المعالجة والذي يتوافق مع الهدف منها سواء بإعادة استخدامها في الري أو صرفها إلى مسطح مائي أو إلى شبكة الصرف الصحي وبما يتوافق مع المواصفات والمعايير لكل من هذه الحالات. يمكن إعادة استعمال المياه المعالجة في تطبيقات متعددة مثل مياه الري ومياه التبريد الصناعي.

تختلف خصائص مياه الصرف الصناعية بحسب نوع الصناعة وتبعاً للعمليات المتبعة في نفس الصناعة. لذا يطلب من الصناعات معالجة المخلفات السائلة الناتجة عنها بشكل منفصل في محطاتها قبل إمكانية إعادة استعمالها أو صرفها إلى البيئة.

3.1. المخلفات السائلة الناتجة عن صناعة الأجبان

تعد صناعة الأجبان المصدر الأكبر للمخلفات السائلة الناتجة عن الصناعات الغذائية. تحتوي المخلفات السائلة الناتجة عن صناعة الأجبان على تراكيز عالية من المواد العضوية مثل البروتينات والكربوهيدرات والشحوم بالإضافة لتراكيز عالية من المواد الصلبة المعلقة و BOD و COD والنتروجين والزيوت والدهون مع تفاوت كبير في درجة الـ pH. كما تتميز مخلفات معامل الأجبان بالتقلبات الكبيرة في نسب التدفق و التي ترتبط بخطط الإنتاج للمنتجات المختلفة. تعمل هذه الخصائص على زيادة تعقيد معالجة هذه المخلفات. (Al Turkmani, 2007)

يبين الشكل 3 مخطط المراحل الأساسية لمعالجة المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الأجبان.



الشكل 3 المراحل الأساسية لمعالجة المخلفات السائلة الناتجة عن صناعة الأجبان

3.2. تقنيات معالجة المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الأجبان

إن التغيرات الكبيرة في حجم ومواصفات المخلفات السائلة ومحتواها العضوي تؤثر في اختيار التقنية المستخدمة في معالجة هذه المخلفات. نظراً للقابلية العالية لمخلفات معامل الأجبان للهضم البيولوجي يمكن أن تعالج بفعالية باستخدام أنظمة المعالجة البيولوجية. يقدم هذا الفصل التقنيات العملية التي يمكن

استخدامها لمعالجة المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الأجبان كما سيتم التركيز بشكل خاص على تقنيات المعالجة التي ستستخدم في تشغيل المحطة التجريبية لمعالجة المصل. يبين الجدول 7 خصائص ومواصفات المخلفات الناتجة عن صناعة الأجبان كما يقترح بعض طرائق المعالجة المناسبة.

الجدول 7 طرائق المعالجة المقترحة للمخلفات الناتجة عن صناعة الأجبان (Gray, 2004)

المعالجات المقترحة	مواصفات مياه الأجبان
<ul style="list-style-type: none"> - تقترح المعالجة البيولوجية الهوائية باستخدام المرشح البيولوجي عالي التحميل أو الحمأة المنشطة كما تتطلب التدفقات المتقطعة والخصائص المتغيرة لهذه المخلفات استعمال خزان توازن مع تهوية أو دون تهوية. - تقترح خنادق الأكسدة أو البحيرات المهواة في المناطق البعيدة مثل المناطق الريفية. 	<ul style="list-style-type: none"> - تراكيز عالية من BOD تتجاوز (mg/l) 2000 - محتوى الدهون والزيوت - تركيز عالٍ للمواد الصلبة المنحلة - تركيز عالٍ للمواد الصلبة المعلقة - قابلة للهضم البيولوجي رغم الحمل العضوي العالي

يعرض الجدول 8 ملخصاً لكفاءة بعض طرائق المعالجة الهوائية واللاهوائية لمعالجة المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الأجبان. يلاحظ أنه لم يرد في الجدول تقرير عن فعالية ومردود المعالجة لكل من طريقتي المعالجة اللتين تم اختيارهما للدراسة والمقارنة في هذا البحث وهما طريقة الحوامل البيولوجية المتحركة وطريقة الحمأة المنشطة - التهوية المديدة.

الجدول 8 كفاءة بعض التقنيات المستخدمة في معالجة المخلفات السائلة الناتجة عن صناعة الألبان (Al Turkmani, 2007)

ملاحظات	مردود المعالجة		مصدر المخلفات السائلة	طريقة المعالجة	المعالجة البيولوجية
	إزالة BOD	إزالة COD			
		90 %	الحليب المحفف / الزبدة	الحمأة المنشطة Activated sludge	المعالجة الهوائية
	92 %	—	مخلفات صناعة الألبان	المرشح البيولوجي Trickling filters	
		91 – 97 %	مخلفات صناعة الألبان	Sequence Batch Reactor (SBR)	
OLR=0.5 kg COD/m ³ .day		>97 %	مخلفات صناعة الجبن		
OLR = 10 g COD/l		80 %	مخلفات صناعة الألبان		
0.5 kg COD/m ³ .hour		85 %	مخلفات صناعة الألبان	المرشح البيولوجي الدوار Rotation Biological Contactors (RBC)	
5 days of aeration	85%	—	مخلفات صناعة الحليب	البرك المهواة Aerated ponds	

ملاحظات	مردود المعالجة		مصدر المخلفات السائلة	طريقة المعالجة	المعالجة البيولوجية
	إزالة BOD	إزالة COD			
HRT > 9 days		90%	مخلفات ناتجة من معمل أجبان (ممددة، مصل بنسبة 20%) COD = 17000 mg/l	مفاعل الخلط الكامل Completely stirred reactors	المعالجة اللاهوائية
		80%	مخلفات صناعة الألبان	The fluidized-bed reactor	
HRT = 18.4 h 3 kg TOC/m ³ .day		86%	مخلفات صناعة البوظة	Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor	
HRT = 16 h 49.5 kg COD/m ³ .day		86%	مخلفات صناعة الجبن		
		70 – 90%	مخلفات صناعة الألبان		

ملاحظات	مردود المعالجة		مصدر المخلفات السائلة	طريقة المعالجة	المعالجة البيولوجية
	إزالة BOD	إزالة COD			
HRT = 2 – 2.5 days 12.5 kg COD /m ³ .day		90 – 95 %	مصل الجبن 59000 mg/l	هاضم لاهوائي بحوامل بيولوجية ثابتة Fixed-bed digester	
HRT = 7.5 days		99.5 %	مصل الجبن 62000 mg/l	Membrane anaerobic reactor + microfiltration membrane	
			مخلفات صناعة الألبان COD = 50000 mg/l	هاضم لا هوائي مع فصل مراحل التخمير Separated phase digester	

- زمن المكث (HRT)

- معدل التحميل العضوي (OLR)

3.2.1. المعالجة الأولية

المعالجة الأولية هي المرحلة التي تحضر المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الألبان لعمليات المعالجة البيولوجية وتتضمن التوازن والتصفية وتعديل الـ pH وهي مرحلة ضرورية جداً.

3.2.1.1. التصفية

المصافي هي الخطوة الأولى من المعالجة الأولية في محطات معالجة المخلفات السائلة، والمصفاة هي أداة ذات فتحات بأبعاد محددة تعمل على حجز المواد الصلبة الخشنة الموجودة في المخلفات السائلة التي تدخل محطة المعالجة. ويكمن الدور الرئيسي للمصافي في إزالة المواد الخشنة من المياه المراد معالجتها والتي قد تسبب تلف معدات المعالجة. (Tchobanoglous et al., 2003)

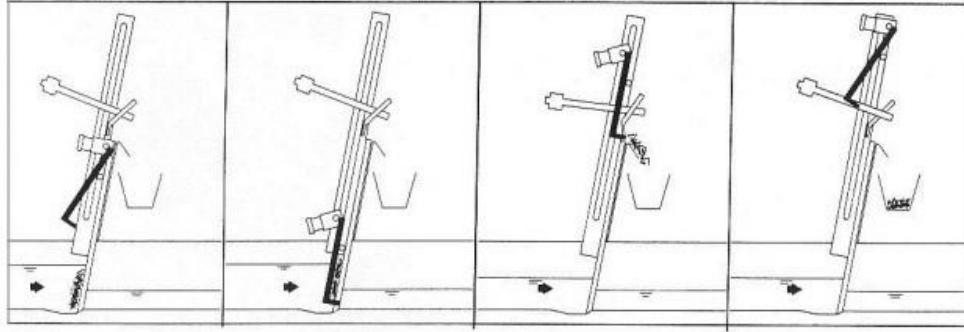
تحجز المصافي المواد الصلبة من تيار المخلفات السائلة كما أنها تساعد عمليات المعالجة اللاحقة على العمل بفعالية أكبر. عندما تتم إزالة المواد الخشنة بالمصافي في مرحلة مبكرة قبل بدء عمليات المعالجة يكون ذلك أسهل نسبياً حيث تكون هذه الجزيئات أكبر حجماً.

تساهم عملية التصفية في خفض حمل المواد الصلبة حيث يمكن إزالة الجزيئات الكبيرة الصلبة العالقة والعائمة والقابلة للترسيب. تحمي عملية التصفية التجهيزات والمعدات التي يمكن أن تسد بفعل المواد الخشنة. كما تساهم في تخفيض حمل المواد الصلبة على مراحل المعالجة اللاحقة وتحسين أدائها. تحقق عملية التصفية توفيراً في المواد الكيميائية المستخدمة وتوفيراً في الطاقة وعمليات الصيانة.

تصنف المصافي حسب قياس فتحاتها حيث لدينا الأنواع التالية:

- المصافي الخشنة: ذات أبعاد أكبر من 10 cm.
- المصافي المتوسطة: ذات أبعاد أكبر من 4 cm.
- المصافي الناعمة: ذات أبعاد أكبر من 2 cm.

تكون التصفية مطلوبة في معالجة الألبان لمنع زيادة COD نتيجة انحلال المواد. يبين الشكل 4 نموذجاً عن المصافي الخشنة.



الشكل 4 مصفاة خشنة ميكانيكية التنظيف

3.2.1.2. التوازن

تتغير مواصفات المياه الصناعية مع الزمن من حيث معدل التدفق و/أو حمل التلوث بحسب دفعات وطرائق الإنتاج. يؤثر هذا التغير في تشغيل محطة المعالجة والذي ينعكس بدوره على نوعية المياه المعالجة. مما يجعل عملية التوازن مطلوبة لاحتواء هذه التقلبات واستقرار عمليات المعالجة اللاحقة. (Eckenfelder and Musterman, 1995)

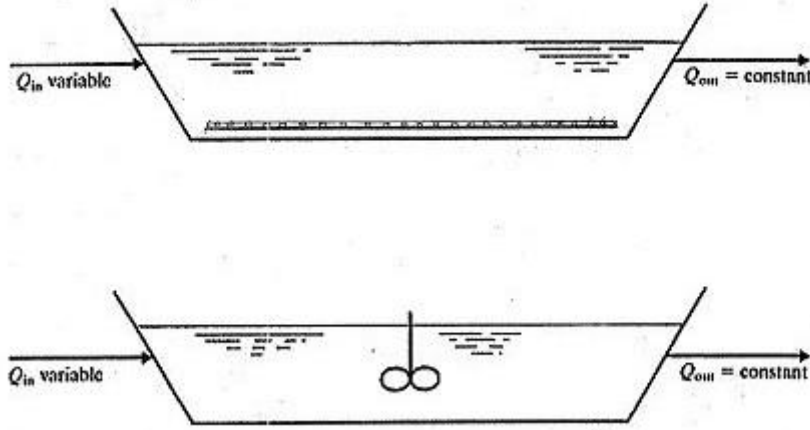
يختلف نوع وحجم حوض التوازن المطلوب بحسب كمية المخلفات السائلة ونوعية المخلفات الناتجة عن كل خط إنتاج. يكون حجم حوض التوازن مناسباً لاحتواء التغيرات الناتجة عن كل خط إنتاج وتخفيف الدفعات المركزة التي يتم طرحها بشكل دوري.

تكمن الميزات الرئيسية لعملية توازن التدفق (كمياً ونوعاً) في:

- تخفيف التقلبات في الحمل العضوي وذلك لمنع صدمات التحميل على نظام المعالجة البيولوجي.
 - التحكم بدرجة pH وتخفيض كمية المواد الكيميائية اللازمة لعملية التعديل.
 - تأمين التغذية اللازمة لنظام المعالجة البيولوجية خارج أوقات العمل.
 - منع الجرعات العالية من المواد الضارة من دخول نظام المعالجة البيولوجي.
 - تحسين نوعية المياه المعالجة وكفاءة الترسيب في حوض الترسيب من خلال ثبات حمل المواد الصلبة.
- يتم تزويد الحوض عادةً بآلية للخلط والتهوية لتحقيق عملية التوازن ومنع ترسب المواد الصلبة في الحوض كما يمكن أن تحدث أكسدة للمواد العضوية مما يؤدي إلى تخفيض الحمل العضوي في الحوض. يمكن استخدام العديد من التقنيات في الخلط والتهوية منها آلية الخلط السطحي أو المغمور أو ضخ الهواء

المضغوط. وتكون قوة الخلاط المستخدم ($0.003-0.004 \text{ KW/m}^3$) و كمية الهواء المطلوب للتهوية ($3.74 \text{ m}^3 \text{ air/m}^3$). (Eckenfelder and Musterman, 1995).

يبين الشكل 5 نموذجاً لحوض التوازن



الشكل 5 نموذج حوض التوازن

3.2.1.3. التعديل (تعديل درجة الـ pH)

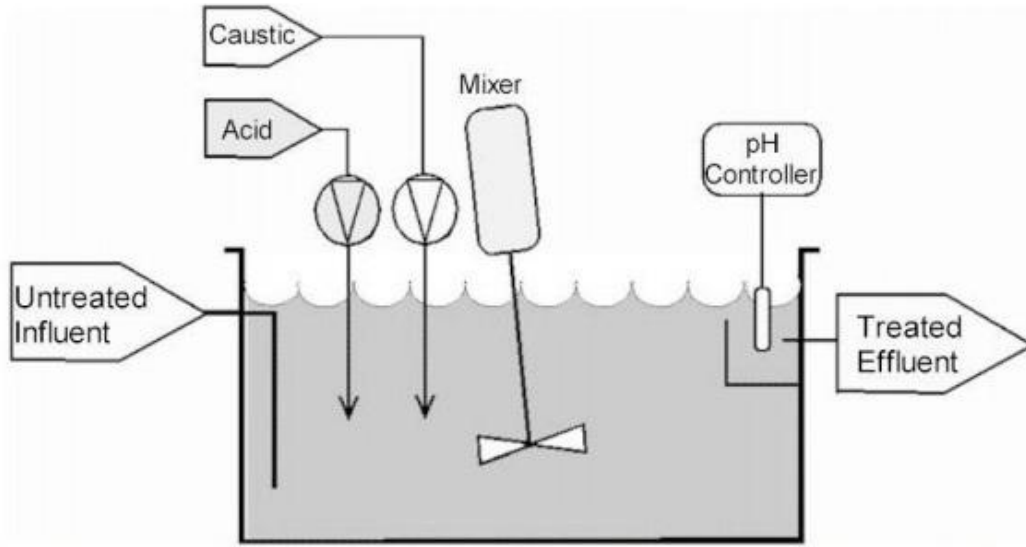
تحتوي المخلفات الصناعية على مواد حمضية أو قلوية تتطلب تعديلها قبل البدء بعمليات المعالجة الكيميائية والبيولوجية. تتحكم ثلاثة عناصر بعملية تعديل الحموضة وتشمل: موازنة التدفقات قبل البدء بعملية المعادلة، توفير زمن المكث الكافي لإنجاز العملية مع ضمان الخلط الجيد، و التحكم بالعملية بما يلغي الوقت الميت ويتلاءم مع استجابة العملية.

تهدف عملية تعديل الحموضة في معالجة المياه الصناعية إلى تحسين عملية المعالجة الكيماوية مثل ترسيب المعادن وتهيئة الظروف المثلى لعملية المعالجة البيولوجية ومنع التآكل.

إن درجة الـ pH المثلى لعملية المعالجة البيولوجية تتراوح ما بين 6.5 – 8.5 (IDF, 1984).

لذلك من المطلوب تعديل درجة الـ pH للمخلفات السائلة للحصول على درجة الـ pH المناسبة

لمراحل المعالجة البيولوجية اللاحقة. يبين الشكل 6 نموذجاً لحوض تعديل درجة الحموضة.



الشكل 6 نموذج حوض تعديل درجة الحموضة

3.2.2. المعالجة الفيزيائية والكيميائية

تعتمد عملية المعالجة الفيزيائية على الخصائص الفيزيائية للشوائب المراد إزالتها وتعتمد في تطبيقها على القوى الفيزيائية مثل التنديف والفلترية، في حين تعتمد عملية المعالجة الكيميائية على الخواص الكيميائية للشوائب مثل التخثر والتبادل الأيوني. عادةً يتم دمج المعالجة الفيزيائية والكيميائية للحصول على نتائج أفضل.

إن وجود الدهون والزيوت ضمن حوض الحمأة المنشطة سيؤدي إلى تغليف هذه المواد لندف الحمأة ومنع وصول الأكسجين إلى داخل الندفة وبالتالي تموت البكتيريا مما يجعل من الضروري فصلها بحسب وزنها قبل عملية المعالجة البيولوجية بالحمأة المنشطة. (Eckenfelder and Musterman, 1995)

3.2.2.1. التنديف

يستخدم التنديف لإزالة المواد المعلقة والدهون والزيوت من المخلفات السائلة وفصلها على شكل حمأة. التنديف هو عملية ناقلة للمواد حيث يتم تجميع الجزيئات غير المستقرة بعضها مع بعض في جزيئات أكبر تسهل إزالتها بواسطة الترسيب أو الترشيح. يعمل تنديف مياه الصرف الصحي باستخدام الخلط الهوائي أو الميكانيكي على:

- زيادة فعالية إزالة المواد الصلبة المعلقة والـ BOD في حوض الترسيب الأولي.

- زيادة كفاءة حوض الترسيب الثانوي اللاحق لعملية المعالجة البيولوجية باستخدام الحمأة المنشطة. تتم عملية التدفيد بإضافة مواد كيميائية تعرف بالمخثرات لزعزعة استقرار الجزيئات يتبعها عملية خلط سريع لتجميع الندف . (Tchobanoglous et al., 2003)

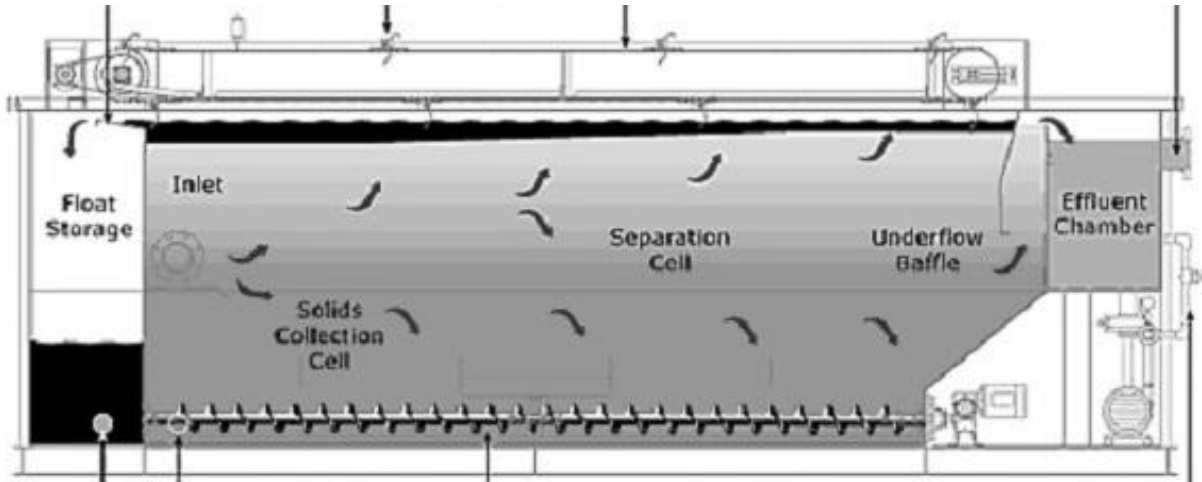
3.2.2.2. التعويم بالهواء المضغوط

التعويم هو آلية لفصل الجزيئات الصلبة ذات الوزن الأخف من الماء عن السائل، يحدث هذا الفصل بواسطة ضخ فقاعات دقيقة من الهواء في السائل. ترتبط هذه الفقاعات بالجزيئات وترتفع معها إلى السطح حيث يمكن تجميعها بالقشط.

تعتمد هذه الآلية على ضخ الفقاعات تحت ضغط يصل إلى (400-600 kPa) إلى الحوض الذي يحوي المخلفات السائلة. يتحول الهواء إلى فقاعات في ضغط الهواء الطبيعي. تترسب بعض المواد في الحوض تحت تأثير وزنها الذاتي في حين أن فقاعات الهواء ترتبط بجزيئات الدسم والمتبقي من المواد الصلبة المعلقة خلال مرورها بالسائل لتتجمع على السطح.

لتسريع عملية التعويم بالهواء المضغوط وتسهيل فصل المواد الدسمة يمكن استعمال المواد الكيميائية والتي تعمل على خلق سطح أو تركيب يسهل امتصاصه أو تجميعه بفقاعات الهواء. (Tchobanoglous et al., 2003)

تشمل المواد الكيميائية المستخدمة في عملية التعويم بالهواء المضغوط المواد المخثرة والتي تساعد في إزالة المواد الصلبة بشكليها المعلق والغروي بالإضافة إلى المواد المندفة والتي تعمل على تجميع الخثرات لتشكيل ندفاً كبيرة يسهل ترسيبها أو تعويمها. تترافق إضافة المواد الكيميائية بآلية خلط مناسبة للعمل على سهولة اتصال المواد الكيميائية بالجزيئات وتشكيل ندف أكبر. يبين الشكل 7 نموذجاً لحوض التعويم بالهواء المضغوط.



الشكل 7 نموذج حوض التعويم بالهواء المضغوط

3.2.3. المعالجة البيولوجية

إن الأهداف الأساسية للمعالجة البيولوجية تكمن في:

- تحويل المواد الصلبة المنحلة والمعلقة القابلة للهضم البيولوجي إلى نواتج فقيرة بالطاقة.
- تحويل المواد المعلقة والمواد الغروية غير القابلة للتترسيب إلى ندف بيولوجية أو فيلم بيولوجي.
- تحويل أو إزالة المواد المغذية مثل النتروجين والفوسفور.
- في بعض الحالات، يتم إزالة بعض المواد العضوية المحددة. (Tchobanoglous et al., 2003)

تتم المعالجة البيولوجية بهدم المواد العضوية القابلة للهضم البيولوجي بواسطة البكتريا الموجودة في المياه وتشكل ندف الحمأة المؤلفة من مواد عضوية ولاعضوية قابلة للتترسيب .

يمكن تقسيم العملية البيولوجية المستخدمة في معالجة مياه الصرف الصحي إلى قسمين رئيسيين: النمو المعلق والنمو المرتبط (الفيلم البيولوجي).

النمو المعلق: تنمو الكائنات الحية المجهرية المسؤولة عن عملية المعالجة معلقة في السائل. يمكن أن تتم العمليات الحيوية بوجود تركيز مناسب للأكسجين المنحل (هوائية) أو بغياب الأكسجين (لاهوائية). تعد التقنية الأكثر شيوعاً والتي تستخدم آلية النمو المعلق في معالجة مياه الصرف الصحي هي تقنية الحمأة المنشطة.

النمو المرتبط: تنمو الكائنات الحية المجهرية المسؤولة عن تحويل المواد العضوية والمغذية مرتبطة بسطح صلب . تنمو البكتيريا وتشكل فيلماً بيولوجياً على سطح مواد الملء وتتغذى على المواد العضوية والمواد المغذية من مياه الصرف الصحي . تشمل مواد الملء المستعملة في عمليات النمو المرتبط الصخور والحصى والفحم والرمل والفخار بالإضافة إلى المواد البلاستيكية وغيرها من المواد الصناعية. يمكن أن تكون عمليات النمو الثابت هوائية أو لاهوائية كما يمكن أن تكون مواد الملء مغمورة بشكل كامل في السائل أو متوضعة على سطح السائل. (Tchobanoglous et al., 2003)

تستعرض الفقرات التالية طريقة الحمأة المنشطة في المعالجة في حين سيتم استعراض طريقة الحوامل البيولوجية المتحركة بتفصيل أكثر من الحمأة المنشطة حيث تشكل محور هذا البحث وآلية تشغيل المحطة التجريبية.

3.2.3.1 الحمأة المنشطة – التهوية المديدة

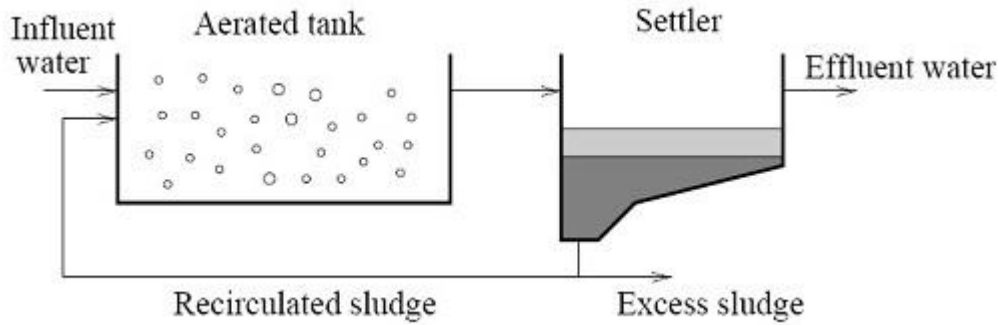
تعرف الحمأة المنشطة بأنها المعالجة التي تتم باستخدام الكتلة الحيوية المعلقة في المخلفات السائلة لامتصاص وهضم وتكثيف المواد العضوية. إن أحد أهم الميزات في طريقة الحمأة المنشطة هو تشكيل ندف صلبة قابلة للتسيب والتي يمكن إزالتها بالجاذبية في حوض الترسيب. (Tchobanoglous et al., 2003)

تتألف طريقة الحمأة المنشطة – التهوية المديدة بشكل أساسي من المكونات الثلاث التالية:

- حوض التهوية: تنمو فيه الكائنات الحية المسؤولة عن المعالجة معلقة (ساحجة) في السائل و مهواة.
- حوض الترسيب: لفصل المواد الصلبة عن السائل.
- الحمأة المعادة: حيث تتم إعادة جزء من المواد الصلبة التي تم فصلها في حوض الترسيب إلى حوض التهوية. يبين الشكل 8 نموذجاً لتقنية الحمأة المنشطة التهوية المديدة.

يكون زمن المكث الهيدروليكي في طريقة الحمأة المنشطة – التهوية المديدة طويلاً ويتراوح ما بين (18 – 24 h) مع اعتماد نسبة منخفضة الغذاء/الكتلة الحيوية (F/M)، وارتفاع عمر الحمأة (SRT) ويكون إنتاج الحمأة بالحد الأدنى. لكن يتطلب نسبة عالية من الأكسجين مرتبطة بالحمل العضوي الذي تتم إزالته ممثلةً بـ BOD.

تتراوح نسبة تحميل الحمأة F/M عادة ما بين 0.05 – 0.15 kg BOD/Kg (MLSS.day) و عمر الحمأة (20 – 40 day) ، ويتراوح تركيز المحتوى من المادة الصلبة MLSS ما بين (3000 – 5000 mg/l). (Eckenfelder and Musterman, 1995).



الشكل 8 نموذج لتقنية الحمأة المنشطة – التهوية المدبدة

3.2.3.2. طريقة الحوامل البيولوجية المتحركة

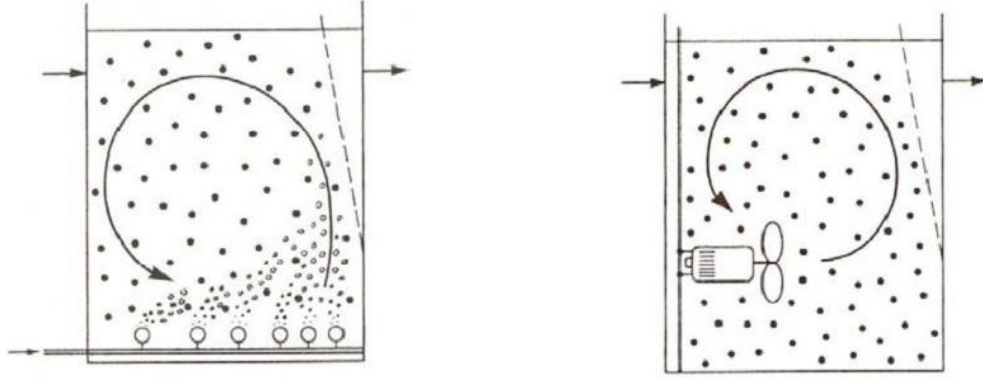
تم تطوير طريقة الحوامل البيولوجية المتحركة من قبل Kaldnes Miljøteknologi في النرويج. تشمل العملية إضافة عناصر حاملة من البولي إيثيلين أسطوانية الشكل في حوض مهوى أو غير مهوى لدعم نمو الفيلم البيولوجي. (Tchobanoglous et al., 2003)

يمكن أن تكون تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة على شكل حوض واحد أو عدة أحواض مرتبطة على التسلسل. تتراوح نسبة ملء الحوض بالحوامل البيولوجية ما بين (25 – 65 %) من حجم السائل. (WEF, 2010)

تقوم تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة على دمج ميزات كل من طريقي الحمأة المنشطة والمرشح البيولوجي. على عكس معظم تطبيقات المرشح البيولوجي تستعمل طريقة الحوامل البيولوجية المتحركة كامل حجم الحوض لنمو الفيلم البيولوجي كما في طريقة الحمأة المنشطة. وعلى عكس طريقة الحمأة المنشطة لا تحتاج تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة لخط إرجاع الحمأة كما في باقي تطبيقات الفيلم البيولوجي. هذه الميزات تحدث من خلال نمو الفيلم البيولوجي على الحوامل التي تتحرك بحرية في السائل. ويتم الاحتفاظ بها في الحوض من خلال مصافي توضع على مدخل ومخرج الحوض. نتيجة لعدم وجود خط إرجاع الحمأة يتم

التخلص من الكتلة الحيوية الفائضة وهي أحد أهم الميزات مقارنةً بطريقة الحمأة المنشطة. (Ødegaard, 1999)

يعرض الشكل 9 مخططاً لحوض الحوامل البيولوجية المتحركة في كل من التطبيقات الهوائية واللاهوائية.



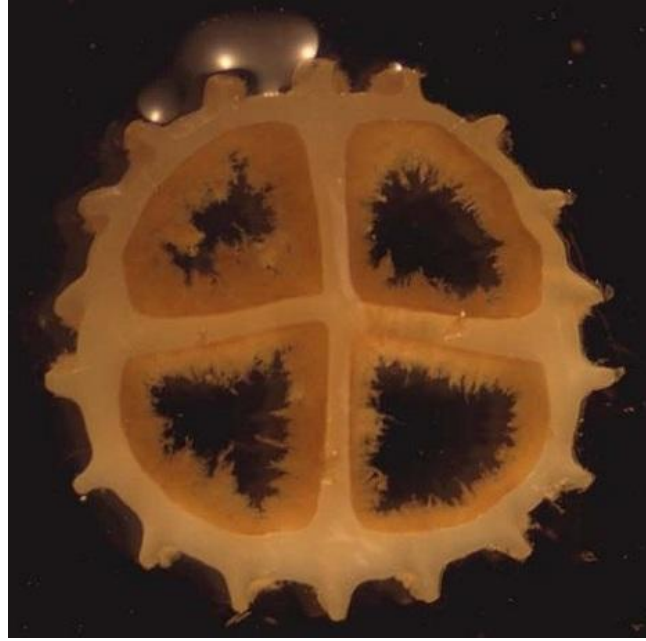
مفاعل هوائي

مفاعل لاهوائي

الشكل 9 مخطط حوض الحوامل البيولوجية المتحركة

كما في كل تطبيقات الفيلم البيولوجي يلعب تشكل الكتلة الحيوية الدور الرئيسي في عملية المعالجة. لذا تعتبر سماكة الفيلم البيولوجي الفعال (عمق الفيلم المتشكل على الحوامل) عاملاً هاماً. يبلغ عادةً العمق المثالي حوالي (100 μm) ويكون رقيقاً وموزعاً بانتظام على سطح الحوامل. ويتطلب تشكل هذا الفيلم البيولوجي حركة مناسبة في الحوض لنقل المكونات إلى الفيلم البيولوجي وضمان سماكة منخفضة نتيجة القوى النابذة. (Ødegaard, 1999)

يعرض الشكل 10 نمو الفيلم البيولوجي على السطوح الداخلية والخارجية للحوامل.



الشكل 10 صورة تبين نمو الفيليم البيولوجي على الحوامل K1

في محطات المعالجة التي تعمل بطريقة الحمأة المنشطة تتشكل ندف من الحمأة تكون كلها معلقة (سابحة) ضمن حوض التهوية حيث تشكل الكتلة الحيوية الفعالة (المستعمرات البكتيرية) الجزء الأكبر منها، أما في تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة فيكون جزء من الكتلة الحيوية معلقاً (سابحاً) ضمن الحوض في حين يكون القسم الآخر من الكتلة الحيوية مرتبطاً (ينمو على سطوح الحوامل البيولوجية المتحركة) على شكل فيلم بيولوجي.

أظهرت الدراسات بأن التركيز المثالي للكتلة الحيوية في حوض الحوامل البيولوجية المتحركة نسبة إلى حجم الحوض يبلغ حوالي ($3 - 4 \text{ kg SS/m}^3$) وهو مساوٍ للقيمة نفسها في طريقة الحمأة المنشطة. (Ødegaard, 1999)

تمثل هذه القيمة النمو المعلق فقط في حين يكون تركيز الكتلة الحيوية للنمو المرتبط حوالي ($6 - 8.5 \text{ kg SS/m}^3$). (Rusten et al., 1998)

3.2.3.2.1 ميزات تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة

إن الفوائد الأساسية لتقنية الحوامل البيولوجية المتحركة مقارنة مع تقنية الحمأة المنشطة هو كونها مدججة ولا تحتاج إلى خط إعادة الحمأة. أما ميزاتها نسبةً إلى غيرها من تقنيات الفيليم البيولوجي هو مرونتها. يمكن

استخدام حوض تهوية بأي شكل تقريباً كما يمكن اختيار أحمال تشغيل مختلفة بما يتناسب مع حجم الحوض بحسب نسبة الملء بالحوامل المتحركة . (Ødegaard, 1999)

تشمل منافع تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة ما يلي:



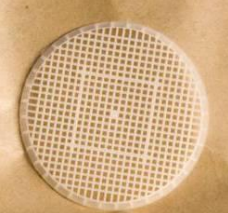

- يمكن الوصول إلى نتائج مماثلة لتقنية الحمأة المنشطة من حيث هضم الكربون وهضم وإرجاع النترات في الوقت الذي تتطلب حجماً أصغر لحوض التهوية.
- زمن الاحتفاظ بالحمأة غير مرتبط بالترسيب لذا تكون كمية المواد الصلبة المنقلة إلى حوض الترسيب منخفضة مقارنة بنظام الحمأة المنشطة.
- عملية التدفق مستمرة لذا لا تتطلب دورة تشغيل خاصة للتحكم في سماكة الفيلم البيولوجي مما يقلل الضياعات الهيدروليكية ويجعل عملية التشغيل أقل تعقيداً.
- يوفر الكثير من المرونة من حيث نظام الجريان للوصول إلى هدف المعالجة كما في طريقة الحمأة المنشطة. يمكن استخدام العديد من الأحواض المربوطة على التسلسل دون الحاجة إلى الضخ أو إرجاع الحمأة فيما بينها (للحصول على مزيج متجانس).
- يمكن الوصول لخواص مضاعفة باستعماله مع العديد من تقنيات الفصل مثل الترسيب والتعويم بالهواء المضغوط والتعويم بالثقالة والأغشية .
- مناسب لرفع استطاعة محطات المعالجة القائمة . (WEF, 2010)

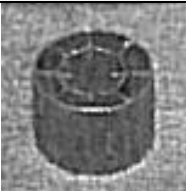
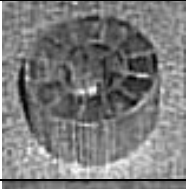
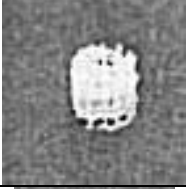
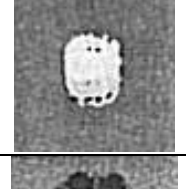

3.2.3.2.2 الحوامل البيولوجية البلاستيكية

تصنع الحوامل البيولوجية القياسية من البولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE) . الحوامل ذات وزن نوعي يتراوح ما بين $(0.94 - 0.96 \text{ g/cm}^3)$. كل من الحوامل البيولوجية الفارغة والمغطاة بالفيلم البيولوجي لديها إمكانية العوم على سطح الماء الراكد. ينمو الفيلم البيولوجي بشكل أولي على السطح الداخلي المحمي للحوامل البلاستيكية ثم يمتد إلى كامل السطح. (WEF, 2010)

يعرض الجدول 9 مواصفات بعض الحوامل البيولوجية البلاستيكية.

الجدول 9 مواصفات الحوامل البيولوجية البلاستيكية (WEF, 2010)

الشكل	الأبعاد		الكثافة (kg/dm ³)	الوزن (kg/m ³)	السطح النوعي (m ² /m ³)	الاسم	الشركة الصانعة
	القطر (mm)	الارتفاع (mm)					
	9.1	7.2	0.96 - 0.98	145	500	AnoxKaldnes™ K1	Veolia Inc.
	25	10	0.96 - 0.98	95	500	AnoxKaldnes™ K3	
	45	2.2	0.96 - 1.02	243	1200	AnoxKaldnes™ Biofilm Chip (M)	
	45	3	0.96 - 1.02	173	900	AnoxKaldnes™ Biofilm Chip (P)	

الشكل	الأبعاد		الكثافة (kg/dm ³)	الوزن (kg/m ³)	السطح النوعي (m ² /m ³)	الاسم	الشركة الصانعة
	القطر (mm)	الارتفاع (mm)					
	22	15	0.96	134	450	ActiveCell™ 450	Infilco Degremont Inc.
	22	15	0.96	144	515	ActiveCell™ 515	
	14	14	0.94 - 0.96	150	600	ABC4™	Siemens Water Technology Corp.
	12	12	0.94 - 0.96	150	660	ABC5™	
	14	14			589	BioPortz™	Entex Technologies Inc.

3.2.3.2.3 نظام التهوية

يتم تأمين الأكسجين اللازم للعمليات البيولوجية باستخدام تقنية التهوية بالهواء المضغوط حيث يتم ضخ الهواء في حوض الحوامل البيولوجية المتحركة. يدخل تيار الهواء الحوض من خلال شبكة تهوية متوضعة في أسفل الحوض. ويقوم تيار الهواء بمهمتين هما تقديم الأكسجين اللازم وتحريك الحوامل البلاستيكية في كامل أنحاء الحوض. (WEF, 2010)

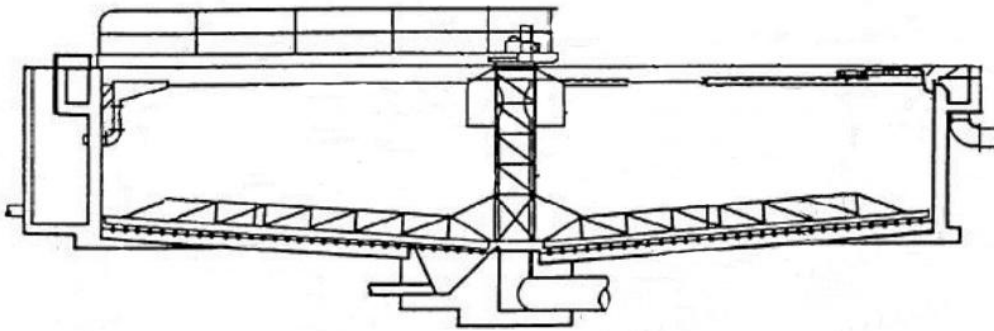
يتم ضخ الأكسجين المطلوب للقيام بالعمليات وتحريك الحوامل البلاستيكية بأنظمة تهوية تضخ فقاعات كبيرة. تكون فتحات الفقاعات الكبيرة أقل تعرضاً للتلف والانسداد نتيجة كبر حجمها وتيار الهواء المنطلق منها. (Stenstrom et al., 2008)

3.2.3.3 الترسيب

الترسيب هو إزالة المواد الصلبة المعلقة التي وزنها أثقل من الماء. تعتمد عملية الترسيب على قوة الجاذبية نتيجة فرق الكثافة بين المواد الصلبة والسائل.

تقوم عملية الترسيب اللاحقة للمعالجة البيولوجية بإزالة الندف البيولوجية الناتجة عن عملية المعالجة وتهدف بشكل رئيسي لإنتاج مياه معالجة خالية من الشوائب بالإضافة إلى إنتاج حمأة ذات محتوى من المواد الصلبة يمكن التعامل معها ومعالجتها بسهولة. (Tchobanoglous et al., 2003)

يبين الشكل 11 نموذجاً لحوض الترسيب.



الشكل 11 نموذج حوض الترسيب

3.3. إجراءات التحاليل

يتم تحديد كفاءة عملية معالجة المخلفات السائلة لصناعة الأجبان بالاستناد إلى نسبة إزالة كل من BOD و COD كما تتطلب عملية المعالجة قياس مستمر لدرجة الحموضة pH ونسبة الأكسجين المنحل DO للتأكد من أنها ضمن المستويات المثالية.

3.3.1. الأكسجين البيولوجي المحتاج

يعرف الأكسجين البيولوجي المحتاج BOD بأنه كمية الأكسجين التي تتطلبها البكتيريا لتثبيت المواد العضوية في الشروط الهوائية. تشكل المواد العضوية الغذاء للبكتيريا وتحصل على الطاقة من خلال أكسدها حيث يعمل الأكسجين كمتلقي للإلكترونات ومصدر للطاقة.

يتم استعمال هذا الاختبار بشكل واسع لتحديد قوة المخلفات البلدية والصناعية من حيث كمية الأكسجين المطلوبة لهضم هذه المخلفات عند تفرغها في المجاري المائية الطبيعية والتي تسود فيها الشروط الهوائية. يعد هذا الاختبار أحد أهم العوامل في السيطرة على تلوث المجاري المائية وذلك بشكل خاص للتوافق مع التشريعات والدراسات التي تقيم طاقة التنقية للمسطحات المائية التي تتلقى الملوثات.

إن اختبار BOD هو إجراء يهدف لقياس الأكسجين الذي استهلكته الكائنات الحية (البكتيريا بشكل رئيسي) عند هضم المواد العضوية الموجودة في النفايات في ظروف مشابهة قدر الإمكان للشروط الطبيعية.

يتم تثبيت تأثيرات درجة الحرارة من خلال إجراء الاختبار في درجة حرارة (20 °C) وهي القيمة الوسطية لدرجة حرارة المسطحات المائية الطبيعية. يتطلب إنهاء عملية الأكسدة البيولوجية للمواد العضوية نظرياً زمناً لانتهاءً في حين يمكن عملياً اعتبار إنجاز العملية خلال 20 يوماً. تم تطوير الاختبار على أساس أخذ قيمة BOD₅ وهي لفترة احتضان 5 أيام. يجب ملاحظة أن هذه القيمة تشكل جزءاً من قيمة BOD الكلي.

في حالة مياه الصرف الصحي وعدة أنواع من مياه الصرف الصناعية تشكل قيمة BOD₅ حوالي (70 - 80 %) من قيمة BOD الكلي والتي تعتبر نسبة كبيرة بما فيه الكفاية لتؤخذ بعين الاعتبار. (Sawyer et al., 2003)

3.3.2. الأكسجين الكيميائي المحتاج

يستخدم اختبار COD بشكل واسع كوسيلة لقياس محتوى المواد العضوية وغير العضوية للنفايات البلدية والصناعية. يتيح هذا الاختبار قياس كمية الأكسجين الكلية المطلوبة لأكسدة المواد العضوية وغير العضوية كيميائياً إلى ماء وثاني أكسيد الكربون. يقوم هذا الاختبار على حقيقة أن كل المركبات العضوية مع بعض الاستثناءات يمكن أن تتأكسد بفعل عوامل مؤكسدة قوية في الظروف الحامضية. خلال تحديد COD يتم تحويل المركبات العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون والمياه بغض النظر عن قابلية الاندماج البيولوجية للمكونات. كنتيجة لذلك تكون قيمة COD أعلى من قيمة BOD وقد تكون أعلى بشكل كبير عند وجود مواد عضوية غير قابلة للهضم البيولوجي. إن الفائدة الرئيسية لاختبار COD هو قصر الوقت اللازم للتقييم حيث يمكن إجراء القياس خلال ثلاث ساعات بدلاً من 5 أيام كما هو مطلوب في اختبار BOD₅ لذلك يستخدم اختبار COD غالباً كبديل لاختبار BOD. (Sawyer et al., 2003)

3.3.3. درجة الحموضة

يستخدم مصطلح pH عالمياً للتعبير عن درجة كثافة الحموض أو القلويات في المحلول. وهو طريقة للتعبير عن تركيز أيون الهيدروجين أو بشكل أدق نشاط أيون الهيدروجين. في مجال الإمداد بالمياه، يجب أخذ عامل pH بعين الاعتبار في عمليات التخثير الكيميائي والتعقيم وتنقية المياه والتحكم بالتآكل. في مجال المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي، يجب التحكم بقيمة pH ضمن الحدود المفضلة للكائنات الحية المسؤولة عن العملية. كما تتطلب العمليات الكيميائية المستخدمة في تخثير مياه الصرف الصحي وتكثيف الحمأة وأكسدة بعض المكونات التحكم بدرجة pH ضمن حدود ضيقة نسبياً. (Sawyer et al., 2003)

3.3.4. الأكسجين المنحل

يعتبر الأكسجين المنحل في المخلفات السائلة هو العامل الذي يحدد إذا كانت التغيرات البيولوجية ستتم في ظروف هوائية أو لا هوائية. يعتبر الأكسجين المنحل عاملاً حاسماً بالنسبة للظروف الهوائية في المياه الطبيعية التي تتلقى مواد ملوثة وفي تقنيات المعالجة الهوائية المستخدمة لتنقية مياه الصرف الصحي والصناعي.

جميع تقنيات المعالجة الهوائية تتوقف على وجود الأكسجين المنحل ولا غنى عن قياس قيمته للتحكم في معدل التهوية وضمان تزويد نسبة كافية من الهواء لإبقاء الشروط الهوائية ومنع الاستهلاك المفرط للتهوية والطاقة. (Sawyer et al., 2003)

الفصل الرابع
الدراسة التجريبية

4. الدراسة التجريبية

4.1. معالجة مصبل الجبن

يركز هذا الفصل على المعالجة البيولوجية لمصبل الجبن باستخدام تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة. أجريت الدراسة التجريبية باستخدام محطة معالجة تجريبية تعمل بتقنية الحوامل البيولوجية المتحركة لمعالجة مصبل الجبن. يركز البحث بشكل أساسي على التحقق من جدوى المعالجة البيولوجية للمخلفات السائلة ذات التراكيز العالية من المواد العضوية باستخدام تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة ومقارنة كفاءة المعالجة مع تقنية الحمأة المنشطة - التهوية المديدة. يهدف البحث بشكل رئيسي إلى:

- مراقبة أداء المحطة التجريبية التي تعمل بتقنية الحوامل البيولوجية المتحركة لمعالجة مصبل الجبن.
- قياس وتقييم تخفيض كل من COD و BOD في مصبل الجبن نتيجة عملية المعالجة.
- مقارنة فعالية تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة مع تقنية الحمأة المنشطة - التهوية المديدة.

4.2. التحاليل المخبرية

أجريت التحاليل المخبرية المقدمة والمستخدمة في هذا البحث في مخبر الهندسة البيئية في كلية الهندسة المدنية في جامعة دمشق.

4.2.1. الأوكسجين البيولوجي المحتاج BOD_5

و هو كمية الأوكسجين التي تتطلبها البكتريا لتثبيت المواد العضوية في الشروط الهوائية. تم تحديد قيمة الاحتياج البيولوجي للأوكسجين على الشكل التالي:

- تحضير العينة المتجانسة واختيار نسب التمديد المناسبة.
- إضافة قطرتين من سائل منع حصول عملية المنتجة $C_4H_8N_2S$.
- وضع الكمية المحددة من العينة في قارورة هضم الـ BOD وذلك بحسب المجال المستخدم للقياس.
- وضع الخلاط المغناطيسي في قارورة القياس.
- إضافة حبتين من هيدروكسيد الصوديوم في غطاء القارورة المطاطي.
- إغلاق القارورة وضبطها لبدء عملية القياس.
- توضع قارورات العينات في الحاضنة بدرجة حرارة $20^\circ C$ لمدة خمسة أيام.

- بعد انتهاء المدة تؤخذ قراءات الأكسجين البيولوجي المحتاج المسجلة. (الشكل 12)



الشكل 12 قياس الأكسجين البيولوجي المحتاج BOD5

4.2.2. الأكسجين الكيميائي المحتاج COD

- وهو كمية الأكسجين الكلية المطلوبة لأكسدة المواد العضوية وغير العضوية كيميائياً إلى ماء وثاني أكسيد الكربون. تم تحديد قيمة الاحتياج الكيميائي للأكسجين على الشكل التالي:
- تحضير العينة المتجانسة واختيار نسب التمديد المناسبة للكاشف المتوفر.
 - إضافة العينة إلى كاشف هضم COD بالكمية المحددة والمطلوبة.
 - تحريك أنبولة الكاشف وذلك لخلط العينة مع الكاشف.
 - ضبط برنامج التسخين المطلوب لهضم العينات وهو 150°C لمدة ساعتين.
 - انتظار العينات لتبرد إلى درجة 120°C أو أقل.
 - تحريك أنبولة الكاشف وذلك لخلطها قبل أخذ القراءات.

- استخدام جهاز كشف ضوئي لقراءة النتائج. (انظر الشكل 13)



الشكل 13 قياس الأكسجين الكيميائي المحتاج COD

4.2.3. درجة الحموضة pH

تم قياس الحموضة باستخدام جهاز قياس درجة الحموضة الحقلي بالإضافة إلى استخدام ورق الـ pH (انظر الشكل 14).



الشكل 14 قياس درجة الحموضة pH

4.2.4. الأكسجين المنحل DO

تم قياس الأكسجين المنحل باستخدام جهاز حقل مبيّن في الشكل 15.



الشكل 15 قياس الأكسجين المنحل DO

4.3. فصل الجبن - عينة الدراسة

تم إحضار المخلفات السائلة المستخدمة لإنجاز هذا البحث من ورشة لتصنيع الأجبان في منطقة دوما بريف دمشق. وتشمل الخطوات الرئيسية لتصنيع الجبن في الورشة ما يلي:

- التجميع: تستلم الورشة 1 طن من الحليب باليوم.
- التصفية: تتم تصفية الحليب بواسطة مرشحات خاصة للتخلص من الشوائب والأوساخ ثم يجمع الحليب في خزانات من الستانلس ستيل.
- الاختبارات: يتم إجراء القياسات اللازمة على الحليب مثل حموضة الحليب ونسبة البروتين ونسبة الدسم. كما يتم إجراء اختبار للتعداد الخلوي حيث يجب ألا تتجاوز كمية البكتيريا رقماً معيناً.
- الفصل: يعالج الحليب في آلة ضاغطة مركزية لفصل الدسم (القشطة) من الحليب. يتم من خلال هذه العملية ضبط نسبة الدسم في الحليب قبل البدء بعمليات الإنتاج.

- البسترة: تهدف البسترة للقضاء على البكتيريا التي تؤثر في نوعية الجبن المنتج مثل (coliform) والتي تسبب أيضاً فساداً مبكراً وطعماً سيئاً، وتكون البسترة بدرجة حرارة (72 - 73 °C) وتستمر من 15 - 20 ثانية.

- التجانس: وهي المرحلة اللاحقة للبسترة وتتم باستخدام خلاط ميكانيكي ويعد التجانس ضرورياً لإبقاء تركيب متجانس لحبيبات الدسم في كامل المزيج ومنع فصل الدسم عن المصل.

- صناعة الجبن (التخثير): تضاف خميرة (المنفحة) إلى الحليب المتجانس ويترك لمدة ساعة في جهاز التخثير، تعمل المنفحة على تخثير بروتين الجبن. تحوي المنفحة بشكل رئيسي أنواعاً مختلفة من البكتيريا مثل

actobacillus, lactococcus, mesophilic, thermophilic cultures

- الضغط وتشكيل الجبن: يتم ضغط الجبن في القوالب إما بواسطة وزنه الذاتي أو بتطبيق الضغط على القالب، الضغط ضروري لسحب المصل وإعطاء الجبن شكله وقوامه النهائي ثم تتم قولبة الجبن في أشكال وأحجام مختلفة.

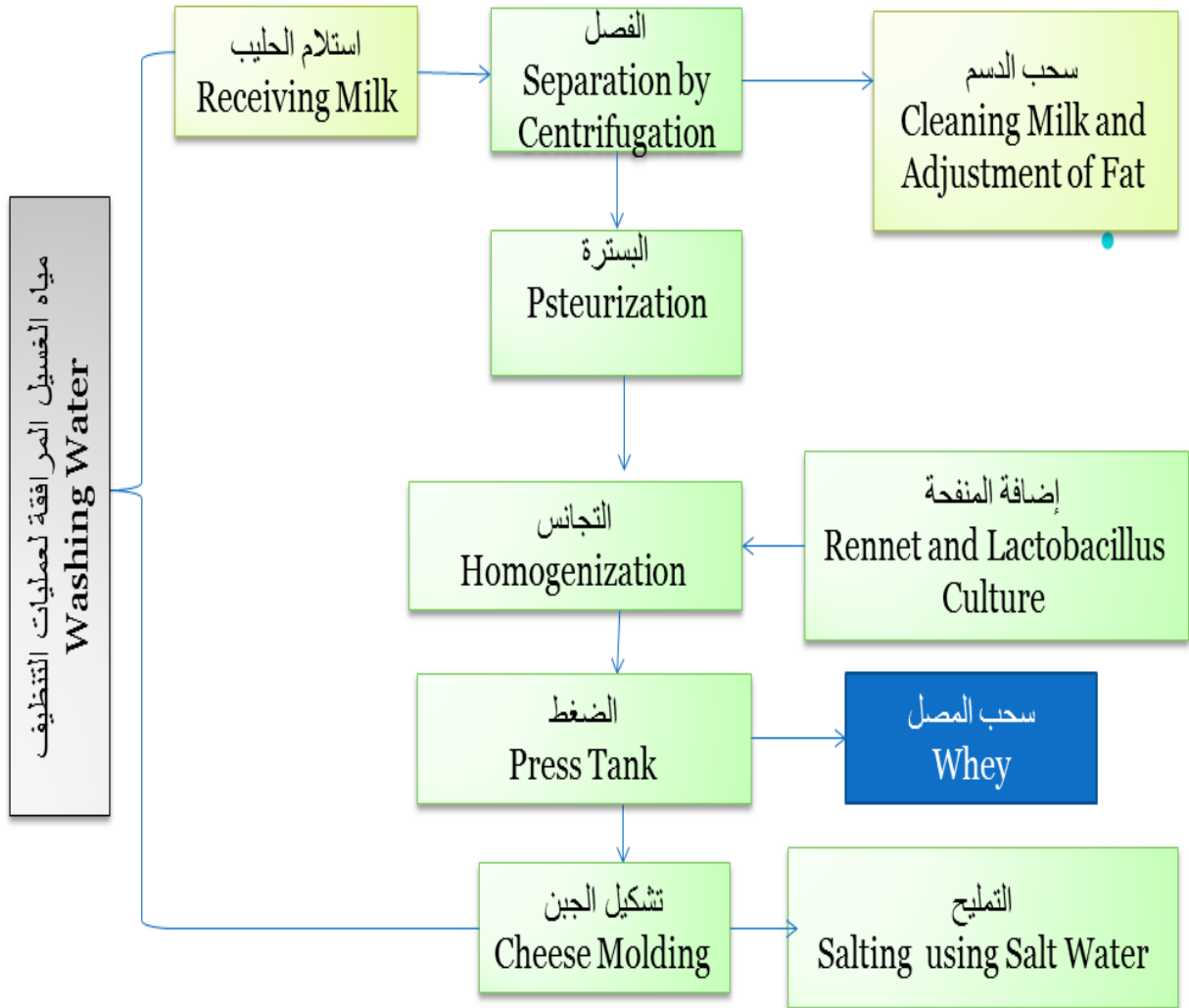
- التملح: يستعمل الملح كنوع من التوابل وذلك لإضفاء الطعم على الجبنة بالإضافة لمنع نمو البكتيريا وسحب الرطوبة.

- التخزين: يخزن الجبن المنتج في ظروف مناسبة.

يبين الشكل 16 مخططاً لصناعة الجبن في الورشة

يتم إنتاج القريشة في الورشة بإضافة الحمض إلى مصّل الجبن المغلي. تنتج القريشة في أوقات موسمية وباستخدام جزء من مصّل الجبن المنتج في الورشة. تكون المخلفات السائلة الناتجة عن عملية صنع القريشة هي مصّل يختلف في بعض الخواص عن مصّل الجبن وله حمل عضوي أخفض. تعد الجدوى الاقتصادية لإنتاج القريشة منخفضة وذلك بسبب رخص ثمنها وارتفاع تكلفتها إنتاجها والحاجة إلى حجوم كبيرة لغلي المصل وترسيب القريشة

تتمثل الحالة العامة في الورشة بصرف مصّل الجبن غير المصنع، لذلك أجري البحث العملي وتشغيل المحطة التجريبية باستخدام مصّل الجبن مباشرةً دون مرحلة تصنيع القريشة.



الشكل 16 مخطط صناعة الجبن في الورشة التي أخذ منها المصل لتشغيل المحطة التجريبية

4.2. مواصفات مصال الجبن

مصال الجبن هو السائل الذي ينتج عن الحليب بعد إزالة الدهون وبروتين الجبن وهو المنتج الثانوي لصناعة الأجبان. يحتوي مصال الجبن تقريباً على نصف المواد الصلبة الموجودة في الحليب الذي صنع منه الجبن كما يحتوي على معظم الفيتامينات والمعادن المنحلة في الماء. يحتوي مصال الجبن القياسي على كمية من المواد الصلبة تقدر بحوالي (6.5%)، والتي تشمل اللاكتوز بنسبة (72 – 68%) والبروتين بنسبة

(% 12 - 13) والمعادن بنسبة (% 8 - 9) بالإضافة إلى كميات قليلة من الدهون وحمض اللبن. عموماً، تنتج كل 100 لتر من الحليب حوالي 12 كغ من الجبن وحوالي 87 لتر من مصبل الجبن. (Handajani, 2004)

إن المخلفات السائلة المستخدمة لتغذية المحطة التجريبية تنتج عن ورشة لتصنيع الأجبان في دوما بريف دمشق بإنتاجية لتصنيع واحد طن من الحليب يومياً. تم تصميم وتشغيل المحطة لمعالجة مصبل الجبن المصنع بحسب الطريقة التقليدية. (انظر الشكل 17)

مصبل الجبن المستخدم في الدراسة مركز ولم يتم خلطه وتمديده بمياه الغسيل أو المياه المرافقة. يعرض الجدول 10 مواصفات مصبل الجبن.

الجدول 10 مواصفات مصبل الجبن المستخدم لتشغيل المحطة التجريبية

المؤشر	التاريخ	pH	BOD5 (mg/l)	COD (mg/l)	BOD5/COD
العينة (1)	15/1/2013	5.4	23200	55850	0.415
العينة (2)	17/1/2013	4.68	19000	45450	0.418
العينة (3)	17/1/2013	5.53	22500	47375	0.475
العينة (4)	17/1/2013	4.5	26250	63000	0.417
العينة (5)	7/2/2013	5.5	25000	54850	0.456
المتوسط			23190	53305	0.435



الشكل 17 مصّل الجبن المنتج في الورشة

4.4. الاختبارات العملية

4.4.1. المحطة التجريبية لمعالجة مصّل الجبن

استخدمت لإنجاز هذا البحث محطة تجريبية مصنوعة من الزجاج المقسى وباستطاعة لمعالجة 1 لتر من مصّل الجبن يومياً. (انظر الشكل 18)

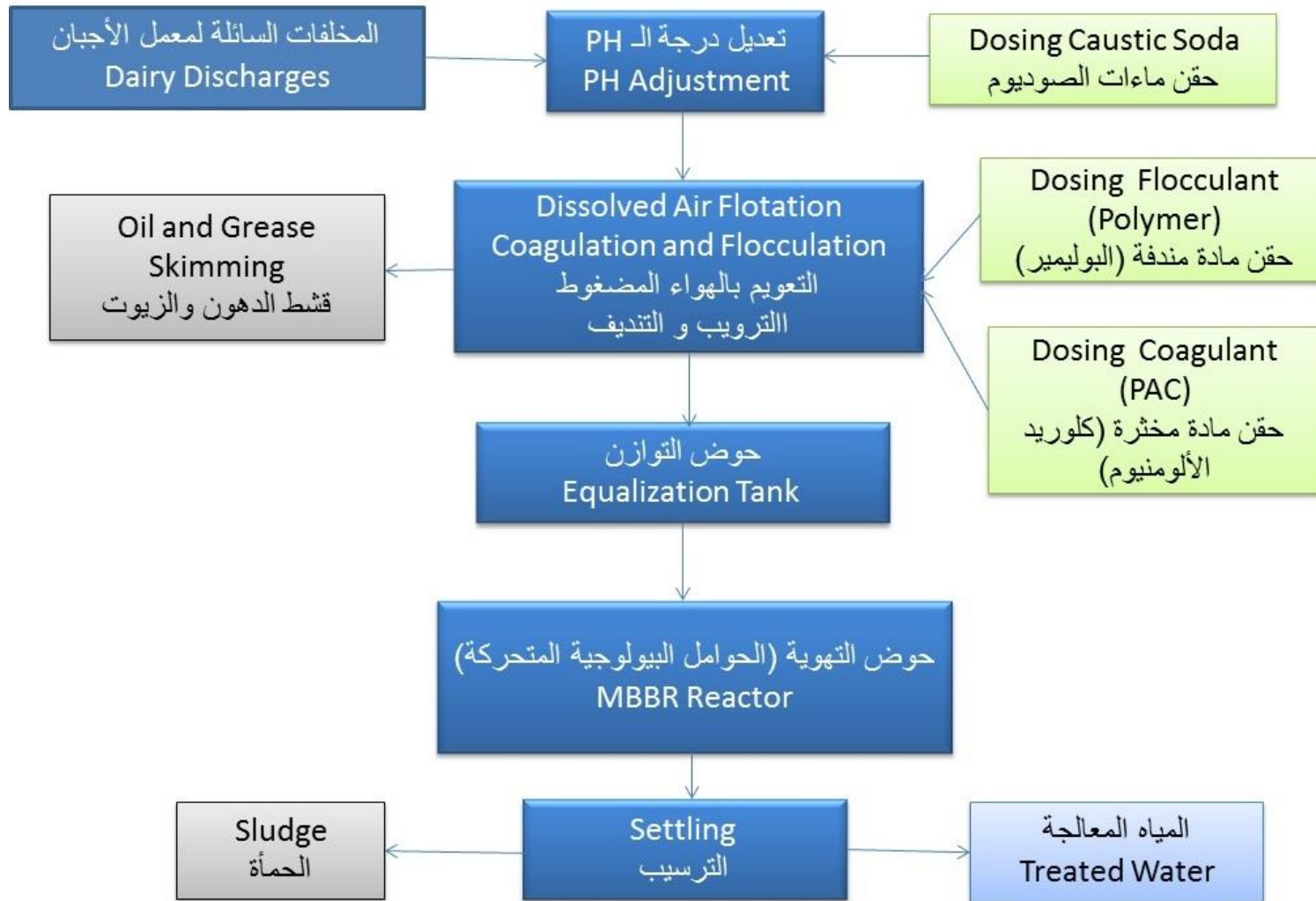
تتضمن المكونات الأساسية للمحطة التجريبية ما يلي:

- حوض المصّل: يتم في هذا الحوض تجميع المصّل القادم من الورشة وإعداد الخلطات والتمديد المناسب لكل مرحلة وحجمه الفعال 5 لتر كما يتم فيه تعديل درجة pH.
- حوض التعويم بالهواء المضغوط: تتم في هذا الحوض عملية المعالجة الفيزيائية الكيميائية وهو مستطيل من الأعلى قعره مخروطي في منتصفه فتحة يتم ضخ الهواء المضغوط منها، كما تتم إضافة المواد المخثرة والمندفة إلى الحوض مباشرة. بعد إتمام المعالجة يتم ضخ المياه المعالجة إلى حوض التوازن في حين يتم كشط الندف المتشكلة يدوياً وحجمه الفعال 5 لتر.

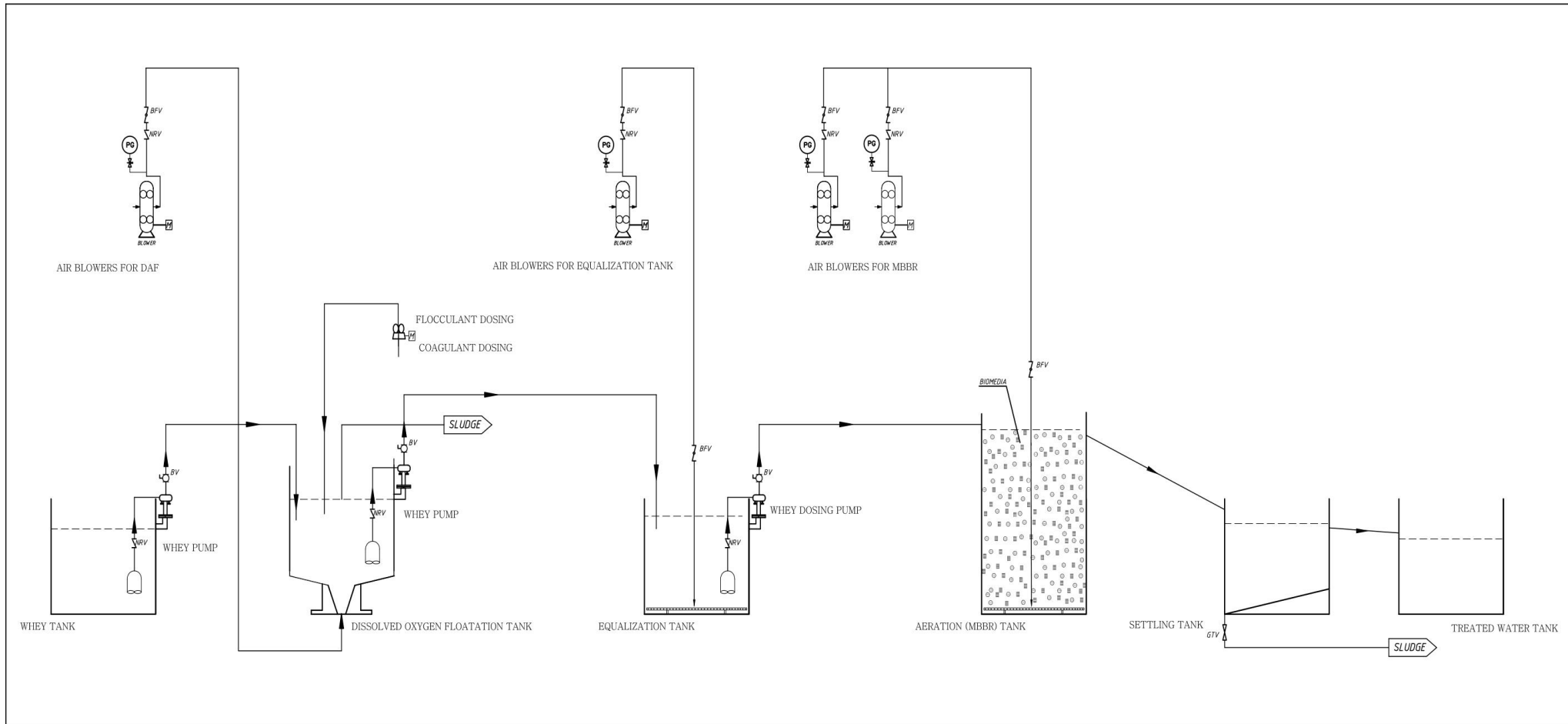
- حوض التوازن: يتم تجميع المياه الناتجة عن المعالجة الفيزيائية والكيميائية في هذا الحوض والذي يغذي حوض الحوامل البيولوجية المتحركة بغزارة ثابتة 1 لتر باليوم . الحوض مزود بشبكة تهوية في أسفله للعمل على الخلط المناسب للمكونات ومنع تشكل الظروف اللاهوائية، يتم التحقق من درجة pH في هذا الحوض بشكل مستمر وحجم الحوض الفعال 5 لتر.
 - حوض الحوامل البيولوجية المتحركة: حجم الحوض الفعال 10 لتر مملوء بالحوامل البلاستيكية من النوع K3 بنسبة 60 % والحوض مزود بشبكة تهوية بالهواء المضغوط متوضعة في أسفل الحوض تدخل المياه الحوض بالضغط من حوض التوازن وتخرج بالراحة إلى حوض الترسيب.
 - حوض الترسيب: حوض مستطيل ذو قعر مائل لتجميع الرواسب في حين تنتقل المياه المعالجة المتجمعة على السطح إلى حوض المياه المعالجة ويتم تفريغ الرواسب المتجمعة دورياً حجم الحوض الفعال 5 لتر.
 - حوض المياه المعالجة: يتم تجميع المياه المعالجة في هذا الحوض وحجمه الفعال 5 لتر.
 - مضخة الهواء لحوض التوازن: تزود خزان التوازن بالتهوية اللازمة.
 - مضخات الهواء لحوض الحوامل البيولوجية المتحركة: تزود حوض الحوامل البيولوجية المتحركة بالتهوية اللازمة.
 - مضخة الهواء لحوض التعويم بالهواء المضغوط: تزود حوض التعويم بالهواء المضغوط بالتهوية اللازمة.
 - مضخة تجريع المصل: تزود حوض الحوامل البيولوجية المتحركة بالمياه بغزارة ثابتة 1 لتر باليوم.
 - مضخة المصل: تنقل المصل من حوض التعويم بالهواء المنحل إلى حوض التوازن.
- يوضح الشكل 19 مخطط المحطة التجريبية (الحوامل البيولوجية المتحركة). كما يوضح الشكل 20 المخطط التكنولوجي للمحطة التجريبية.



الشكل 18 صورة المحطة التجريبية (الحوامل البيولوجية المتحركة)



الشكل 19 مخطط المحطة التحريية (الحوامل البيولوجية المتحركة)



الشكل 20 المخطط التكنولوجي للمحطة التجريبية (الحوامل البيولوجية المتحركة)

4.4.2. تشغيل المحطة التجريبية

تمت تغذية المحطة بالمخلفات السائلة بتركيز مختلفة من COD و BOD₅، والذي تم تحضيره بتمديد مصبل الجبن ذي المواصفات (COD = 53305 mg/l) و (BOD₅ = 23190 mg/l) بالماء. استطاعة المحطة التجريبية هي معالجة 1 لتر من مصبل الجبن يومياً. أجريت عملية المعالجة وفقاً للخطوات المبينة أدناه.

4.4.2.1. المعالجة الأولية

تمت إضافة مصبل الجبن إلى حوض المصل، تم إعداد الخلطات والتمديد في هذا الحوض. تم تعديل درجة pH في هذا الحوض أيضاً بإضافة ماءات الصوديوم (CaOH) Caustic Soda، تم تعديل درجة pH إلى حوالي 7 قبل عملية المعالجة الكيميائية لترفع فعالية المعالجة وتزيد تشكل الندف إلى الحد الأمثل.

4.4.2.2. المعالجة الفيزيائية والكيميائية

أجريت المعالجة الفيزيائية والكيميائية في خزان التعويم بالهواء المضغوط (DAF). تمت إضافة المواد الكيميائية مباشرة إلى الحوض حيث تم تحديد الجرعات بالاعتماد على التجارب المخبرية (ارجع إلى الشكل 21). استخدمت مادة كلوريد الألومنيوم Poly Aluminum Chloride (PAC) كمادة مخثرة والبوليمر Cationic Polymer كمادة مندفة وذلك لإزالة الزيوت والدهون وتخفيض الحمل العضوي. تم ضخ فقاعات الهواء من أسفل الحوض ذي الشكل المخروطي. تعمل فقاعات الهواء على خلط المواد الكيميائية مع مصبل الجبن والمساعدة على تجمع الندف المتشكلة على السطح. تم قشط طبقة الحمأة المتشكلة على السطح يدوياً في حين يتم ضخ السائل إلى خزان التوازن.



الشكل 21 تحديد جرعات المواد المنخثرة والمندفة اللازمة للمعالجة الكيميائية

4.4.2.3. فعالية المعالجة الفيزيائية الكيميائية

تسهم المعالجة الفيزيائية الكيميائية بالإضافة إلى تخفيض الحمل العضوي في إزالة محتوى المصل من الدهون والزيوت والذي يؤثر في عملية المعالجة البيولوجية اللاحقة. تم تحديد مواصفات المياه الناتجة عن المعالجة الفيزيائية الكيميائية وذلك لتحديد فعالية المعالجة الكيميائية. يبين الجدول 11 مواصفات المياه الناتجة عن المعالجة الفيزيائية والكيميائية.

الجدول 11 فعالية المعالجة الفيزيائية والكيميائية

فعالية المعالجة الكيميائية		مواصفات المياه الناتجة		مواصفات المياه الداخلة		التاريخ	المؤشر
COD	BOD ₅	COD (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)		
% 21.2	% 24.2	35800	14400	45450	19000	17/1/2013	العينة (1)
% 31.8	% 28.9	32320	16000	47375	22500	17/1/2013	العينة (2)
% 38.9	% 40	33500	15000	54850	25000	7/2/2013	العينة (3)
% 30.6	% 31	33875	15133				المتوسط

4.4.2.4 مناقشة نتائج المعالجة الفيزيائية والكيميائية

تبين نتائج التحاليل تخفيضاً ملحوظاً في المحتوى العضوي لمصل الجبن المراد معالجته نتيجة المعالجة الفيزيائية والكيميائية. تم تحديد فعالية المعالجة بحسب نسبة تخفيض المحتوى العضوي للمياه حيث بينت النتائج أن كفاءة المعالجة الفيزيائية الكيميائية التي تم الوصول إليها هي تخفيض COD بنسبة تصل إلى % 30.6 وتخفيض BOD₅ بنسبة تصل إلى % 31.

4.4.2.5 المعالجة البيولوجية

4.4.2.5.1 حوض التوازن

يغذي حوض التوازن حوض الحوامل البيولوجية المتحركة بغزارة ثابتة تبلغ (1 l/day). لعملية هضم الكربوهيدرات تكون درجة pH ضمن حدود 6 – 9 في حين تكون الفعالية عظمى عند تعديل درجة pH إلى 7. (Tchobanoglous et al., 2003)

يتم التحقق من درجة pH في حوض التوازن باستمرار وذلك للمحافظة على قيمتها حوالي 7. يتم التعديل بإضافة ماءات الصوديوم (CaOH) تم تزويد الحزان بشبكة تهوية مثبتة في الأسفل، تضمن فقاعات الهواء الخلط المستمر لمصل الجبن وتمنع تشكل الشروط اللاهوائية والترسيب.

4.4.2.5.2. حوض الحوامل البيولوجية المتحركة

إن الحجم الفعال للحوض هو 10 لتر في حين ترك هامش من الارتفاع مراعاةً لارتفاع السائل في الحوض نتيجة التهوية وتشكل الرغوة. تتراوح نسبة الملء بالحوامل البيولوجية ما بين (25 – 65%) حيث تم اختيار نسبة عالية للملء بالحوامل البلاستيكية وهي 60% وذلك للوصول لفعالية عالية للمعالجة بما يتناسب مع مياه المصل المراد معالجتها ذات التركيز العالي من المواد العضوية. تم ملء الحوض بالحوامل البلاستيكية بنسبة 60% أي ما يعادل 6 لتر من النوع AnoxKaldnes™ K3. (انظر الشكل 22)

يقدر السطح النوعي الكلي لهذا النوع من الحوامل بـ (600 m²/m³) ويمثل السطح الكلي كل من السطحين الداخلي والخارجي للحوامل، في حين أن السطح النوعي الحمي هو (500 m²/m³) والذي يمثل فقط السطح الداخلي للحوامل. تم تزويد الحوض بشبكة تهوية بالهواء المضغوط مثبتة في أسفله تعمل على تأمين الأكسجين اللازم لعملية الهضم البيولوجي وإبقاء الحوامل البيولوجية في حركة مستمرة ضمن الحوض.



الشكل 22 الحوامل البيولوجية AnoxKaldnes™ K3

يعد التركيز المثالي للأكسجين المنحل في حوض التهوية (2 mg/l) ، في حين أن التركيز يجب أن يكون أعلى من (0.5 mg/l) لمنع تشكل الظروف اللاهوائية . (Tchobanoglous et al., 2003)

تم اعتماد تركيز الأكسجين المنحل في حوض التهوية بحيث يكون أكبر من (2 mg/l) وتم تصميم واختيار نظام التهوية بحيث يؤمن هذه النسبة.

عند معالجة مياه الصرف الصناعية من الضروري أقلمة الكتلة الحيوية في المياه بهدف إقلاع محطة المعالجة. تحدد العديد من العوامل مثل مصدر الكتلة الحيوية ودرجة حرارة التشغيل وعمر الحمأة الوقت اللازم لإنجاز عملية الأقلمة. تتراوح فترة الأقلمة المثالية ما بين عدة أيام إلى خمسة أو ستة أسابيع، ويمكن أن لا تحدث عملية الأقلمة مطلقاً. (Eckenfelder and Musterman, 1995)

4.4.2.5.3 إقلاع وتشغيل حوض الحوامل البيولوجية المتحركة

تم بدء التشغيل بتاريخ 2013/11/10 باستخدام حمأة هوائية من محطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة دمشق في عدرا وهي محطة تعمل بتقنية الحمأة المنشطة التقليدية وذلك لتسريع تشكل ونمو الكتلة الحيوية. الحمأة المستعملة لبدء التشغيل كانت بحجم 5 لتر (أي ما يعادل % 50 من الحجم الفعال لحوض التهوية). بدأت تغذية المحطة بمصل الجبن المخفف الناتج عن عملية المعالجة الكيميائية. تم تحديد الجرعات بحيث يكون الحمل العضوي للمياه التي تدخل حوض التهوية مشابه للحمل العضوي في مياه الصرف الصحي (% 2.5 مصال الجبن) لإنجاز أقلمة الكتلة الحيوية ونمو الفيليم البيولوجي على سطوح الحوامل البلاستيكية.

تحدث أكسدة الكربون نموذجياً بعد 5 - 2 يوم لكنها قد تأخذ وقتاً أطول للوصول إلى سماكة شبه ثابتة للفيليم البيولوجي والكتلة والجريان. (WEF, 2010)

بدأت طبقة رقيقة من الفيليم البيولوجي تتشكل على سطح الحوامل البلاستيكية بعد أسبوعين من بدء التشغيل وذلك بتاريخ 2013/11/25. تمت زيادة تركيز المصل المخفف الذي يغذي المحطة للوصول إلى الحمل الأعظمي

($\text{COD} = 33875 \text{ mg/l}$) و ($\text{BOD}_5 = 15133 \text{ mg/l}$) في الوقت الذي ازدادت

سماكة الفيليم البيولوجي.

تم تشغيل الحوض بتطبيق أحمال عضوية مختلفة. بدأت تغذية حوض التهوية بـ (50 ml) من مصل الجبن لكل 1 لتر من المياه (تركيز 5 %). تم تثبيت زمن المكث والذي يساوي 10 أيام. تدريجياً تمت زيادة قوة المصل المغذي على مراحل للوصول إلى الحد الأعظمي (تركيز 100%). تمت مراقبة أداء الحوض من خلال القياس اليومي لكل من درجة الحموضة والأكسجين المنحل. استغرقت عملية الوصول إلى التغذية بمصل الجبن المركز أربعة أسابيع وذلك بتاريخ 2012/12/25.

من الشائع أن تتشكل طبقة رقيقة من الرغوة على سطح حوض الحوامل البيولوجية عند بدء التشغيل وتشكل الفيلم البيولوجي. (WEF, 2010)

تم التخلص من الرغوة بإضافة محلول ذي قوام زيتي مضاد للرغوة بكميات صغيرة جداً (أقل من 5 % من حجم الحوض) مباشرة إلى حوض الحوامل البيولوجية المتحركة عند الحاجة.

4.4.2.5.4 حوض الترسيب النهائي

يتدفق تيار المياه من حوض الحوامل البيولوجية المتحركة إلى حوض الترسيب والذي يعمل على فصل الحمأة عن المياه المعالجة. تترسب الحمأة على القاع المائل لحوض الترسيب والتي يتم تفريغها دورياً في حين تنتقل المياه المعالجة إلى حوض المياه المعالجة.

4.4.2.5.5 حوض المياه المعالجة

يتم تجميع المياه المعالجة في هذا الحوض كما يتم أخذ عينات دورية لقياس فعالية المعالجة.

4.4.2.6 فعالية المعالجة البيولوجية

للتحقق من فعالية المعالجة البيولوجية في حوض الحوامل البيولوجية المتحركة وذلك بعد الوصول إلى التغذية بالحمل الأعظمي ممثلاً بمصل الجبن المركز (تركيز 100 %) تم قياس كل من قيمتي COD وBOD₅ للمياه الناتجة عن الحوض بعد مرورها على حوض الترسيب. تم أخذ العينات من حوض المياه المعالجة بشكل دوري (انظر الشكل 25). يبين الجدول 12 نتائج تحاليل عينات المياه المعالجة.

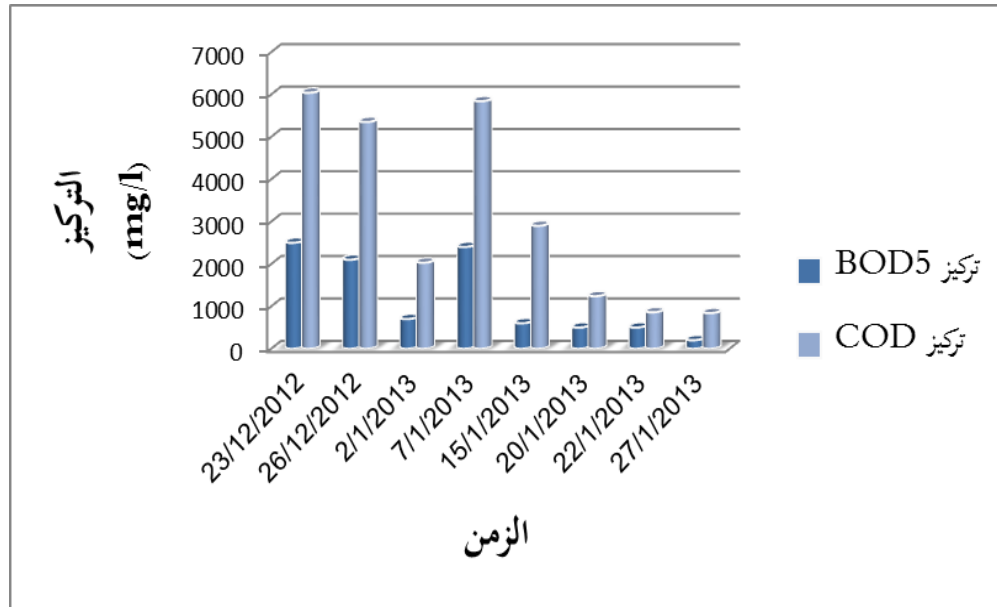
الجدول 12 فعالية المعالجة البيولوجية

فعالية المعالجة البيولوجية		مواصفات المياه الناتجة		مواصفات المياه الداخلة		التاريخ	المؤشر
COD	BOD5	COD (mg/l)	BOD5 (mg/l)	COD (mg/l)	BOD5 (mg/l)		
% 82.2	% 83.5	6040	2500	33873	15133	23/12/2012	العينة (1)
% 84.2	% 86.1	5350	2100	33873	15133	26/12/2012	العينة (2)
% 94	% 95.4	2030	700	33873	15133	2/1/2013	العينة (3)
% 82.8	% 84.1	5840	2400	33873	15133	7/1/2013	العينة (4)
% 91.4	% 96	2900	600	33873	15133	15/1/2013	العينة (5)
% 96.3	% 96.7	1240	500	33873	15133	20/1/2013	العينة (6)
% 97.5	% 96.7	860	500	33873	15133	22/1/2013	العينة (7)
% 97.5	% 98.7	840	200	33873	15133	27/1/2013	العينة (8)

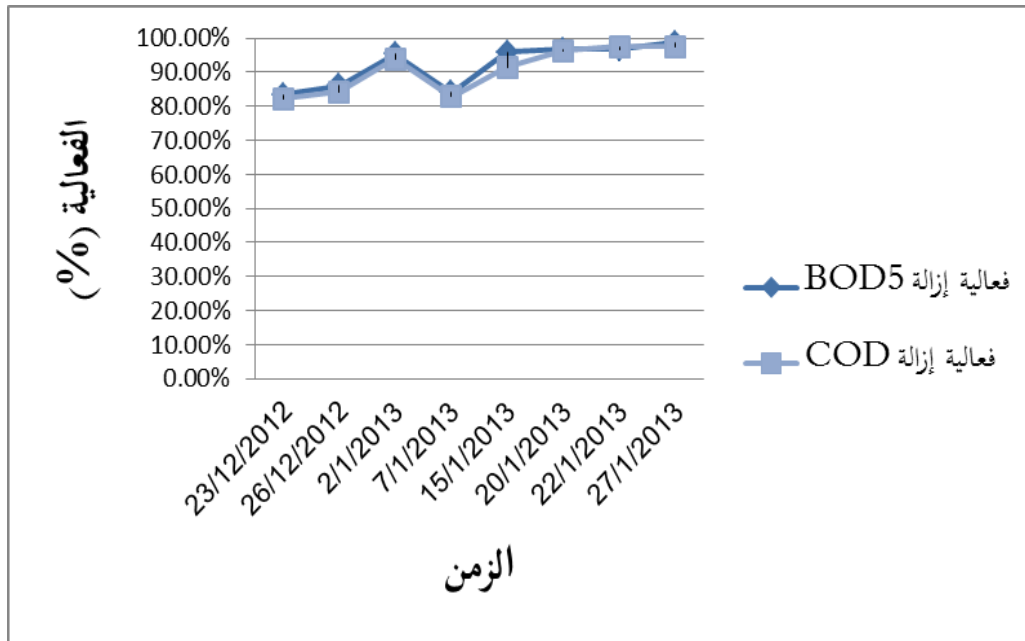
4.4.2.7 مناقشة نتائج المعالجة البيولوجية

تم تحديد نسبة تخفيض الحمل العضوي باستخدام متوسط العينات التي نتجت عن المعالجة الفيزيائية والكيميائية باعتبارها المياه الداخلة لحوض الحوامل البيولوجية المتحركة. تظهر التحاليل أن فعالية المعالجة البيولوجية ارتفعت مع تقدم الزمن حتى الوصول إلى الفعالية العظمى بعد ستة أسابيع. تظهر العينة 4 نقصاً في فعالية المعالجة البيولوجية بسبب انقطاع الكهرباء والتوقف المؤقت للتهوية. تمت استعادة فعالية المعالجة البيولوجية إلى الحالة الطبيعية بعد استئناف التهوية. يظهر الشكل 23 تناقص تركيز كل من COD و BOD₅ مع تقدم عملية المعالجة كما يبين الشكل 24 ازدياد كفاءة المعالجة البيولوجية مع تقدم الزمن ممثلة بنسبة تخفيض كل من COD و BOD₅.

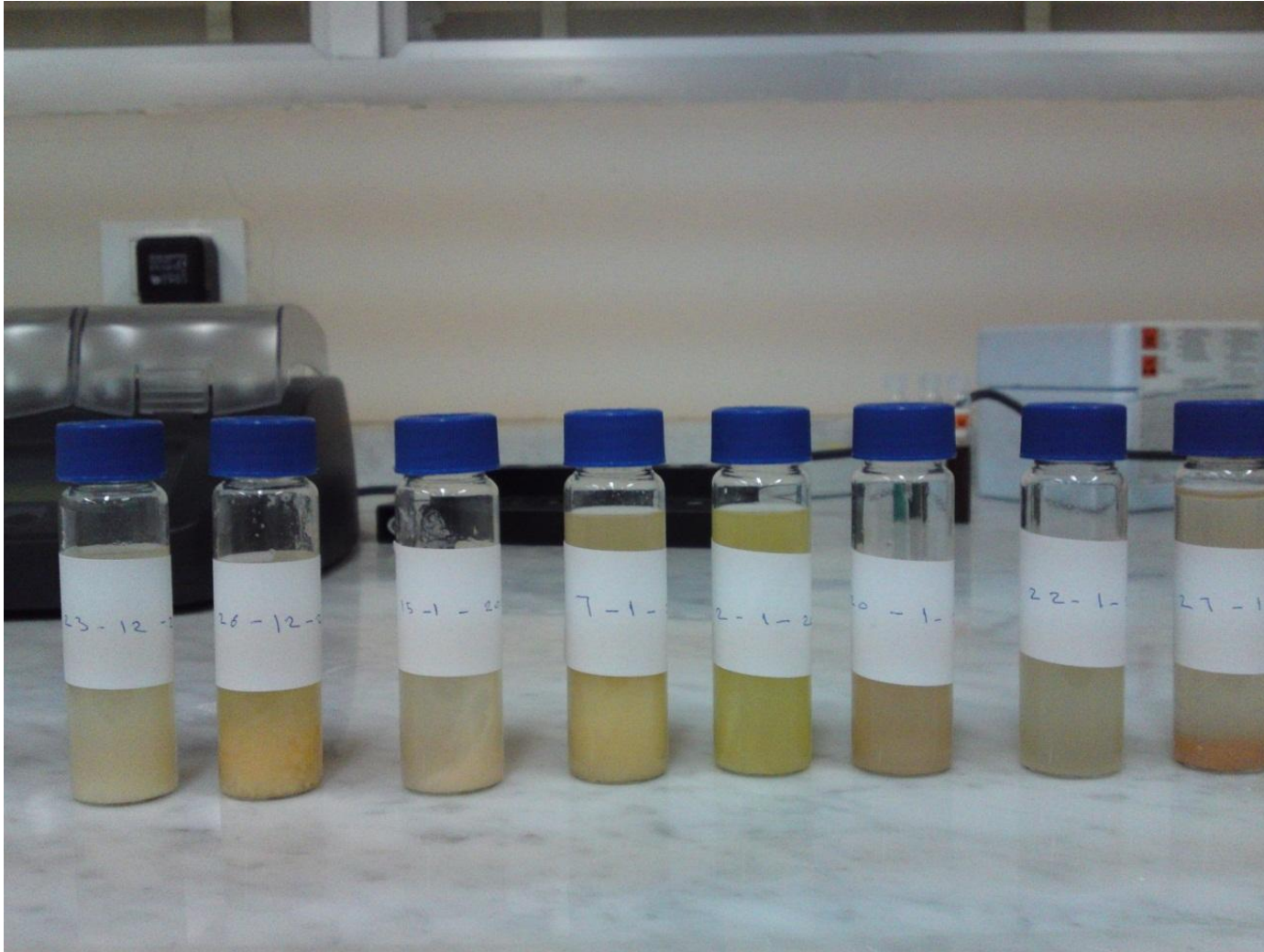
بينت النتائج أن الفعالية الأعظمية للمعالجة البيولوجية في الحوض وهي 97.5 % لتخفيض COD و 98.7 % لتخفيض BOD₅.



الشكل 23 تركيز BOD₅ و COD في المياه المعالجة بالنسبة للزمن



الشكل 24 فعالية المعالجة البيولوجية - تخفيض BOD₅ و COD



الشكل 25 عينات المياه المعالجة

4.4.2.7.1 تركيز الكتلة الحيوية *MLSS* في حوض الحوامل البيولوجية

المتحركة

تتألف الحمأة (الكتلة الحيوية) في حوض الحوامل البيولوجية المتحركة من جزأين، جزء معلق (سباح) وجزء مرتبط (ينمو على سطوح الحوامل المتحركة). إن التركيز المثالي الكلي للحمأة (السابحة والمرتبطة) في حوض الحوامل البيولوجية المتحركة يبلغ حوالي (8.5 – 13 gSS/l) . (Rusten et al., 1998) . تم قياس تركيز الكتلة الحيوية في حوض الحوامل البيولوجية المتحركة للمحطة التجريبية. بينت القياسات أن تركيز الكتلة الحيوية للنمو المعلق يبلغ (4.2 gSS/l) وأن تركيز الكتلة الحيوية للنمو المرتبط (المتوضع على السطحين الداخلي والخارجي للحوامل البلاستيكية) يبلغ (6.5 gSS/l) وبالتالي فإن التركيز الكلي للكتلة الحيوية في حوض الحوامل البيولوجية المتحركة والذي يشمل النمو المعلق والنمو المرتبط حوالي (10.7 gSS/l) والذي يتوافق مع القيم المرجعية.

4.4.2.7.2 المردود النظري والمردود الفعلي لحوض الحوامل البيولوجية

المتحركة

تم قياس الفعالية النظرية لحوض الحوامل البيولوجية المتحركة للتحقق فيما إذا كانت التقنية قادرة على الوصول إلى هذه الفعالية.

حجم حوض التهوية الفعال 10 لتر

حجم الحوامل البلاستيكية من نوع K3 (نسبة الملاء % 60) 6 لتر.

الوزن النوعي للحوامل البلاستيكية من نوع K3 هو (95 kg/m³)

يبلغ وزن 6 لتر من الحوامل البلاستيكية:

$$95/1000 \times 6 = 0.57 \text{ kg}$$

مساحة السطح المحمي للحوامل البلاستيكية (500 m²/m³).

المساحة السطحية للحوامل المتحركة المتوفرة لنمو الفيليم البيولوجي:

$$6 \times 500 / 1000 = 3 \text{ m}^2$$

تصمم محطات المعالجة التي تعمل بتقنية الحوامل البيولوجية المتحركة باستخدام التحميل السطحي

العضوي (g BOD₅/m².day) . تتراوح قيمة هذا التحميل للوصول إلى نتائج المعالجة الثانوية ما بين

(5-10 g BOD₅/m².day) في درجة الحرارة (10 °C). (WEF, 2010).

تم اعتماد التحميل السطحي العضوي لحوض الحوامل البيولوجية المتحركة في المحطة التجريبية
(5 g BOD₅/m².day) في درجة الحرارة (10 °C).

وبالتالي يكون الحمل العضوي اليومي الممكن معالجته نظرياً في حوض الحوامل البيولوجية المتحركة هو:
 $3 \text{ m}^2 \times 5 \text{ g BOD}_5/\text{m}^2.\text{day} = 15 \text{ g BOD}_5/\text{day}$
 $= 0.015 \text{ kg BOD}_5/\text{day}$

أي أن حوض الحوامل البيولوجية المتحركة قادر على معالجة 1 لتر في اليوم من المصل حملة
العضوي (15000 mg/l) من BOD₅.
 إن الحمل العضوي اليومي الوسطي الداخلة إلى حوض الحوامل البيولوجية المتحركة والنتائج من مرحلة
المعالجة الفيزيائية والكيميائية هو (15133 mg BOD₅/day) حيث:
 الغزارة اليومية 1 لتر باليوم.
 تركيز BOD₅ في المياه الداخلة (15133 mg/l).

إن المردود الفعلي الذي تم التوصل إليه خلال التشغيل هو خفض BOD₅ بنسبة 98.7 %
 حيث بلغت قيمة BOD₅ في المياه المعالجة (200 mg/l) وبالتالي يكون الحمل العضوي اليومي الذي
 يعالجه حوض الحوامل البيولوجية المتحركة هو (14933 mg BOD₅/day). وفقاً لذلك، يمكن
 اعتبار المحطة التجريبية تعمل بكفاءة عالية.

4.4.2.7.3 التحميل الحجمي العضوي لحوض الحوامل البيولوجية المتحركة

بحسب التحميل الحجمي العضوي لحوض الحوامل البيولوجية المتحركة من العلاقة:

$$V\text{-loading} = Bd, \text{BOD} / V$$

$$V\text{-loading} = 15.133 \times 10^{-3} / 10 \times 10^{-6} = 1.5 \text{ kg BOD}/\text{m}^3.\text{day}$$

V-loading: التحميل الحجمي العضوي (kg BOD/m³.day)

Bd, BOD: الحمل العضوي اليومي (kg BOD/day)

V: حجم حوض الحوامل البيولوجية المتحركة (m³)

الكتلة الحيوية في واحدة الحجم:

$$MLSS = 10.7 \text{ kg SS/m}^3$$

تحميل الحمأة:

$$F/M = V\text{-loading} / MLSS$$

$$F/M = 1.5 / 10.7 = 0.14 \text{ kg BOD/kg MLSS.day}$$

هذه الحسابات تستخدم للمقارنة فقط حيث يتم تصميم محطات الحوامل البيولوجية المتحركة بالاعتماد على الحمل العضوي السطحي.

4.4.3. المقارنة بين تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة وتقنية الحمأة المنشطة – التهوية المديدة

تهدف المقارنة إلى التحقق من الميزات الفنية والاقتصادية التي تحققها تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة. تم حساب حجم حوض التهوية لمحطة تعمل بتقنية الحمأة المنشطة – التهوية المديدة وذلك لمعالجة مياه بغزاره 1 لتر باليوم وبحمل عضوي يبلغ (14933 mg BOD₅/day) وذلك بهدف الحصول على مردود معالجة مماثل لتقنية الحوامل البيولوجية المتحركة. تم حساب التحميل الحجمي العضوي بالعلاقة:

$$V\text{loading} = MLSS \times F/M$$

يقدر تحميل الحمأة F/M في محطة الحمأة المنشطة – التهوية المديدة بأقل أو يساوي (0.05 kg BOD₅/kg MLSS.day).

تم اعتماد قيمة معامل F/M لتقنية الحمأة المنشطة – التهوية المديدة (0.05 kg/kg.day). تقدر كمية المادة الجافة في واحدة الحجم MLSS في محطة الحمأة المنشطة – التهوية المديدة بحوالي (4 – 5 kg MLSS/m³).

تم اعتماد قيمة MLSS لتقنية الحمأة المنشطة – التهوية المديدة (5 kg MLSS/m³). فيكون التحميل الحجمي العضوي:

$$V\text{-loading} = 5 \times 0.05 = 0.25 \text{ kg BOD/ m}^3 \cdot \text{day}$$

وبالتالي يبلغ حجم حوض التهوية:

$$0.0149 / (5 \times 0.05) = 0.095 \text{ m}^3 = 59 \text{ l}$$

يبين الجدول 13 مقارنة حجم حوض التهوية في كل من تقنيتي الحوامل البيولوجية المتحركة و الحمأة المنشطة - التهوية المديدة.

الجدول 13 مقارنة حجم حوض التهوية في تقنيتي الحوامل البيولوجية المتحركة و الحمأة المنشطة - التهوية المديدة

النسبة %	الحمأة المنشطة - التهوية المديدة	الحوامل البيولوجية المتحركة	
16.9 %	59	10	حجم حوض التهوية (l)
600 %	0.25	1.5	التحميل الحجمي (kg BOD/m ³ .d)

تبين نتائج المقارنة أن هناك وفراً كبيراً في حجم حوض التهوية، حيث تحتاج طريقة الحوامل البيولوجية المتحركة إلى 17 % من حجم الحوض الذي تتطلبه تقنية الحمأة المنشطة - التهوية المديدة حيث ازداد التحميل الحجمي العضوي 6 أضعاف في تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة عنه في تقنية الحمأة المنشطة التهوية المديدة.

4.4.4. مردود محطة المعالجة التجريبية

تم تحديد مردود محطة المعالجة التجريبية كاملةً والتي تشمل مراحل المعالجة الأولية والمعالجة الفيزيائية والكيميائية بالإضافة إلى مرحلة المعالجة البيولوجية باستخدام تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة. تم حساب مردود المعالجة للمحطة التجريبية بحساب نسبة التخفيض لكل من COD و BOD5 في المياه المعالجة نسبةً إلى المصل الخام الذي يدخل المحطة. يبين الجدول 14 مواصفات المياه الداخلة إلى محطة المعالجة ومواصفات المياه الناتجة عنها.

الجدول 14 مردود المحطة التجريبية في معالجة مصل الجبن

مردود محطة المعالجة		مواصفات المياه الناتجة		مواصفات المياه الداخلة	
COD	BOD ₅	COD (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)
% 98.4	% 99.1	840	200	53305	23190

بينت النتائج أن كفاءة محطة المعالجة التجريبية التي تم الوصول إليها هي تخفيض COD بنسبة تصل إلى 98.4 % وتخفيض BOD₅ بنسبة تصل إلى 99.1 %.

الفصل الخامس
النتائج والتوصيات

5. النتائج والتوصيات

أثبت البحث إمكانية معالجة المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الأجبان (مصل الأجبان) على نحو فعال باستخدام تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة وذلك كعملية لاحقة للمعالجة الأولية والمعالجة الفيزيائية والكيميائية. تم تخفيض COD بنسبة % 98.4 من (53305 mg/l) إلى (840 mg/l)، وتخفيض BOD₅ بنسبة % 99.1 من (23190 mg/l) إلى (200 mg/l).

قدمت التجارب العملية للبحث نتائج جيدة عن أداء المحطة التجريبية التي تعمل بتقنية الحوامل البيولوجية المتحركة لمعالجة المصل الناتج عن تصنيع الأجبان. تشير النتائج إلى مايلي:

- أثبت النظام فعالية المعالجة البيولوجية بتقنية الحوامل البيولوجية المتحركة في إزالة % 97.5 من COD، وإزالة % 98.7 من BOD₅، وبالتالي يمكن استعمال تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة في معالجة المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الأجبان (مصل الأجبان).
- إن المعالجة البيولوجية باستخدام تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة تتفوق من حيث الفعالية والتكلفة على تقنية الحمأة المنشطة - التهوية المديدة حيث تحقق وفراً في حجم حوض التهوية يصل إلى % 83.3.

يوصي البحث باعتماد تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة كبديل أكثر فعالية تقنياً واقتصادياً من تقنية الحمأة المنشطة - التهوية المديدة لمعالجة المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الأجبان (مصل الأجبان) في سورية كما يوصي باعتماد التقنية في المواقع التي لا تتوفر فيها المساحات الكافية للطرائق الأخرى. يوصى بمتابعة الأبحاث التي تدرس استخدام تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة في معالجة المخلفات السائلة الناتجة عن تصنيع الأجبان وذلك ل:

- تحديد كمية الأكسجين اللازم للتفاعلات البيولوجية ومقارنتها مع طريقة الحمأة المنشطة - التهوية المديدة.
- دراسة الحمأة الناتجة عن تقنية الحوامل البيولوجية المتحركة وتحديد كميتها وخواصها.
- تجريب آلية المعالجة البيولوجية بطريقة الحوامل البيولوجية على مرحلتين لاهوائية ثم هوائية والتحقق من المردود والنهائي وحجم الأحواض.
- تجريب إجراء المعالجة البيولوجية بطريقة الحوامل المتحركة باستخدام حوامل محلية الصنع.

المراجع

6. المراجع

AL Bahra, M., Daghestani, M., Al Shaal, S., and Al Hamwi, B. (2002). The whey Utilization for the Production of Some Important Economic Compounds. Syria.

Al Neesh, N. (1999). Costs of Environmental Degradation and Scarcity of Natural Resources between Theory and Applicability in the Arab Countries. Kuwait.

Al Turkmani, A. (2007). Dairy Industry Effluents Treatment. Bucharest.

Al Turkmani, A. (2009). Evaluation of National Plan for Municipal Wastewater Management in Syria. Syria.

Andreottola, G., Foladori, R., Ragazzi, M., Tatano, F. (2000). Experimental Comparison between MBBR and Activated Sludge System for the Treatment of Municipal Wastewater. Water Science & Technology. Italy

Asano, T., Burton, F.L., Leverenz, H.L., Tsuchihashi, R., Tchobanoglous, G. (2007). Water Reuse: Issues, Technologies, and Application. Metcalf & Eddy, AECOM. USA.

ATV – DVWK – A131. (2000). Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants. Germany

Aygun, A., Nas, B., Berkay, A. (2007). Influence of High Organic Loading Rates on COD Removal and Sludge Production in Moving Bed Biofilm Reactor. Turkey.

Asiedu, K. (2001). Evaluation Biological Treatment Systems. USA.

Canziani, R., Emondi, V., Garavaglia, M., Malpei, F., Pasinetti, E., Buttiglieri, G. (2006). Effect of Oxygen Concentration on Biological Nitrification and Microbial Kinetics in a Cross-flow Membrane Bioreactor (MBR) and Moving-bed Biofilm Reactor (MBBR) Treating Old Landfill Leachate. Italy.

CBS, Central Bureau of Statistic. (2011). Statistical Yearbook (Sixty Fourth Version). Syria.

Chen, S., Sun, D., Chung, J.S. (2006). Treatment of Pesticide Wastewater by Moving-bed Biofilm Reactor Combined with Fenton-coagulation Pretreatment. China.

Chen, S., Sun, D., Chung, J.S. (2007). Simultaneous Removal of COD and Ammonium from Landfill Leachate Using an Anaerobic-aerobic Moving-bed Biofilm Reactor System. China.

Corbitt, R.A. (2004). Standard Handbook of Environmental Engineering (6th ed.). USA.

Dupla, M., Comeau, Y., Parent, S., Villemur, R., Jolicoeur, M. (2005). Design Optimization of a Self-cleaning Moving-bed Bioreactor for Seawater Denitrification. Canada.

Eckenfelder, W.W., Musterman, J.L. (1995). Activated Sludge Treatment of Industrial Wastewater. USA.

EPA. Au, Environment Protection Authority, Australia. (1997). Environmental Guidelines for the Dairy Processing Industry. Australia.

Escobar, F.C., Marin, J. P., Mateos, P. A., Guzman, F.R., Barrantes, M.M.D. (2004). Aerobic Purification of Dairy Wastewater in Continuous Regime Part II: Kinetic Study of the Organic Matter Removal in Two Reactor Configurations. Spain.

Fang, H. H. P. (1991). Treatment of Wastewater from a Whey Processing Plant Using Activated Sludge and Anaerobic Processes. Hong Kong.

FAO, Food and Agriculture Organization. (1989). The Technology of Traditional Milk Products in Developing Countries.

Farhadian, M., Duchez, D., Vachelard, C., Larroche, C. (2007). Monoaromatics Removal from Polluted Water through Bioreactors - A Review. France.

Fox. P. F. and Mc Sweeney, P.L.H. (1998). Dairy Chemistry and Biochemistry. Ireland.

Gillies, M. T. (1974). Whey Processing and Utilization: Economic and Technical Aspect. Noyes Data Corp. New Jersey.

- Gray, N.F. (2004). *Biology of Wastewater Treatment* (2nd ed.). UK.
- Handajani, M. (2004). *Degradation of Whey in an Anaerobic Fixed Bed (AnFB) Reactor*. Germany.
- Hosseini, S.H., Borghei, S.M. (2004). *The Treatment of Phenolic Wastewater Using a Moving Bed Bio-reactor*. Iran.
- Hui, Y.H. (1993). *Dairy Science and Technology Handbook* (Volumes 1-3). USA.
- IDF, International Dairy Federation. (1984). *Balance Tanks for Dairy Effluent Treatment Plants*.
- Jahren, S.J., Rintala, J.A., Ødegaard, H. (2002). *Aerobic Moving Bed Biofilm Reactor Treating Thermomechanical Pulping Whitewater Under Thermophilic Conditions*. Norway.
- Labelle, M.A., Juteau, P., Jolicoeur, M., Villemur, R., Parent, S., Comeau, Y. (2005). *Seawater Denitrification in a Closed Mesocosm by a Submerged Moving Bed Biofilm Reactor*. Canada.
- Luostarinen, S., Luste, S., Valentin, L., Rintala, J. (2006). *Nitrogen Removal from On-site Treated Anaerobic Effluents using Intermittently Aerated Moving Bed Biofilm Reactors at Low Temperatures*. Finland.
- MOEA, Ministry of Environmental Affairs. (2011). *Guides of Water Bodies Quality in Syria*. Syria.

- MOI, Ministry of Irrigation. (2010). Water Balance. Syria.
- Mosey, F.E. (1996). Biofilms on Kaldnes Carrier Particles. Cambridgeshire. UK.
- Nadias, H., Capela, I., Arroja, L., Duarte, A. (2005). Treatment of Dairy Wastewater in UASB Reactors Inoculated with Focculent Biomass. Portugal.
- Plattes, M., Fiorelli, D., Gille, S., Girard, C., Henry, E., Minette, F., O'Nagy, O., Schosseler, P.M. (2006). Modelling and Dynamic Simulation of a Moving Bed Bioreactor Using Respirometry for the Estimation of Kinetic Parameters. Luxembourg.
- Plattes, M., Henry, E., Schosseler, P.M., Weidenhaupt, A. (2006). Modelling and Dynamic Simulation of a Moving Bed Bioreactor for the Treatment of Municipal Wastewater. Luxembourg.
- Puget, F.P., Melo, M.V., Massarani, G. (2004). Modelling of the Dispersed Air Flotation Process Applied to Dairy Wastewater Treatment. Brazil.
- Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes, Y., Lygren, E. (2005). Design and Operations of the Kaldnes Moving Bed Biofilm Reactors. Norway.
- Rusten, B., McCoy, R., Proctor, R., Siljuden, J. (1998). The Innovative Moving Bed Biofilm Reactor/Solids Contact Reaeration

Process for Secondary Treatment of Municipal Wastewater. *Water Environment Research* (vol. 70).

Salvetti, R., Azzellino, A., Canziani, R., Bonomo, L. (2006). Effects of Temperature on Tertiary Nitrification in Moving-bed Biofilm Reactors. Italy.

Sawyer, C.N., Mccarty, P.L., Parkin, G.F. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science* (5th ed.). USA.

Smith, J.H. (1995). *Cheesemaking in Scotland – A History*. The Scottish Dairy Association. Glasgow. Scotland.

Stenstrom, M.K., Rosso, D., Melcer, H., Appleton, R., Langworthy, A., and Wong, P. (2008). *Oxygen Transfer in a Full-Depth Biological Aerated Filter*. USA.

Tchobanoglous, G., Burton, F.L., and Stensel, H.D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4th ed.). Metcalf & Eddy, Inc. USA.

UNEP, United Nations Environment Programme. (2002). *Cleaner Production Assessment in Dairy Processing*.

Wang, L.K., Hung, Y.T., Howard H.L., and Yapijakis, C. (2004). *Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment*. USA.

Wang, X.J., Xia, S.Q., Chen, L., Zhao, J.F., Renault, N.J., Chovelon, J.M. (2005). *Nutrients Removal from Municipal*

Wastewater by Chemical Precipitation in a Moving Bed Biofilm Reactor. France.

WEF, Water Environment Federation. (2010). WEF Manual of Practice No.8 ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 76 (5th ed.). USA.

Ødegaard, H. (1999). The Moving Bed Biofilm Reactor. Norway.

Selection of the Best Technology to Treat the Wastewater from Cheese Manufacturing

The research aims to comparatively evaluate and select the better biological process between moving bed biofilm reactor (MBBR) and activated sludge – extended aeration for the treatment of industrial wastewater produced by the cheese industry in Syria.

A pilot plant was run to treat the wastewater (whey) produced from cheese manufacturing following the traditional method.

Treatment process stages included:

- Preliminary treatment: pH adjustment;
- Physical and chemical treatment: dissolved floatation air for the removal of oil and grease in addition to organic load reduction;
- Biological treatment: MBBR; and
- Sedimentation: separation the solids from the treated water.

Biological Oxygen Demand (BOD₅) and Chemical Oxygen Demand (COD) were used as performance indicators for treatment efficiency.

MBBR proved to be efficient in treating the whey with a reduction of 97.5% for COD and 98.7% for BOD₅.

The results and efficiency of the biological treatment using the MBBR were compared theoretically with the activated sludge – extended aeration process. The comparison indicated that the

MBBR is more efficient and has a smaller footprint than the activated sludge – extended aeration process. The MBBR can achieve more than 80% reduction in the aeration tank volume. Accordingly, the MBBR process is recommended as the most efficient alternative for the treatment of wastewater (whey) produced by the cheese manufacturing in Syria.

Damascus University

Civil Engineering Faculty

Environment Engineering Department



Selection of the Best Technology to Treat the Wastewater from Cheese Manufacturing

This Thesis was Prepared of the Requirements of the Master Degree of the Environment Engineering

Prepared by

Eng. Wiam Khabssa

Supervised by

Dr. Eng. Ghassan Durra Haddad

2013