وزارة التعليـم العالـي والبحـث العلمـي

جامعـة قاصـدي مربـاح ورقلـة

كليـة الرياضيات وعلـوم المـادة

قسـم الكيمياء

مذكـرة مقدمة لنيل شهادة ماستر أكاديمي

فـيالكيـمياء.

التخصص: كيمياء المحيط

من إعداد:اكرام بن شبيبة، شهرزاد بوقرينات

بعنـوان

دراسة نظريـة حول استخدامات حمأة مياه الصرف الصحي

نوقشت علنا يوم:8 جوان2022أمام لجنة المناقشة:

زاوي منال	أستاذ محاضر (أ)	رئيسا
بن منين عبد القادر	أستاذ محاضر (أ)	مناقشا
شاوش خولة	أستاذ محاضر (ب)	مـقررا

السنة الجامعية :2022/2021

اهـــــداء

إلهي لا يطيب الليل الا بذكرك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك ولا تطيب اللحظات الا بذكرك... ولاتطيب الأخرة الا بعفوك...ولا تطيب الجنة إلا برؤيتك "يا ذا الجلال والإكرام".

الى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة ونصح الأمة الى نبي الرحمة ونور العالمين "سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم".

الى من جرع الكأس فارغا ليسقيني قطرة حب الى من كلت أنامله ليقدم لنا لحظة سعادة الى من حصد الأشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم الى من أهدته الحياة المتاعب فأهداني الراحة والطمأنينة الدي علمني أن أرتقي سلم الحياة بحكمة وصبر وكان دائما خلفي **"والدي العزيز".**

"بن شبيبة عبد الله" أطال الله في عمره وأمده بالصحة والعافية.

الى ملاكي في الحياة، الى التي ملأت قلبي وردا، وروحي عطرا، الى من قلبها يسع الكون كله، الى معنى الحب الى معنى الحنان والتفاني الى بسمة الحياة وسر الوجود الى من تنير دربي، الى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي **" أمي الحبيبة "** أطال الله في عمرها وأمدها بكل خير وصحة وعافية.

الى من حبهم يجري في عروقي ويلهج بذكراهم فؤادي، الى من أتقاسم معهم المحبة الأسرية الى من أعيش معهم أحلى وأجمل اللحظات، الى أخواتي**" عصام، فارس، فيصل، محمد رامي"** حفظهم الله ووفقهم، والى كل أفراد عائلتي جدي وجدتي وخالاتي واخوالي وعمتي وأعمامي.

الى كل صديقاتي وأخص بالذكر صديقتي **"بن حميدة ريهام"** وكل زميلاتي في المشوار الدراسي والجامعي.

الى كل من علمني حرفا طيلة فترة دراستي... فخيركم من تعلم وعلم وبفاضي القلم الباكي ...وأخص بالذكر أستاذتي حفظها الله ورعاها **"شاوش خولة"**

الى كل من وسعته ذاكرتي ولم تسعه مذكرتي .....

الى كل هؤلاء أهدي ثمرة جهدي...

بن شبيبة إكرام

اهـــــداء

يا من أحمل أسمك بكل فخر ... يا من أفتقدك ، يا من يرتعش قلبي لذكرك يا من أودعتني لله أهديك هذا البحث أبي الراحل **" محمد البشير بوقرينات"**

الى حكمتي و علمي الى أدبي وحلمي ... الى طريقي المستقيم ، الى طريق الهداية ، الى ينبوع الصبر والتفاؤل و الامل ، الى جميع من في الوجود بعد الله ورسوله **" امي الغالية "**الى سندي و قوتي و ملاذي بعد الله ، الى من أثروني على نفسهم ، الى من علموني علوم الحياه ، الى من أظهروا لي ما هو أحلى من الحياة اخوتي **" رمزي مروان علاء الدين عبد الباسط رياض"**أخواتي **" سهام مفيدة كريمة سارة نبيلة "** الى زوجات إخوتي و ازواج أخواتي و أولادهم حفظهم الله ورعاهم ، الى كل أفراد عائلتي جدتي و خالاتي وعماتي و أعمامي .

الى كل من كانوا ملاذي و ملجئي ... الى من تذوقت معهم احلى اللحظات ... الى من سأفتقدهم وأتمنى أن يفتقدوني ... إلى من جعلهم الله اخوتي في الله ... و من احببتهم بالله صديقاتي العزيزات و اخص بالذكر **" جهاد بوقافلة ، رحاب بوخشبة ".**

لابد لنا و نحن نخطو خطواتنا الأخيرة في الحياة الجامعية من وقفة تعود الى أعوام قضيناها في رحاب الجامعة مع أساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا العديد ، نقدم لهم أسمى آيات الشكر و الامتنان والتقدير الى الذين حملوا أقدس رسالة فالحياة ... الى الذين مهدوا لنا طريق العلم والمعرفة ، الى كل اساتذتنا الافاضل و أخص بالتقديروالشكر الى الاستاذة التي ساعدتنا في بحثنا **" شاوش خولة "**الذي نقول لها بشراك قول رسول الله صلى الله عليه وسلم :**"العلماء ورثة الأنبياء، يحبهم أهل السماء، وتستغفر لهم الحيتانفي البحر إذا ماتوا إلى يوم القيامة "**

البكلهؤلاءأهديثمرةجهدي.....

بوقرينات شهرزاد

شكـــــر وعرفـــــان

بسم الله الرحمان الرحيم

" كن علما.... فإن لم تستطع فكن متعلما، فإن لم تستطع فلا تبغضهم".

بعد رحلة بحث وجهد واجتهاد تكللت بإنجاز هذا البحث نحمد الله تعالى الذي هدانا لهذا وتفضل علينا بنعمة العلم والمعرفة والصلاة والسلام على رسوله خير خلق الله.

نتقدم بأخلص عبارات الشكر وأسمى العبارات التقدير والعرفان والامتنان الى الأستاذة المشرفة **"شاوش خولة"** على قبولهاتحمل أعباء الإشراف على هذا العمل، وعلى توجيهها ونصحها لنا، كلما نشكرها على المعاملة الطيبة التي حضينا بها من قلبها، فجزاها الله عنا خير الجزاء

ونتوجه بتحية احترام وتقدير للأساتذة الأفاضلعلى قبولهم مناقشة وإثراء هذا العمل و نخص بالذكر الأستاذ **" بن منين عبد القادر"** أستاذ محاضر 'أ' والأستاذة **"زاوي منال"** أستاذ محاضر 'أ'

ولايفوتنا أن نشكر كل من الأساتذة والزملاء والأصدقاء والأهل على دعمهم وتشجيعهم ومساندتهم لنا وعلى ما بذلوه من أجلنا كما نشكر كل من ساندنا خلال مشوارنا التعليمي وطلبة قسم ثانية ماستر كيمياء المحيط دفعة 2022

ولكل هؤلاء خالص الشكر والتقدير والعرفان.

قائمة المختصرات

المختصر	المختصر باللغة الأجنبية	المختصر باللغة العربية
AD	**Anaerobic digestion**	**الهضم اللاهوائي**
ATAD	**Thermophilic aérobic digestion**	**الهضم الهوائي المحب للحرارة**
CE	**Conductivité électrique**	**الناقلية الكهربائية**
DBO	**Biological demand for oxygen**	**الطلب البيولوجي للأوكسجين**
DCO	**Chemical demand for oxygen**	**الطلب الكيميائي للأكسجين**
DIC	**Dissolved inorganic carbon**	**كربون غير عضوي مذاب**
MLSS	**Mixed liquor suspended solids**	**مواد الصلبة العالقة بالسائل المختلط**
NO_3^-	**Nitrate**	**النترات**
NO_2^-	**Nitrite**	**النتريت**
OFMSW	**Organic fraction municipal solid waste**	**الجزء العضوي من النفايات الصلبة**
P	**Phosphorous**	**الفوسفور**
SS	**Sewage sludge**	**حمأة مياه الصرف الصحي**
SSA	**Sewage sludge ash**	**رماد حمأة مياه الصرف الصحي**
TP	**Total phosphorous**	**مجموع الفوسفور**
TSS	**Total Solids**	**المواد الصلبة الكلية**
UIC	**Undissolved organic carbon**	**المعالجة بالموجات فوق الصوتية**
VFA	**Volatile fatty acide**	**الأحماض الدهنية المتطايرة**

قائمة الجداول

رقم الجدول	عنوان الجدول	رقم الصفحة
جدول (1. Ⅱ)	خصائص أنواع الحمأة في مختلف مراحل المعالجة	19
جدول (2.Ⅲ)	مكونات الغاز الحيوي و نسبها بحسب الجمعية الألمانية للمياه والغاز	42
جدول (1.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح معالجة حمأة مياه الصرف الصحي بواسطة الهضم الهوائي	51
جدول (2.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح استخدام رماد حمأة الصرف الصحي في مواد بناء الإسمنت	52
جدول (3.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح تطبيق حمأة الصرف الصحي و استخدامها كسماد للتربة و تأثيرها على زراعة فول الصويا.	53
جدول (4.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح تأثير استخدام حمأة مياه الصرف الصحي كسماد للتربة الزراعية	54
جدول (5.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح تقنيات المستخدمة لمعالجة حمأة مياه الصرف الصحي	55
جدول (6.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح طريقة تحويل حمأة مياه الصرف الصحي الى سماد	56
جدول (7.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح استخدام تقنية AFFRو تقنيةAFFAR لمعالجة مياه الصرف المنزلية	57
جدول (8.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح دراسة درجة توافق استخدام سماد حمأة مياه الصرف الصحي مع التربة	58
جدول (9.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح تأثير استخدام تقنية TAD كعلاج بين مراحل الهضم الهوائي و الهضم اللاهوائي	59
جدول (10.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح آلية استخدام عملية الهضم الهوائي المحبة للحرارة في معالجة حمأة الصرف الصحي.	60
جدول (11.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح التقنيات المحسنة لمعالجة الهضم اللاهوائي و تأثيرها على حمأة مياه الصرف الصحي	65
جدول (12.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح تأثيرات استخدام الهضم اللاهوائي و الهضم اللاهوائي المشترك في معالجة حمأة مياه الصرف	66
جدول (13.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح دراسة تأثيراستخدام تقنيات الهضم اللاهوائي لحمأة مياه الصرف الصحي على انتاج غاز الميثان	67
جدول (14.Ⅳ)	¨جدول استقرائي يوضح التقنيات المعالجة المستخدمة لتحسين عملية الهضم اللاهوائي و نتائج تأثيرها على انتاج الغاز الحيوي	68
جدول (15.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح تأثير المعالجة الميكانيكية و الحرارية و الكيميائية و الهجينة على انتاج الغاز الحيوي للهضم اللاهوائي	70
جدول (16.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح تأثير استخدام المعالجات الانزيمية المسبقة و معززات الهضم اللاهوائي على انتاج الميثان الحيوي	71
جدول (17.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح تأثير المعالجة المسبقة بالميكروويف على عملية الهضم اللاهوائي	72

جدول (18.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح تأثير المعالجة الميكانيكية على انتاج الغاز الحيوي	**73**
جدول (19.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح تأثير إضافة القلويات لمعالجة حماة الصرف الصحي على انتاج الغاز الحيوي.	**74**
جدول (20.Ⅳ)	جدول استقرائي يوضح تأثير تطبيق علاجات الأوزون بالموجات فوق البنفسجية و القلوية مع عملية الهضم اللاهوائية على انتاج الميثان	**-75**

قائمة الأشكال

الرقم	العنـــــــوان	رقم الصفحــة
الشكل(I .1)	مراحل معالجة مياه الصرف الصحي.	7
الشكل (II .1)	حمأة الناتجة عن عملية معالجة مياه الصحي الصرف الصحي.	13
الشكل (II .2)	صور مجهرية لبعض أنواع البكتيريا المتواجدة في الحمأة.	14
الشكل (II .3)	صورة مجهرية لبعض أنواع الأوليات المتواجدة في الحمأة.	15
الشكل (II .4)	نوع من أنواع الدولابيات.	15
الشكل (II .5)	بعض الديدان المعوية المتواجدة في الحمأة.	16
الشكل (II .6)	مخطط يوضح تجفيف الحمأة بالمرشح الإنفراغي.	25
الشكل (II .7)	لحمأة في أحواض التجفيف الرملية.	26
الشكل (II .8)	طريقة حرق الحمأة في الفرن متعدد الطبقات.	27
الشكل (II .9)	طريقة تجفيف الحمأة بطريقة غير مباشرة.	28
الشكل (III.1)	التخطيط المعمم للتسميد.	35
الشكل (III.2)	وحدة انتاج الغاز الحيوي من عملية التخمر اللاهوائي.	39
الشكل (III.2)	مخطط يوضح مراحل الأربعة الأساسية لعملية الهضم اللاهوائي.	39
الشكل(III.4)	يمثل رسم تخطيطي لمصادر واستخدامات الغاز الحيوي	43
الشكل (IV.1)	مدرج تكراري يوضح عدد المقالات العلمية المنشورة حول تثمين حمأة مياه الصرف في الوسط اللاهوائي الصحي خلال العشر سنوات الأخيرة.	49
الشكل (IV.2)	مدرج تكراري يوضح عدد المقالات العلمية المنشورة حول تثمين حمأة مياه الصرف في الوسط الهوائي الصحي خلال العشر سنوات الأخيرة.	50

الفهرس

	رقم الصفحة
اهداء1	i
اهداء2	ii
شكر و عرفان	iii
قائمة المختصرات	iv
قائمة الجداول	v
قائمة الأشكال	vi i
مقدمة عامة	1
قائمة المراجـع	2
الفصـــل الأول : عموميـات حـول ميـاه الصرف الصحي	
تمهيد	3
I.1 تعريف مياه الصرف الصحي	3
I.2الخواص الأساسية لمياه الصرف الصحي	3
I.2.1 الخواص الحسية الفيزيائية	3
I.2.2 الخصائص الكيميائية	4
I.2.3 الخصائص البيولوجية	6
I.3مصادر مياه الصرف الصحي	6
I.3.1 مياه الصرف المنزلية	6
I.3.2 مياه الصرف الصناعية	6
I.3.3 مياه صرف الأمطار	7
I.4مراحل معالجة مياه الصرف الصحي	7
خلاصـــة	10
قائمـــة المراجـــع	11
الفصـــل الثانـــي : حمـأة ميـاه الصرف الصـحي	
تمهيد	12
II.1مفهوم الحمأة	12

II.2مصادر الحمأة	13
II.3أهم الكائنات الحية المتواجدة في الحمأة	13
II.4أنواع الحمأة وتأثيرها على البيئة	16
II.4.1 أنواع الحمأة	16
II.4.2 تأثيرها على البيئة	17
II.5خصائص الحمـأة	18
II.6بعض العوامل المؤثرة على الحمأة	19
II.7مراحل معالجة حمأة مياه الصرف الصحي	22
II.8مفهوم عام عن الحمأة المعالجة	22
II.9كيفية جمع الحمأة	22
II.10 المعايير المتبعة لاختيار نمط المعالجة	22
II.11 طرق معالجة الحمأة	23
II.11.1 تكثيـــف الحمـــأة – تركيز الحمأة	23
II.11.2 الهضم – تثبيت الحمأة	24
II.11.3 المعالجة – التكييف	24
II.11.4 نزع المـــاء	25
II.11.5 التجفيف	26
II.11.6 ترميد الحمأة	27
خلاصـــة	29
قائمـــة المراجـــع	30
الفصل الثالث : مجالات استخدامات الحمأة المعالجة	
تمهيد	31
III.1 شروط استخدام الحمأة المعالجة	31
III.2 استخدامات الحمأة المعالجة في الوسط الهوائي(انتاج سماد)	31
III.3.2 استخدامات الحمأة المعالجة في الوسط اللاهوائي (انتاج لغاز الحيوي)	38
III.3 طرق التخلص من الحمأة المعالجة	44
خلاصـــــة	46
قائمـــة المراجـــع	47

الفصل الرابع : تحليل دراسات سابقة	
تمهيد	49
IV. تحليل بعض الدراسات حول استخدامات حمأة مياه الصرف الصحي	51
1.IV تحليل دراسات سابقة حول استخدامات حمأة مياه الصرف الصحي في الوسط الهوائي	51
1.1.IV تحليل دراسات	51
2.1.IV تحليل و تفسير النتائج المتحصل عليها في الدراسات السابقة في الوسط الهوائي	61
2.IV تحليل دراسات سابقة حول استخدامات حمأة مياه الصرف الصحي في الوسط اللاهوائي	65
1.2.IV تحليل دراسات	65
2.2.IV تحليل وتفسير النتائج المتحصل عليها في العشر الدراسات السابقة في الوسط اللاهوائي	78
3.IV مقارنة نتائج تحليل الدراسات المتحصل عليها لحمأة مياه الصرف الصحي في الوسط الهوائي والوسط اللاهوائي	82
خلاصـــــــــة عامـــــة	84
آفاق مستقبليـــــة	85
قائمـــــــــة المراجـــــع	86
قائمـــــــــة الملاحـــــق	I
ملخـــــــــص	

مقدمة عامة

مقدمـــــــة عامـــة

يعد الماء أهم مقومات الحياة على كوكب الأرض, وأحد أهم عوامل استمرارها على ظاهرها وفي باطنها, كما يلعب دورا متقدما في تكوين الترب وتطورها, ويحدد سوية مختلف أشكال النشاط البيوجيوكيميائي فيها, ولأن الأحياء كافة جعلت من الماء وبنسبة كبيرة تتراوح بين 70 و97 % وزنا. فقد اكتسب الماء أهمية عظيمة[1].

ان الموارد الطبيعية على هذه الأرض سواء كانت بشكلها الطبيعي كالموارد النباتية والحيوانية ،او كتلك الموارد الكامنة التي تحتاج إلى بعض التعديلات والإضافات حتى نتمكن من الاستفادة منها ؛ كلها من الممكن ان تتحول إلى ثروة اقتصادية وبيئية فيما لو تم استخدامها واستغلالها بشكل صحيح ومتقن. من هذا المنطلق يمكننا اعتبار كميات الحمأة الناتجة من محطات تنقية مياه الصرف الصحي بأنها مورد كامن بحاجة إلى استغلال ، لتتحول من مصدر تلوث بيئي وعبء مالي إلى مصدر يحدث فرقاهاما في المجالات البيئية ، الزراعية والاقتصادية[2].

في السنوات الأخيرة ، تم إيلاء الكثير من الاهتمام لمعالجة والتخلص من حمأة الصرف الصحي بسبب التوسع في معالجة مياه الصرف الصحي البلدية واللوائح الصارمة المتزايدة لتقليل واستقرار حمأة مياه الصرف الصحي.ومن هنا كان هدفنا في هذا البحث هو دراسة نظرية حول استخدامات حمأة مياه الصرف الصحي والتعرف على مختلف مجالات استخداماتها.

في دراستنا، سنركز بشكل خاص على طرق تثمين ومعالجة حمأة مياه الصرف الصحي في كل من الوسط الهوائي والوسط اللاهوائي وتحليل ومناقشة النتائج المستخلصة من الوسطين والمتمثلة في انتاج السماد والغاز الحيوي . حتى يمكننا توجيه العمل المستقبلي في هذا الصدد لتقديم استنتاجات تدعم استخدامات حمأة مياه الصرف الصحي وعليه تم هندسة هذه دراسة على النحو التالي:

الفصل الأول: عموميات حول مياه الصرف الصحي.

الفصل الثاني: حمأة مياه الصرف الصحي.

الفصل الثالث: استخدامات حمأة مياه الصرف الصحي.

الفصل الرابع:تحليل دراسات سابقة.

وفي الأخير أنهينا دراستنا بخلاصة عامة.

وفي هذا السياق قمنا بتحليل دراسات سابقة. فما هي طرق معالجة حمأة مياه الصرف الصحي؟ وفيما تتمثل استخداماتها؟

قائمـــة المراجــع

المراجع باللغة العربية :

[1] د. فاطمة جعارة،(2017)، محطات معالجة مياه الصرف الصحي، المجموعة الهندسية للأبحاث البيئية.

[2] ريم حلبي.(2017)، مذكرة ماجستير. تقييم الجوانب القانونية و التقنية و الاقتصادية لإدارة حمأة الصرف الصحي في المناطق الحضرية الفلسطينية، جامعة بيرزيت .

الفصل الأول

عموميات حول مياه الصرف الصحي

تمهيد

تكمن أهمية معالجة مياه الصرف الصحي في الدور الذي تؤديه في حماية البيئة والموارد المائية والصحة البشرية، كما أنها تُعد مؤشراً إلى مستوى تطور المجتمع ومستوى وعي الحكومة والشعب بأهمية إدارة الموارد المائية وجودة البيئة لأنها من عوامل تحسين مستوى المعيشة والتنمية[1].

I .1 : تعريف مياه الصرف الصحي.

هي المياه العادمة التي استخدمت من طرف الإنسان في مختلف المجالات تكون هذه المياه ملوثة بواسطة مواد تغير من خصائصها الكيميائية أو تغير من طبيعتها مما يجعلها غير صالحة للإنسان أو الحيوانات أو النباتات أو الكائنات التي تعيش في البحار والمحيطات[2].

الماء المستعمل هو الماء الملوث الذي يتركب من المواد الغريبة التي تفسد خواصه الكيميائية، مما تجعله غير صالح للإنسان، أو كما يمكن أن تكون ذات مصدر صناعي ذو مكونات مختلفة سواء كانت كيميائية ،(عضوية أو معدنية) حسب طبيعة النشاط الصناعي[3].

تحتوى مياه الصرف عن ما يزيد عن 99% ماء والباقي عبارة عن خليط مواد ذائبة وغروية وجسيمات عضوية، وغير عضوية، بالإضافة إلى كائنات حية صغيرة (ميكروبات، فيروسات ، بكتيريا، فطريات)، هذا الخليط هو الذي يحدد نوعية الماء الطبيعية والكيميائية والبيولوجية.

I .2 : الخواص الأساسية للمياه الصرف الصحي

I .1.2 :الخواص الحسية الفيزيائية:

- **الرائحة:**

تنبعث الروائح عادة من الغازات المتولدة من تحلل المواد العضوية او المضافة إلى مياه الصرف الصحي وقد تحتوي على مركبات ذات رائحة أو على مركبات تنبعث منها رائحة أثناء عملية المعالجة[4].

- **اللون:**

يعطي اللون دلالة أولية عن مدى التحلل ونسبة الطحالب الخضراء في مياه الصرف الصحي في مرحلتها الأولى ، أو عند المصب فإن لونها يكون رمادي ، ويتغير هذا اللون بتقدم مراحل المعالجة أو كلما مرت عليها فترة زمنية طويله وهي في برك المعالجة[5].

- **درجة الحرارة(°C):**

تتأثر بعض خواص الماء بدرجة حرارة كالكثافة واللزوجة وانحلالية الغازات وسرعة التفاعلات الكيمائية و الحيوية . إن تغير تلك الخواص يؤثر بشكل كبير على عملية التنقية الذاتية . فارتفاع درجة حرارة يزيد من سرعة التفاعلات الكيمائية ويخفض من كمية الأوكسجين المنحلة بالماء وهذان العاملان يؤثران سلبا على عملية التنقية الذاتية[6].

- **العكارة:**

تتمثل درجة العكارة في كمية المواد الصلبة العالقة والغروية مثل حبيبات الطين والرمل والحصى والأملاح[7].

I .2.2: الخصائص الكيميائية:

- **الطلب البيولوجي للأوكسجين(DBO_5):**

هو كمية الأكسجين اللازمة لتفكيك (أكسدة) المواد العضوية الذائبة عن طريق البكتيريا لتحويلها إلى مركبات بسيطة وفي شروط ثابتة كدرجة الحرارة 20C°ولمدة 5 أيام كوسط ملائم للبكتيريا وارتفاع قيمة يدل على تركيز المواد العضوية المنحلة عن طريق البكتريا ومن النواتج أكسدة الغاز والماء[8].

- **الطلب الكيميائي للأكسجين (COD):**

وهو يساوي كمية الأكسجين اللازمة للأكسدة الكيميائية (ليست الحيوية) للمواد العضوية الموجودة في المياه المستعملة وتحويلها إلى مركبات بسيطة ثابتة وذلك بواسطة مادة كيميائية مؤكسدة. وهذا معيار ذو قيمة أكبر عادة من قيمة DBO لأن جزء من المادة الصلبة القابلة للأكسدة الموجودة في المياه المستعملة لا يمكن تفكيكها (أكسدتها) بالفعل الحيوي (أي بتأثير الكائنات العضوية المجهرية) وإنما بوجوب إضافة مركب مؤكسد إليها لإنجاز عملية الأكسدة، وهذا يحدث عادة حين التعامل مع المياه المستعملة الصناعية الواردة في العديد من المراكز الصناعية[8].

- **الرقم الهيدروجيني (pH):**

وهو لوغاريتم مقلوب تركيز أيون (شاردة) الهيدروجين في المياه المستعملة ويدل على طبيعة المياه من حيث كونها قاعدية (pH>7) وحمضية(pH<7) أو معتدل (pH=7)[6].

- **الأكسجين المنحل(O_2):**

إضافة لدوره في عملية التنقية الذاتية للوسط المائي ,ينحل الأكسجين في الماء نتيجة عملية التبادل القائمة بين الطور الغازي (الهواء) و الطور السائل (الماء) ويتأثر هذا التبادل بعدة عوامل هي الضغط الجوي ،ضغط البحار، درجة الحرارة و ملوحة الماء، نظرا لعدم تغير العامل الأول بشكل كبير، و

ارتباط العامل الثاني بدرجة الحرارة ، فإن العاملين الأخرين يحددان الكمية المنحلة من الأكسجين في الماء[4].

- **الناقلية الكهربائية(CE):**

تحتوي المياه الطبيعة على تراكيز من الأملاح المعدنية المتشردة و بالتالي فجميعها تشارك في الناقلية الكهربائية و تنتج الناقلية العالية عن ارتفاع نسبة الملوحة بسبب الملوثات المعدنية[8].

- **النتريت(NO_2^-):**

تمثل شوارد النتريت مرحلة انتقالية من شوارد النيترات و شوارد الأمونيوم ضمن عملية الأكسدة والإرجاع لهما ، و ذلك فإن شوارد النتريت المتواجدة في الوسط المائي ناتجة عن إرجاع النيترات أو عن أكسدة شوارد الأمونيوم و لا يوجد مصدر طبيعي للنتريت[6].

- **الفسفور(P)**:

يعد الفسفور عنصرا هاما لنمو الكائنات الحية ، ويتواجد في معظم أنواع المياه غالبا على أشكال عدة، يؤدي توفره الى تحلل الكائنات النباتية والحيوانية الميتة وتحلل الفضلات وبقايا الأطعمة[7].

- **المعادن الثقيلة:**

تعتبر التركيزات الصغيرة لكثير من المعادن مثل نيكل والمنغنيز والرصاص والكروم الكاديوم والزنك و النحاس والحديد بالإضافة للزئبق مكونات ذات أهمية في مياه الصرف الصحي . كما انها يوجد مثل هذه المعادن بكميات مرتفعة سوف تؤثر على استخدام المياه نضرا لتسميتها لذلك يفضل دائما أن يتم قياس وتحكم في تركيز هذه المواد في المياه[9].

- **النيترات (NO_3^-):**

أثبتت الأبحاث الطبية مضار النيترات على الصحة وخاصة على الأطفال بالإضافة إلى تزايد النيترات بشكل كبير في المياه الجوفية والسطحية نتيجة التوسع الكبير في استعمال الأسمدة الآزوتية والكيماوية.إن تحديد تلوث المياه النيترات عملية صعبة نتيجة التحولات المستمرة للأزوت ضمن حلقة متكاملة تعرف بحلقة الأزوت، توضح هذه الحلقة أن النيترات تمثل المرحلة النهائية لأكسدة المركبات العضوية الآزوتية ولذلك فإن وجودها في المياه الملوثة يشير إلى سير عملية التنقية الذاتية، تأتي النيترات المتواجدة في المياه الطبيعية بفعل جريان المياه على سطح التربة في مرحلة تشكل الأنهار، يضاف إليها النيترات القادمة مع مياه الصرف، النيترات الناتجة عن أكسدة البكتريا للفضلات العضوية الآزوتية[10].

I .3.2 الخصائص البيولوجية:

يوجد في مياه الصرف كائنات عضوية كثيرة كالبكتريا(bacteria)،والطحالب(fungi)،والأوليات كالبروتوزواprotozoa،وحيوانات ونباتات مجهرية وفيروسات .وعادة يكون المسئول عن المعالجة البيولوجية لمياه الصرف (البكتريا والبروتزوا)[11].

I .3 مصادر مياه الصرف الصحي:

وتنقسم إلى ثلاث أنواع أساسية:

I .1.3مياه الصرف المنزلية:

تنتج من الاستخدام المنزلي المختلف و المنشآت العامة و التجارية و تتضمن النفايات السائلة من المطابخ و الحمامات و الغسيل، وكذلك النفايات التي تطرح بشكل عرضي أو مقصود إلى المجاري العام[12] .

1/ المياه الناتجة عن المطابخ:

تحتوي هذه المياه على بقايا مواد عالقة معدنية صادرة عن عملية غسل الخضار و بالأخص احتواء هذه المياه على مواد دهنية ، إذ توجد صعوبة في عملية معالجة هذه المياه ويتم فصلها في أحواض ترسيب الأولية[13] .

2/ المياه الناتجة عن الحمامات والغسيل:

تحتوي هذه المياه على معلقات من أصل معدني وهي:

- الصابون المختلط بقليل من الدهون والشحوم.
- بعض الأملاح المنحلة الناتجة عن برادة الحديد.
- بعض المواد العالقة الناتجة عن المنظفات المنزلية[13].

3/ المياه الناتجة عن دورات المياه:

وهي المياه الغنية بالمواد الهيدروكربونية ، كما تحوي على الأزوت والبكتيريا والفيروسات وحتى الطفيليات [12] .

I .2.3 مياه الصرف الصناعية:

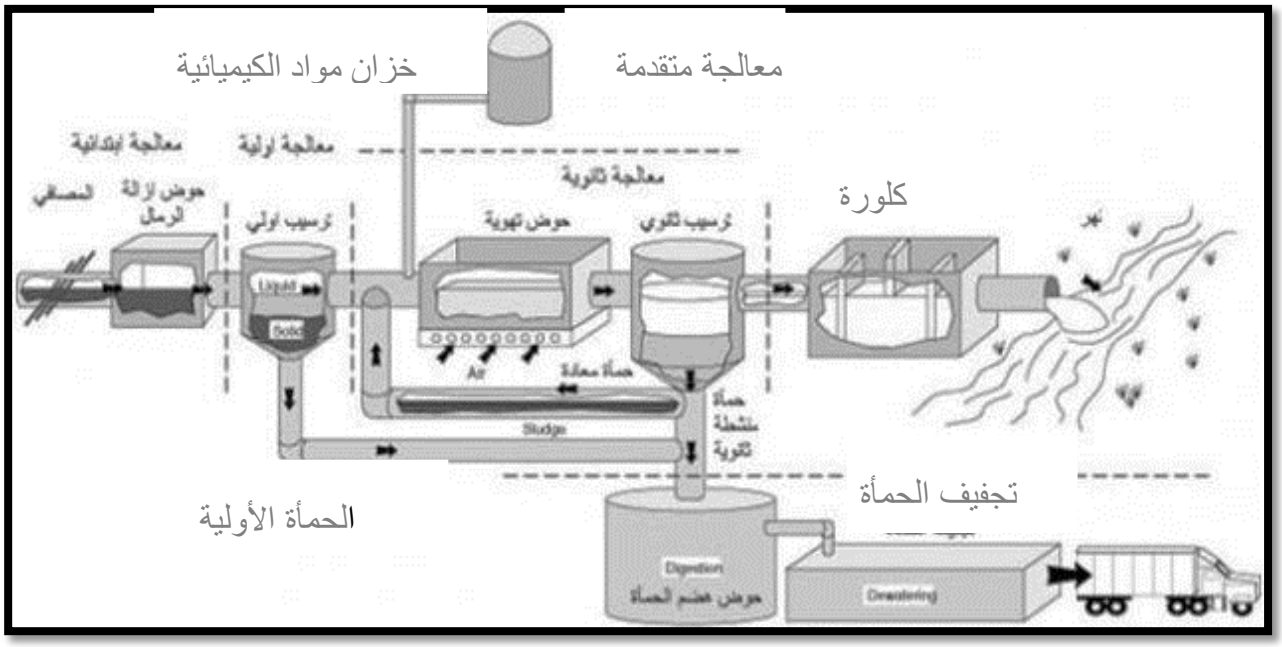
هي مختلفة جدا عن مياه الصرف الصحي المنزلية وخصائصها تختلف من صناعة الى أخرى حيث تشمل جميع المخلفات والنفايات الصناعية التي تنتج أثناء استخراج وتصنيع المواد الخام الة المنتجات

صناعية. تحتوي على مواد عضوية وغير عضوية ومواد ربما سامة قد تسبب عدم توازن البيئي وتتطلب معاملة خاصة تبعا لنوع المركبات قبل تصريفها [12] .

I .3.3 مياه صرف الأمطار:

تتكون من مزيج من النوعين السابقين وكذلك يمكن أن تحتوي المياه الناتجة عن تصريف مياه الأمطار التي تجمعت في بالوعات الشوارع وحاملة معها مواد عالقة ، والتي بدورها تكون غنية بغاز الأكسجين وفقيرة من غاز الكربون ويمكن أن تحتوي على اثار النتريت والأمونياك, وخاصة المتواجدة بالقرب من التجمعات السكنية التي تحتوي على ملوثات حيوية[9] .

I .4 مراحل معالجة مياه الصرف الصحي:



الشكل(I .1): مراحل معالجة مياه الصرف الصحي

إن الهدف من معالجة مياه الصرف الصحي هو الحفاظ على الصحة العامة وحماية البيئة، ومنشآت معالجة مياه الصرف تعمل على تسريع التنقية الطبيعية التي تحدث في الطبيعة، وتحوي مياه الصرف على معلقات ومواد طافية ومواد عضوية منحلة وغيرها وهي تتألف من عمليات فيزيائية وبيولوجية ويمكن تصنيف مراحل المعالجة الى 3 مراحل[11].

- **معالجة أولية**: (معالجة ابتدائية، معالجة أولية). والمعالجة الابتدائية تتبع نوعية المياه ويمكن في بعض الأحيان الاستغناء عنها.
- **معالجة ثانوية أو ثنائية**: (معالجة بيولوجية)
- **معالجة ثلاثية (معالجة متقدمة):** وهي معالجة مشتركة فيزيائية وكيميائية وبيولوجية.
- **معالجة الحمأة والتصرف فيها**

1. المعالجة الابتدائية: Preliminary Treatment

الهدف من المعالجة الابتدائية هو حماية مضخات التزويد والمنشأت اللاحقة ويمكن أن تحوي إزالة أو تقطيع أو طحن المعلقات الكبيرة أو إزالة الرمال أو إزالة بعض المواد العضوية الثقيلة والتخلص من المواد الطافية كالزيوت والدهون والشحوم وتحوي أيضا مقياس تدفق ويمكن أن تحوي أحواض توازن ومصافي قضبائية ويمكن أن يضاف اليها كلورة وعموما لا تعتمد نتائج المعالجة النهائية بشكل كبير على هذه المعالجات[11].

2. المعالجة الاولية: Primary Treatment

الهدف من المعالجة الأولية هو تخفيض سرعة مياه الصرف للسماح بترسيب المعلقات الصلبة كالمواد القابلة للترسيب (أو المواد الطافية) وتدعى هذه الالية أحواض الترسيب. وتسهم أحواض الترسيب في تخفيض %(50-70) من المواد الصلبة الكلية TSS وتخفض الحمل العضوي DOB_5 بنسبة (25-30) % كما يتم إزالة 10% من الفوسفور غير المنحل، وعندما يتم إضافة مواد كيميائية مخثرة سيتشكل ندف وتصبح نسبة إزالة %(80-90) TSS، وفي كثير من الحالات وخصوصا في الدول النامية يمكن وضع حوض ترسيب أولي لتحسين مياه الصرف أو لتكون المعالجة أقل كلفة، ويمكن النصح بأنه حين لا يوجد إمكانية لإجراء معالجة كاملة أن نقوم بإجراء ترسيب بسيط لمياه الصرف ومن ثم تطهير المياه وتصريفها[11].

3. المعالجة الثنائية(الثانوية): Secondary Treatment Systems

بعد إجراء عملية الترسيب الأولي لاتزال مياه الصرف تحوي مواد عضوية بشكل معلقات وغرويات ومواد منحلة حيث تتم عملية طبيعية باستهلاك هذه المواد تحت ظروف محددة وهي تشبه المعالجة الطبيعية في تنقية المياه.وطريقة المعالجة البيولوجية تقسم الى منظومتين منظومة نمو الفيلم البيولوجي الثابت (الملتصق) كالمرشحات البيولوجية والأقراص الدوارة. ومنظومة النمو المعلق كالحمأة المنشطة ويتفرع عنها أحواض التثبيت بالتماس و(RBS) والهضم الهوائي واللاهوائي وبرك التثبيت والبحيرات

المهواة، أو بطرق أخرى تعتمد على البكتريا التي في التربة وجذور النباتات وعلى حبات التربة كالأراضي الرطبة، أو بطرق فيزيائية كيميائية.

في المعالجة الثنائية يتم في هذه المرحلة تخفيض DOB_5 و TSS أما بالنسبة للفوسفور والنيتروجين والمعادن الثقيلة والمواد الغير قابلة للتحلل والبكتيريا والفيروسات فنسبة الإزالة تبقى محدودة.

نحتاج بعد هذه المرحلة حوض ترسيب نهائي لإزالة المعلقات، وتجميع الحمأة الناتجة من حوض الترسيب الأولي والنهائي ليتم معالجتها لاحقا[11].

4. المعالجة المتقدمة: Advanced Treatment Systems

يطبق تعبير المعالجة المتقدمة لكل المعالجات بعد المعالجة الثنائية لإزالة الملوثات ولكن المعالجة الثلاثية هي المرحلة التي تأتي مباشرة بعد الأولية والثنائية مع التشديد على موصفات يتم في هذه المرحلة إزالة زائدة للملوثات من المياه الخارجة من حوض الترسيب النهائي كالترشيح المكروي (المكروني) والتخثر الكيميائي، الترشيح الأراضي وغيرها. ومند عام 1970 بدأ الاتجاه لعمل معالجة متقدمة للتخلص أيضا من النتروجين والفوسفور DOB_5.

ويصلDOB_5 بعد المعالجة الثلاثية الى (12-10)mg/l و TS الى أقل من 10mg/l علما انه من الصعوبة الحصول على SST أقل من 20/l mgبأحواض الترسيب النهائي في المعالجة البيولوجية ولذالك نحتاج إلى معالجة متقدمة لتحسين نوعية المياه.

وبالنسبة لضبط كمية النتروجين فيتم تحويل الأمونيا الى نترات بيولوجيا وهنالك عدة طرق لتحقيق حيث يتم في نفس حوض المعالجة لإزالة DOB_5 أو بمرحلة مستقلة، كما يمكن ذالك التخلص من النيتروجين بيولوجيا[11] .

خلاصة:

المنتجين النهائيين لمعالجة مياه الصرف الصحي هي المياه التي يمكن أن تستعمل للسقي الزراعي أو الحمأة المعالجة .

قائمـــة المراجـــع

المراجع باللغة الأجنبية:

[2]PENG، X.LUO، and al 2000. Rapid detection of shigella species in environmental sewage by in immuncapture PCR with universal primers. Journal of applied microbiology

[3] SATIN، M.; SELMI، B.1995: Guide technique de l'assainissement: Evacuation des eaux usées et pluviales conception et composant des réseaux، épuration des eaux et protection de l'environnement، exploitation et gestion des systèmes d'assainissement.

[4] BEAUDRY، J. P (1984) Traitement des eaux، Ed. Le Griffon d'argile

[8] DEGREMONT. (2005), Mémento technique de l'eau. 10éme Ed. Suez : Rueil-Malmaison.

[9] DEGREMONT، (1989)، Mémento technique de l'eau. 9éme Ed. Ed. Lavoisier, Paris, Tome 1.

[10]RODIER JEAN , 1996. L'analyse De L'eau (chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats) DUNOD paris , 8e édition , pp36-63-745-809…..

المراجع باللغة العربية:

[1] سميرإيدير. ماي 2013. معالجة الصرف الصحي. تم الإطلاع عليه في (19 ماي 2022) مجلة القافلة qafilah.com

[5]إسلام عمر الفكي الشيخ 2016، معالجة مياه الصرف الصحي جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا، كلية التربية.

[6] ابراهيم العابد، 2015،مذكرة دكتوراه، معالجة مياه الصرف الصحي لمنطقة تقرت بواسطة نباتات منقية محلية،جامعة قاصدي مرباح ورقلة.

[7] زان محمد فؤاد، بوغزالة محمد الطاهر2012، فعاليات تطهير المياه المستعملة بطريقه الأحواض المهوات من خلال تغيير الفصول دراسة حالة محطة رقم 1 بكونين.

[11] م.محمد معن برادعي.(2018).دليل تصميم محطات معالجة مياه الصرف .المكتبة الزراعية الشاملة.

[12] حسين علي سبتي، أنعام نوري علي 2010 تكون الندف والتكتلات للأحياء الخيطية في مشروع معالجة مياه الصرف الصحي في الرستمية ببغداد – العراق.

[13] صهيب حاج عمار 2016،مذكرة ماستر، دراسة قدرة النباتات على تصفية المياه المستعملة محمد احمد مراد اغا الهندسة البيئة.

الفصل الثاني

حمأة مياه الصرف الصحي

تمهيد :

تنتج الحمأة عن معالجة مياه الصرف الصحي ، تكون الحمأة الناتجة في البداية في صورة سائلة مع حمولة عالية من المواد العضوية شديدة التخمير، ثم بعد ذلك يتم معالجتها وفق سلسلة منظمة من العمليات التي تعمل بطريقة تكميلية .

II .1مفهوم الحمأة :

تنشأ الحمأة أثناء اجراء عمليات تنقية مياه الصرف الصحي ، و هي خليط من المياه و المواد الصلبة ، التي تكون على هيئة عوالق تترسب في قاع محطة معالجة مياه الصرف وتنقسم حمأة مياه الصرف الصحي إلى حمأة خام ، وحمأة معالجة تنتج عن العمليات الهوائية أو اللاهوائية للحفاظ على استقرار الحمأة الخام [1].

عندما تترسب الحمأة نجدها ممزوجة بكمية كبيرة من المياه، وتختلف نسبة الماء باختلاف نوعية الصرف الصحي الخام وخصائصه وكذلك نظم المعالجة، ومثالا لذلك نجد أن نسبة المياه بالحمأة المنشطة حوالى98,5%بينما نسبتها بالحمأة العادية الراسبة بأحواض الترسيب الابتدائية حوالى 95%[2].

تختلف الحمأة في نوعيتها تبعا لنوع المعالجة المطبقة ، ومن موسم لآخر ومن مدينة لأخرى ، وحسب النشاط الاقتصادي والكثافة السكانية والنمو العمراني. وبشكل أساسي تتكون الحمأة من[3]:

- المادة العضوية%(40-60).
- كائنات حية متنوعة ومختلفة .
- مركبات غير عضوية تختلف نسبها وفق مصدر هذه المادة.
- بعض العناصر المعدنية التي يمكن أن يستفيد منها النبات كالآزوت والفوسفوروالبوتاسيوم، والعناصر المغذية الصغرى.
- بعض العناصر المعدنية الثقيلة الضارة والسامة إذا ما وجدت بتراكيز مرتفعة.
- تتراوح نسبة الماء في الحمأة السائلة بين%(80-97).

الشكل (II .1):الحمأة الناتجة عن عملية معالجة مياه الصرف الصحي

II .2 مصادرالحمأة :

تتولد حمأة مياه الصرف في عمليات المعالجة الاولية و الثانوية و الكيميائية . في المعالجة الأولية ، تتم إزالة المواد الصلبة التي تطفو او تترسب. تشكل المادة العائمة جزءا من النفايات الصلبة . ومع ذلك ، يجب التخلص منها بطريقة سليمة بيئيا . تعرف المادة القابلة للترسيب التي تتجمع في الجزء السفلي من المصفى بالحمأة الأولية ، يمكن أيضا الإشارة الى الحمأة الأولية على أنها حمأة خام لأنها لم تخضع للتحلل . الحمأة الأولية الخام من منشأة منزلية نموذجية مرفوضة تماما وتحتوي على نسبة عالية من الماء ، و هما خاصيتان تجعل من الصعب التعامل معه .

يتم إخراج المواد الصلبة التي لم تتم إزالتها في جهاز التصفية الأساسي من الوحدة الولية . تعرف هذه المواد الصلبة بالمواد الصلبة العالقة الغروية . تم تصميم نظام المعالجة الثانوية (على سبيل المثال : مرشح التقطير ، الحمأة المنشطة) لتغيير تلك المواد الصلبة الغروية الى مواد صلبة قابلة للترسيب يمكن إزالتها مرة واحدة في الشكل القابل للترسيب ، تتم إزالة هذه المواد الصلبة في المصفى الثانوي تسمى الحمأة الثانوية . الحمأة الثانوية خفيفة و رقيقة و يصعب معالجتها أكثر من الحمأة الأولية . في الحمأة القصيرة و الثانوية لا تنزع المياه بشكل جيد [4].

II .3 أهم الكائنات الحية المتواجدة في الحمأة :

إن معالجة مياه الصرف الصحي تقلل إلى حد كبير من الحمولة الممرضة للطفيليات ويعتمد ذلك على طريقة المعالجة سواء الفيزيائية أو الكيميائية أو الحيوية. تحتوي مياه الصرف الصحي على أعداد وأنواع كبيرة من الطفيليات الممرضة والتي تتضمن البكتريا والفيروسات والاوليات والديدان

(FAO,1992) ، وقد بين Metcalf and Eddy (1995)أن هذه الطفيليات تنتقل إلى مياه الصرف عن طريق الانسان المريض أو الذي يحمل المرض, كما أوضح Scott et al (2000) أن ماء الصرف الصحي يمكن أن يحتوي على طيف واسع من الطفيليات التي لها تأثير سلبي على صحة الإنسان والبيئة. وفيما يلي أنواع الطفيليات الموجودة في مياه الصرف الصحي[4].

II .1.3 البكتيريا Bacteria :

البكتريا هي أكثر الطفيليات وجودا في ماء الصرف الصحي والماء المعالج عنه(Toze 1999)ولها القدرة الكبيرة على التكاثر والانتشار في البيئة. من هذه البكتريا:

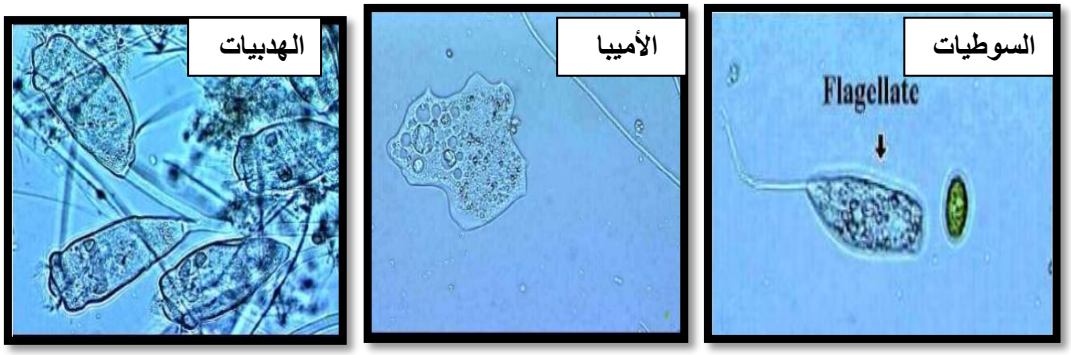
- الإشرشيا الممرضة*E. Coli*: معظم كائنات*E. Coli*غير ممرضة للإنسان لكن بعضها ممرض ويسبب الإسهال.
- السالمونيلا*Salmonella*:هي كائنات حية دقيقة ممرضة للإنسان, تسبب مرض التيفوئيد والإسهال و ألم البطن والتقيؤ.
- الشيغيلا*Shigella*: تسبب هذه البكتريا مرض الزحار
- *Campylobacter spp*: تسبب هذه البكتريا تعفن الدم والإجهاض والتهاب الأمعاء.
- البكتيريا العنقودية *Staphaurous*: تسبب إسهال وآلام شديدة في البطن[3].

الشكل (II .2) :صور مجهرية لبعض أنواع البكتيريا المتواجدة في الحمأة.

II .2.3 الأوليات كالبورتوزوا(Protozoa):

هي حيوانات وحيدة الخلية تتألف من أكثر من 50000 نوع معروف. إن جميع الأوليات وحيدات خلايا وتفتقد لجدار الخلية، ولكنها تملك غشاء بلازمي يستخدم لأخذ الطعام وطرح الفضلات، وتمكنها التواجد بمفردها مثل vorticellaفورتيسيلا أو بشكل مستعمرات مثل Carchesium كارشيسيوم وهذه الكائنات المجهرية معظمها غير ضار ولكن البعض منها قد يكون مسبباً للأمراضنصنف الأوليات (*protozaa*)ضمن أربعة أصناف وذلك حسب طريقة الحركة فالماستيغونورا أو

السوطيات (*Mastigophora*)تتحرك بواسطة سوط واحد أو أكثر أما الهدبيات والسيليوفورا (*Ciliophora*)فتتحرك بواسطة سوط قصير يدعى الهدب،و الأميبيات أو الساركودينا (*Sarcodin*) فتتحرك بواسطة الحركة الأميبية المتحولة والسبوروزوا (*Sporozoa*) غير قادرة على الحركة .ويبين الجدول التالي وصفاً لهذه المجموعات:[5]

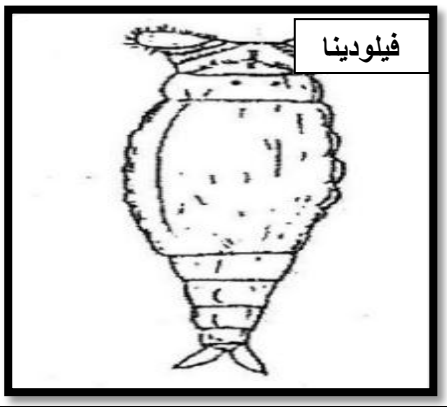


الشكل (II .3) : صورة مجهرية لبعض أنواع الأوليات المتواجدة في الحمأة

II .3.3 الدولابيات Rotifers :

تشكل الدولابيات مجموعة معروفة من الأحياء المتعددة الخلايا وهي الأبسط من حيث البنية والأصغر حجماً وتتواجد في جميع التجمعات المائية تقريباً، وهي أحياء هوائية يتراوح حجمها من (0.1الى0.8)µm.

ترافق الدولابيات عادةً عمليات المعالجة البيولوجية الهوائية لمياه المجاري، وتكون ملتصقة مع البكتريا إما بوساطة ذيلها الشوكي أو بواسطة أقدامها[5].



الشكل (II .4) :نوع من أنواع الدولابيات

II .4.3 الديدان المعوية :

تتواجد الديدان ضمن الأوحال العضوية، كما تغطى في المواد العضوية اللزجة، لذلك فهي تتواجد في الحمأة المنشطة وفي الطبقة البيولوجية للمرشحات البيولوجية.

والديدان كائنات دقيقة حجمها يتراوح بين (3-0,5)mm وقطرها من (0.05-0.01)mm تملك معظم الديدان نفس المظهر العام فهي تملك جسماً مغطى ببشرة مقترنة وذو شكل اسطواني غير متقطع، وأطرافها مدببة. تدخل هذه الديدان أنظمة معالجة مياه الصرف الصحي عبر اتصالها بالتربة التي تدخل مع مياه المجاري وهي تتواجد فقط في عمليات المعالجة الهوائية باعتبارها كائنات دقيقة هوائيةوأكثر أنواع انتشارا الديدان الشريطية، الإسكارس والبلهارسيا وهذا النوع من الديدان مصنف ضمن العوامل الممرضة [5].

الشكل (II .5) : بعض الديدان المعوية المتواجدة في الحمأة

II .4أنواع الحمأة وتأثيرها على البيئة :

II .1.4أنواع الحمأة :

- **الحمأة الإبتدائية Primary sludge** :

تعرف الحمأة الابتدائية أو الخام بأنها الحمأة الناتجة عن ترسيب المواد العالقة في أحواض الترسيب الإبتدائية، وتتميز برائحتها الكريهة وتتراوح نسبة الرطوبة بها بين (95-97)%[2].

- **الحمأة المنشطة Activated sludge**:

تعرف بالحمأة الناتجة من أحواض الترسيب النهائية التي تلى أحواض التهوية في مرحلة المعالجة البيولوجية، ونظرا لتعرض هذا النوع من الحمأة(أكثر من غيره) إلى عمليات تهوية قوية ومستمرة فلذلك لا تظهر له رائحة، كما أنها يحتوى على نسبة كبيرة من الماء تصل إلى99%أو أكثر. وليس من السهل فصل الماء عن المواد الصلبة في الحمأة المنشطة، كما أنه من التبديد بمكان تجفيف الحمأة المنشطة

مباشرة في أحواض التجفيف، لذلك تستخدم عمليات هضم الحمأة (تخمير الحمأة) أو بعض العمليات الكيميائية المختلفة لخفض المحتوى المائي لها وبالتالي تقليل حجمها بدرجة مقبولة[2].

- **الحمأة المترسبة كيميائيا** :

يمكن استخدام بعض العمليات الكيميائية المساعدة لإنجاز عمليات الترسيب بسرعة وكفاءة مقبولة في بعض محطات معالجة مياه الصرف الصحي، وخصوصاً في محطات معالجة مياه الصرف الصناعية، ورغم سهولة الترسيب باستخدام العمليات الكيميائية إلا أن الحمأة الناتجة تتميز بمحتواها المائي المرتفع والذى يجعل من الصعب استخدام أحواض التجفيف مباشرة، وعادة ما يتم تخميرها قبل التخلص منها[2].

- **الحمأة المهضومة (المخمرة) :**

تنتج الحمأة المهضومة أو المخمرة من عمليات الخاصة بتخمر الحمأة بمعزل عن الهواء (أي في عدم وجود الأكسجين Anaerobic condition)،وهي عمليات بيولوجية تهدف إلى تحلل أكبر قدر ممكن من المواد العضوية الموجودة بطريقة غير هوائية وذلك بفعل البكتريا اللاهوائية، فهي لا تحتاج الأكسجين بل تحصل علي الطاقة من مركبات أخري، ويمكن أن تؤدى إلى :

- أكسدة المواد القابلة للتحلل لا هوائياً .
- الفصل الكامل للمواد الصلبة عن السائل تمهيدالتجفيفها.
- خفض كتلة الحمأة بنسب تتراوح بين%(25-40)

وتتميز الحمأة المهضومة بلونها القاتم وبتجانسها، كما أن لها رائحة محتملة عندما تكون رطبة، ويتم تجفيفها بعد ذلك في أحواض التجفيف نظرا لإنخفاض محتواها المائي نتيجة لعمليات الهضم[2].

II .2.4تأثيرها على البيئة :

تعتبر الحمأة مادة غنية بالعناصر المغذية والمحسنة لكل من التربة والنباتات حيث تحتوي في تركيبتها على عنصري الفسفور والنيتروجين الهام للتربة والنبات ، و على الرغم من ذلك فهي تشكل خطرا على الصحة العامة والبيئة ، لاحتوائها على نسب عالية من مسببات وناقلات الامراض، الديدان، الميكروبات، المعادن الثقيلة ونسبة مرتفعة من الأملاح، الآفات السامة والمقاومة للحرارة.

ان استخدام الحمأة الملوثة بمسببات الامراض في الاراضي الزراعية ، يشكل خطرا مباشرا على التربة و المياه، ويعتبر سببا رئيسا في الاصابة بالسالمونيلا وبيض الدودة الشريطية ، سواء من خلال التعامل بشكل مباشر مع الحمأة الملوثة نفسها، أو من خلال الاتصال غير المباشر كتناولالمحاصيل الزراعية التي نتجت من تربة ملوثة بالحمأة .

وتشكل الملوحة المرتفعة للحمأة دورا كبيرا في التحسين من التوصيل الكهربائي للتربة ، والذي بدوره يعمل على تدمير التوازن الغذائي للغطاء النباتي حيث يمنع ويقيد من امتصاص العناصر الغذائية الهامة للنبتة , تلك التي تحتاجها من التربة لتنمو وتتغذى بشكل طبيعي وسليم ، مما يحدث ضرر مباشر لجذور النباتات ، و خسارة كل من الغطاء النباتي والتربة حيث تصبح غير صالحة لعملية الزراعة .

كما و يعتبر استخدام كميات كبيرة من الحمأة على التربة ولفترات طويلة سببا رئيسا لرفع كل من نسبة النيتروجين والفسفور في التربة " نظرا لكون الحمأة غنية بهذه العناصر" مما يجعل النبتة تأخذ احتياجها الاساسي من تلك العناصر وفائض ما تبقى يبقى عالقا في التربة إلى حين هبوط الامطار التي بدورها تحمل معها كل من النيتروجين والفسفور إلى داخل الارض باتجاه المياه الجوفية وبالتالي تلوثها بال شك .

أما من حيث احتواء الحمأة على المعادن الثقيلة السامة مثل الكاديوم والكروم وكذلك النحاس والزنك تلك العناصر التي تصل اليها عن طريق المياه العادمة الصناعية الناتجة من مختلف الصناعات التي تدخل في تركيبتها تلك العناصر او من المواد الكيماوية الموجودة في مياه الصرف الصحي المنزلي ، نتيجة الاستخدام المنظفات والمبيدات ، بالتالي تصل هذه المعادن الثقيلة إلى التربة الزراعية نتيجة استخدام الحمأة ، وتعتبر المعادن الثقيلة عاملا مهما للحد من استخدام الاراضي ، لان المعادن الثقيلة تتراكم على سطح الارض ويصعب اذابتها والتخلص منها، لكونها مستقرة نسبيا ، ويسهل انتقالها إلى جسم الانسان والحيوان و تراكمها داخل الجسم والتسمم بها[6].

II .5 خصائص الحمـأة :

تتكون الحمأة من مواد صلبة عضوية وغير عضوية موجودة في مياه الصرف الصحي الخام وتتم إزالتها في خزانات الترسيب الأولية بالإضافة إلى المواد الصلبة العضوية المنتجة أثناء المعالجة الثانوية لمياه الصرف الصحي وإزالتها في خزانات الترسيب الثانوية. تعتمد خصائص وكمية الحمأة المنتجة على طبيعة مياه الصرف الصحي الخام وعملية المعالجة المستخدمة. وهو كما هو موضح أدناه:[7]

1. الحمأة من خزانات الترسيب الأولية:

تحوي الحمأة من أحواض الترسيب الأولية على نسبة% (3-7)مواد صلبة فيها(60%-80) مواد عضوية وهي ذات لون رمادي موحل طيني متوسط الخشونة ذات رائحة كريهة وهي بحاجة لمعالجة لهضم المواد العضوية[7].

2. الحمأة من خزانات الترسيب الثانية:

الحمأة الناتجة من أحواض الترسيب الثنائية بنية اللون ورائحتها فيعني أن الحمأة متعفنة تشبه رائحة الأرض فإذا كان اللون غامقا(septicconition)وتتألف الحمأة الثانوية %(75 - 90) مواد عضوية من كائنات دقيقةmicroorganismsومواد قابلة للتحلل البطيء

جدول(II .1): خصائص أنواع الحمأة في مختلف مراحل المعالجة

معالجة مياه الصرف	الترسيب الأولي / بالثقالة	حمأة المعالجة البيولوجية	المعالجة المتقدمة كيميائية- ترشيح
الحمأة :			
• كمية الحمأة المتولدة L/m3 من مياه الصرف .	3.5-2.5	20-15	30-25
- محتوى المواد الصلبة %	7-3	2-0.5	1.5-0.2
- محتوى المواد العضوية %	80 -60	60 -50	50-35
- قدرة المعالجة	سهلة	صعبة	صعبة
• الحمأة من مرشحات الحزام			
- تغذية المواد الصلبة %	7-3	6-3	
- كعكة الحمأة %	44-28	35-20	

II .6 بعض العوامل المؤثرة على الحمأة:

II .1.6 النمو البكتيري :

تظهر البكتيريا مقدرة عجيبة على النمو. فبعض أنواع البكتيريا يمكن ان تضاعف عددها في غضون عشرين دقيقة و ذلك بحال توفر الشروط المناسبة للنمو مثل درجة الحرارة و درجة باهاء المياه (pH)و المواد العضوية والمغذيات(فوسفور- نتروجين...) ..الخ. و يقاس معدل النمو بالزيادة الحاصلة في عدد البكتريا مع مرور الوقت[8].

II .2.6 الأنزيمات :

الأنزيمات هي مركبات تنتجها الأحياء عملها هو المساعدة في حدوث التفاعل البيو كيميائي ، إن كافة التفاعلات الكيميائية تقريبا تتطلب وجود أنزيمات تسبب حدوثها .

إن الأنزيمات تساعد البكتيريا في عملية تفكيك المواد المغذية وفي إعادة بناءها إلى مكونات جديدة تحتاجها في عملية النمو و التكاثر و تؤدي الأنزيمات عملها بكفاءة عندما تكون الظروف البيئية ملاءمة فقط ، و إذا لم تكن الظروف ملاءمة لا تعمل الأنزيمات بشكل جيد و بذلك فإن البكتيريا لا تقوم بعملها جيدا وقد لا تتمكن من الحياة و إذا كانت الظروف جيدة فإن البكتيريا تعيش و تزدهر[9] .

II .3.6 تأثير الأكسجين :

البكتيريا تحتاج الأكسجين لتعيش ، يستخدم استهلاك الأكسجين لتحديد نشاط الكائنات الحية فالأحياء النشيطة تستهلك الغذاء بسرعة لذلك فهي تستهلك الأكسجين بمعدل عال . نقيس معدل استخدام الأكسجين بتجربة تدعى معدل استهلاك الأكسجين (OUR) ، أو معدل التنفس . تقاس كمية O_2لكل ساعة (O_2/h) من كمية المواد الصلبة العالقة في السائل المختلط (MLSS)ليترافق المعدل المرتفع عادة مع قيمة مرتفعة للنسبة الغذاء الى المواد الحية (F/M) و الحمأة الأحدث عمرا و يترافق المعدل المنخفض مع قيمة منخفضة للنسبة (F/M) و الحمأة الأطول عمرا (القديمة) ، لذلك أن اردت معدل أعلى لاستهلاك الأكسجين ، يجب تصريف كمية أكبر من الحمأة ، و تصريف كمية أقل إذا أردنا نسبة أقل من F/M[9].

II .4.6 تشكل الندف :

عندما تبدأ البكتيريا بالنمو تتطور عادة على شكل سلاسل أو مجموعات . هذه البكتيريا شديدة النشاط و الحركة و يصعب ترسبها . فهي لم تطور بعد طبقة بيولوجية لزجة (slime) تساعدها لتلصق مع بعضها. لذلك عندما يحدث المزج تتكسر الندف و التجمعات و تبقى الكائنات الحية مشتتة في السائل الممزوج و لا تتكتل أو تترسب .

بزيادة عمر الحمأة تفقد الكائنات الحية قدرتها على الحركة و تجمع بعض المواد العضوية اللزجة ، ثم يسهل عليها أن تلتصق مع بعضها ، تكبر الكتل الحيوية حجما مع الوقت لتشكل ندفا ، إذا تمكنت الكائنات الحية من التطور بشكل ملائم ضمن الظروف الملائمة تكبر الندف و تتراض و تبدأ بالترسب .

إن المزج في حوض التهوية يجعل الندف تبقى بالحجم الصغير لأن قوى الترابط بينها ليس كبيرا رغم كون الأحياء لزجة ، وهذا أمر جيد فهو يسمح للخلايا الحيوية والغذاء و الأكسجين لتتلاقى و تستمر عملية التهوية[9].

II .5.6تأثير الأكسجين المنحل :

تحتاج الكائنات الحية في حوض التهوية الى الأكسجين لتتمثل الطعام من أجل الحفاظ على الخلية للنمو رغم أن الكائنات الحية تحتاج الأكسجين فإن بعضها قد يكفيه من الأكسجين أقل مما يحتاج غيره من

الكائنات ، فكل الكائنات يلزمها على الأقل 0,1)l/gm(الى 0,3)لتعمل بشكل ملائم . لذلك من الضروري الحفاظ على قيمة حوالي 2mg/l من الأكسجين المنحل في حوض التهوية بحيث أنه حتى البكتيريا الموجودة ضمن الندفة تحصل على حاجتها من الأكسجين.

إذا كان تركيز الأكسجين المنحل أفل من 2mg/l فإن الكائنات على حواف الندفة يحصل على الكمية المتوفرة من الأكسجين قبل أن يصل إلى مركز الندفة. فتموت الكائنات الموجودة في المركز و هذا يسبب تكسر الندف[9].

II .7.6 تأثير المزج :

يلزم المزج لتبقى الأحياء والمواد المغذية و الاكسجين مع بعضها و لتزيل نفايات أو منتجات التمثيل الخلوي ، إذا لم يوجد مزج كاف لن تحدث المعالجة الملائمة بسبب نقص التماس بين الكائنات الحية و بين الغذاء و الأكسجين ، و إذا كان المزج شديدا تتكسر الندف أو تشكل جزيئات متندفة غير مستقرة[9].

II .8.6 تأثير ال pH :

إن الأنزيمات التي تنظم العديد من التفاعلات البيو كيميائية تعتمد كثيرا على قيمة ال pH ، القيمة المثلى ل pH هي بين 7 و 7.5 من أجل الإبقاء على الكائنات حية في وسط الحمأة المنشطة [9].

II .9.6 تأثير درجة الحرارة :

إن التفاعلات البيو كيميائية تعتمد كثيرا على درجة الحرارة ، فالحرارة المنخفضة تسبب بطء التفاعلات ، وأثناء فصل الشتاء نحتاج إلى كائنات حية أكثر عددا للقيام بنفس العمل الذي تقوم به الكائنات الحية في فصل الصيف[9].

II .10.6تأثير المواد المغذية :

تحتاج الأحياء الدقيقة الى مواد مغذية معينة من أجل نموها ، المواد المغذية الأساسية المتوفرة في مياه الصرف البلدية هي : الكربون (C) يعبر عنه DBO، النتروجين (N) ، الفوسفور (P) ضمن النسبة BOD:N:P 100:5:1 .

بالإضافة للكربون و النيتروجين و الفوسفور ، نحتاج كميات ضئيلة من الصوديوم و البوتاسيوم و المغنيزيوم و الحديد و مواد أخرى عديدة ، وتتوفر معظم هذه المواد المغذية في مياه الصرف البلدية العادية .

إن معظم مشاكل نقص المواد المغذية تحدث عند وجود كمية كبيرة من مياه الصرف الصناعية ، ففي حال عدم توفر المواد المغذية تفشل عملية التلويث الخلوي و يبدأ تراكم نوع معين من الشحم البكتيري (slime) حول الخلية . يتباطأ نشاط الخلية لأنها لا تستطيع إنتاج الأنزيمات الكافية و لأن المواد المغذية

اللازمة لا تستطيع اختراق طبقة الشحم لتصل إلى الخلية ، لن تترسب الحمأة وستتباطأ عملية إزالة ال DBO[9].

II .7مراحل معالجة حمأة مياه الصرف الصحي :

- ✓ تكثيف الحمأة .
- ✓ الهضم .
- ✓ المعالجة .
- ✓ نزع الماء .
- ✓ التجفيف .
- ✓ الترميد .

II .8 مفهوم عام عن الحمأة المعالجة :

تعرف الحمأة المعالجة بالحمأة التي اجريت عليها تعديلات بسيطة أو معقدة بطرق مختلفة مثل: التكثيف ، الهضم اللاهوائي ، التجفيف وغيرها، لإحداث تغيير في تركيبتها الفيزيائية أو الكيميائية أو الحيوية أو كلا منها ، حتى تحقق الشروط والثوابت والمواصفات المحلية او العالمية بهدف أن تصبح آمنه بيئيا وصحيا ، وبعد ذلك يمكن الاستفادة منها واستخدامها في مجالات عدة مثل الاستخدام الزراعي،الدوبال، الطاقة، تعبيد الشوارع وغيرها الكثير[6].

II .9 كيفية جمع الحمأة :

المواد الصلبة المترسبة إلى قاع حوض الترسيب تقشط عادة إلى حجرة خاصة توجد في إحدى النهايات (في المروق المستطيل) أو إلى الوسط (في المروق الدائري) ، يتم ضخ الحمأة المتجمعة في الحفرة إلى نظم معالجة الحمأة[9] .

II .10 المعايير المتبعة لاختيار نمط المعالجة :

- الظروف البيئية للمنطقة المنتج بها الحمأة.
- النواحي الاقتصادية (أي تكاليف معالجة الحمأة).
- الموقع الجغرافي والمناخي لمنطقة موقع محطة المعالجة .
- درجة جودة المعالجة المطلوبة للحمأة ومدي إمكانية إعادة استخدامها في الزراعة فيما بعد[2].

II.11طرق معالجة الحمأة :

II.1.11تكثيـــف الحمـــأة – تركيز الحمأة :

الهدف من التكثيف هو تقليل حجم الحمأة وزيادة تركيز المواد الصلبة في الحمأة ليسهل التعامل معها بالنسبة للضخ والهضم ونزع الماء ولتقليل حجم المنشآت المعنية فمثلا حمأة منشطة نسبة المواد الصلبة 0,6 %تصبح بعد التكثيف 3% حيث يتحقق تخفض لحجم الحمأة بحدود 5 مرات تقريبا .وهناك ثلاث أشكال من عمليات التكثيف وهي: [7]

- **التكثيف بالثقالة**:

يتم استعمال التكثيف بالثقالة لفصل المواد الصلبة عن المياه في الحمأة والطريقة تشبه حوض الترسيب التقليدي ويتم دخول الحمأة من مركز الحوض من خلال الموجه وخروج المياه الطافية من الهدارات و الشكل التالي يوضح ذلك [7].

- **تكثيف الحمأة بالتطويف DAF** :

ويدعى التطويف بالهواء المنحل،air flotation thickeningDissolved. وهو يستعمل لتطويف المواد الصلبة للحمأة وخصوصا الحمأة المنشطة وكذلك تستعمل الطريقة لتطويف الزيوت والشحوم. في مكثف DAF يتم حل الهواء في المياه تحت الضغط(saturated الإشباع) في غرفة خاصة bar (2.80-5.50) ، وعند تحرر الضغط (ويكون عند مدخل الحوض) تظهر فقاعات صغيرة جدا µm (60-100)تقوم بدفع المواد الصلبة باتجاه الأعلى، يتم استعمال مياه مطوفة من حوض التطويف لإعادة ضغطها أو تستعمل مياه جديدة أو تستعمل مياه الصرف بعد حوض التطويف [7].

1. تكثيف الحمأة بالطرد المركزي :

يعمل جهاز الطرد المركزي كمكثف للحمأة المنشطة أو يقوم بنزع المياه من الحمأة المهضومة Digestedأو الحمأة المكيفة conditioned، حيث يتم فصل الماء عن الحمأة بقوة الطرد المركزي. والمكثف الحلزوني أو(البرميل الدوار)حيث يقوم حلزون داخل اسطوانة بدفع الحمأة نحو جوانب الأسطوانة والتي هي من الشبك وتتحرك الحمأة إلى الأمام أيضا بواسطة الحلزون وتخرج الماء في هذه الأثناء عبر الشبك[7].

II .2.11 الهضم – تثبيت الحمأة :

التثبيت هو تحويل المادة العضوية الفعالة الموجودة في الحمأة إلى مواد خاملة غير ضارة .

1. في حالة التثبيت اللاهوائي:يكون هضم الحمأة بغياب الأكسجين الحر لتنتج كميات كبيرة من الغازات 65% منها او اكثر هي غاز الميثان ثم التخلص من المواد الصلبة المتبقية الثابتة أو بطيئة التحلل في الزراعة [9].

2. الهضم الهوائي:هو عملية تثبيت تطبق في تجهيزات هضم يركب فيها نافخ هواء أو يطلب تركيبه من أجل معالجة السوائل ، و هذا النظام سيئ بسبب الحاجة الى كمية كبيرة من الطاقة ، وهو ذو فعالية ضعيفة في الأماكن ذات الطقس البارد[9] .

3. التثبيت بالكلس :في تثبيت الحمأة بالكلس يتم رفع درجة pHحتى الدرجة 12 لمدة 2 ساعة كحد ادني وكذلك ترتفع درجة الحرارة أثناء المعالجة، مما يعطل النمو الحيوي ويدمر كثير من العوامل الممرضة ولكن الحمأة عمليا لم تعالج لأنه بمجرد تخفيض pH إلى 11 تبدأ البكتريا بالعمل ويمكن أن تنشط العوامل الممرضة من جديد ولذلك يجب معالجة الحمأة قبل تصريفها [7].

II .3.11 المعالجة – التكييف :

يتم تكييف الحمأة قبل عملية نزع الماء لتحسين أداءها وزيادة إزالة المياه من الحمأة وتتم بإحدى طريقتين:[10]

1. الطرق الكيميائية :

يمكن بتكييف الحمأة تخفيض الرطوبة من %(90-99)إلى %(65-80) حيث تسبب المواد الكيمائية تخثير للمواد الصلبة وإطلاق الماء الممتص، وتستعمل مواد كالكلس، وكلور الحديدي، و(الآلوم) الشب وتستعمل ايضا البوليمرات(polyelectrolytes)في التخثير ولكن الكفاءة اقل ويتم زيادة نسبة المواد الصلبة في الحمأة حتى %(20-30)[10].

2. **الطرق الفيزيائية :**

ومن أشهر الطرق هي الاهتزازات فوق الصوتية، التكييف الحراري وغيره...[10].

- **التكييف الحراري:**

ويتم تسخين الحمأة إلى درجة حرارة C°(177-240) وتحت ضغط يصل إلى KN/m^2(2760-1720) و لمدة (15) دقيقة حيث تقوم الحرارة والضغط بإطلاق المياه من الخلايا الميكروبية والحمأة المنشطة ولا تحتاج لمواد كيمائية وتصل نسبة المواد الصلبة %(40-50) وتستعمل الطريقة للحمأة التي

تحوي مواد سامة وغير قابلة للهضم البيولوجي. ويطلق التكييف الحراري غازات ومياه ملوثة يجب معالجتها، وعموم الطريقة مكلفة [10].

II .4.11 نزع المـــاء :

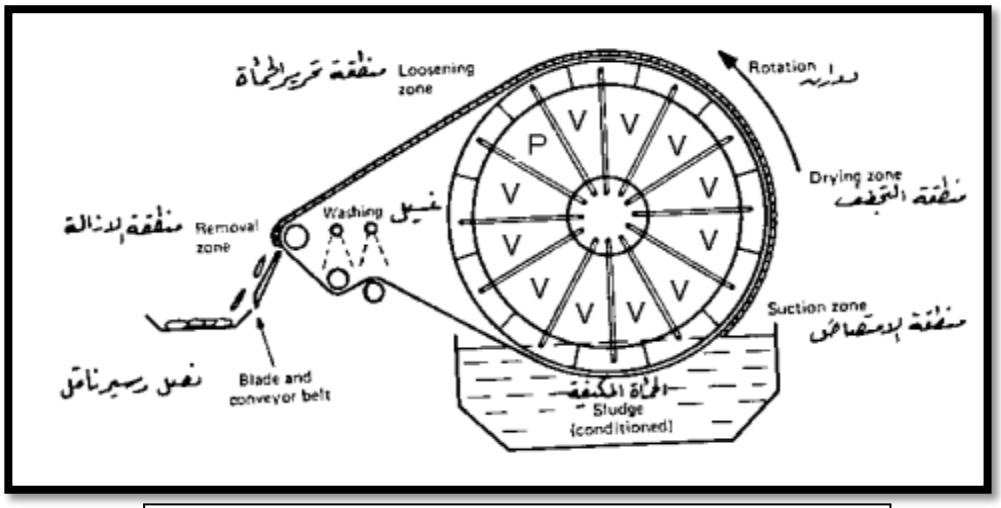
نزع الماء هو العملية الفيزيائية لتقليل محتوى الرطوبة في الحمأة والمواد الصلبة الحيوية لتحقيق تخفيض في الحجم أكبر من ذلك الذي يتحقق عن طريق التثخين، بسبب التخفيض الكبير في الحجم ، يقلل من رأس المال وتكاليف التشغيل للمعالجة اللاحقة للمواد الصلبة. يؤدي نزح المياه من الحمأة والمواد الصلبة الحيوية من تركيز المواد الصلبة من %(4الى20) تقليل الحجم إلى الخُمس وينتج عنه مادة سائلة غير متدفقة[10].

تشمل عمليات نزح المياه المستخدمة بشكل شائع العمليات الميكانيكية مثل أجهزة الطرد المركزي ، ومكابس الترشيح بالحزام ، ومكابس الترشيح بالضغط ؛ والعمليات الطبيعية مثل أحواض التجفيف وتجفيف البحيرات. المتغيرات الرئيسية في أي عملية نزح المياه هي تركيز المواد الصلبة ومعدل تدفق تيار التغذية ، والطلب الكيميائي وتركيز المواد الصلبة لكعكة الحمأة منزوعة الماء ، والتيار الجانبي. يتم تحديد اختيار عملية معينة حسب نوع وحجم الحمأة المراد تجفيفها ، وخصائص مثل الجفاف المطلوب للمنتج المجفف ، والمساحة المتاحة[10].

1. نزع الماء من الحمأة ميكانيكيا :

- المرشح الإنفراغي :[9]

يستخدم المرشح بضغط التفريغ بشكل واسع في الطرق الميكانيكية لإزالة المياه ، هذه الطريقة تستخدم لإزالة الرطوبة عن الحمأة و يمكن الوصول بعد المعالجة إلى حمأة بتركيز مادة صلبة قدره %(15-25)[9].



الشكل (II .6) : تجفيف الحمأة بالمرشح الإنفراغي

•نزع الماء بالترشيح الضاغط :

تم تطوير طريقة لإزالة الماء تضغط الحمأة بين سيرين مساميين تجبر الماء بالخروج من الحمأة بالضغط ، إن هذه العملية تتم بشكل مستمر يسبقها عادة مراحلة إضافة للمادة الكيميائية حيث تضاف مواد تشكيل الندف لتحسين مواصفات إزالة الماء من الحمأة ، في حالة التكييف الملائم للحمأة يمكن للسير المضغوط أن ينتج حمأة بتركيز مادة صلبة %(20-30) من أجل الحمأة المنشطة و%(35-40)من أجل حمأة من ماءات المعدن[9].

- **نزع الماء بالطرد المركزي :**

ويتم ذلك بوضع الحمأة في أسطوانات ذات جدران مسامية، وتدور هذه الاسطوانة بسرعة 750 لفة في الدقيقة - مما ينتج عنه اندفاع الحمأة إلى الجدران بفعل القوى الطاردة المركزية - فينفذ جزء من السائل خلال مسام الجدار بينما تبقى الرواسب مع بعضها السائل داخل الأسطوانة حيث يزال، ولا تستعمل هذه الطريقة بكثرة، كما أن الرواسب المزالة من داخل الأسطوانة تحتوى على حوالى %75من وزنها ماء[2].

II .5.11 التجفيف :

- **أحواض التجفيف الرملية :**

تستعمل أحواض التجفيف الرملية عندما يكون عدد السكان اقل من 20000 شخص وتتألف من طبقتين علوية رمل وسفلية حصى بحيث سماكة الرملcm(23-30) وقطر الحبيبات من mm(0.3-1) ومعامل الانتظام ليس أكثر من(4) والقطر الفعال mm(0.3-0.75). ومن حصى أو حجر مكسر سماكة cm(20 - 50) وأبعاد الحصى منcm(0.3 – 2.5)، عرض الأحواض 6m والطول لا يتجاوز 30m ارتفاع جدار الحوضm(0.3-1). سماكة طبقة الحمأة منcm(30-45) وميول الأرضيات لا يقل عن 1% [9] .

الشكل (II .7) : الحمأة في أحواض التجفيف الرملية

- **برك تجفيف الحمأة :**

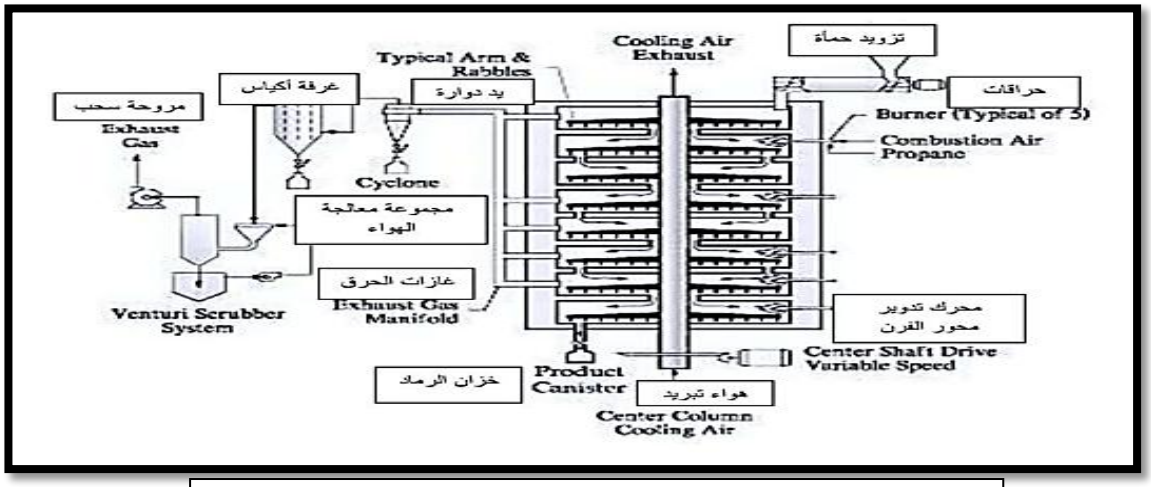
وهي برك توضع فيها الحمأة المهضومة ليتم تجفيفها بحرارة الشمس ونزع الماء المتشكل على سطح الحمأة عمق البركة (1,25-0,75)m وتصميمها يشبه تصميم أحواض الرمال ومدة التبخر من (5-2)siomوتركيز المواد الصلبة (30-20)% وتحتاج الحمأة إلى تخزين من اجل معالجة لاحقة، وينصح بتحميل المواد الصلبة (36-39)kg/m^2/yr وعادة يكون هناك حوض آخر للعمل بالتوازي إثناء التجفيف [9].

II .6.11 ترميد الحمأة :

يعتبر حرق الحمأة أو الترميد إحدى الطرق المتبعة في معالجة الحمأة وتهدف إلى القضاء كليا على الجراثيم الممرضة والإقلال من حجم الحمأة بتحويلها إلى رماد في المرمدات. ومن أكثر الأفران شيوعا هو :[9]

- **الفرن متعدد الطبقات :**

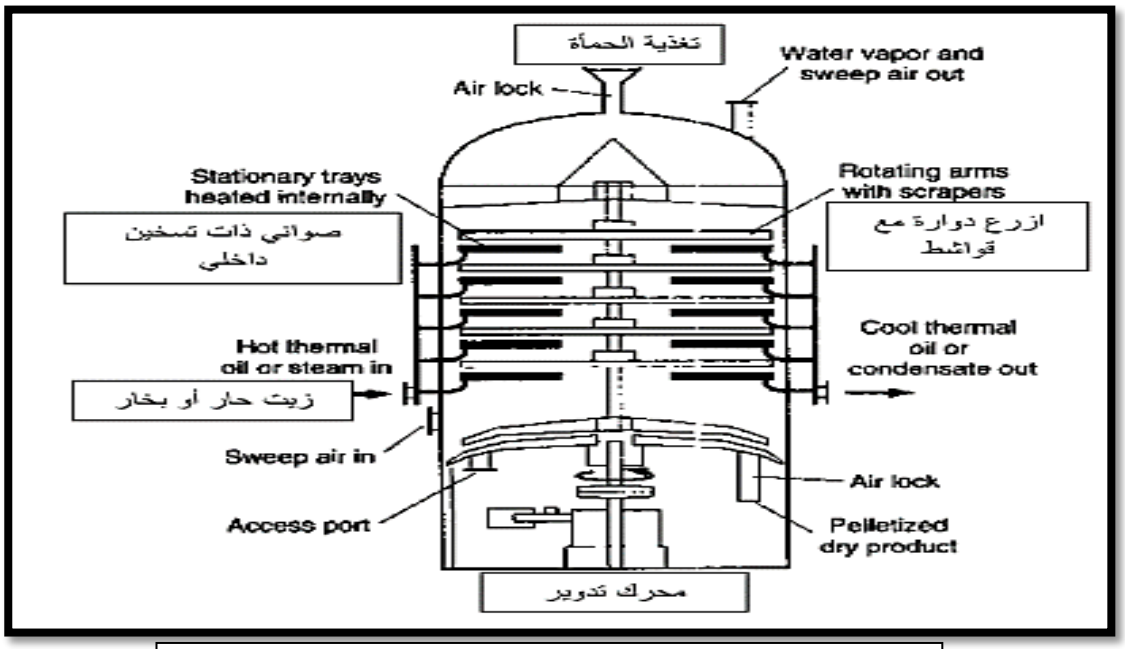
تنتقل كعكة الحمأة في الفرن من طبقة إلى طبقة بواسطة قواشط لتخرج الحمأة من الأسفل بشكل رماد[9].



الشكل (II .8) : طريقة حرق الحمأة في الفرن متعدد الطبقات

- **التجفيف غير المباشر:**

يستعمل نفس مبدأ الفرن السابق بتجفيف الحمأة بطريقة غير مباشرة فبدل استعمال الحراقات يضخ هواء ساخن أو زيت ساخن ضمن دائرة مغلقة على تماس مع الحمأة فنحصل على حمأةبنسبة رطوبة (8-5)% تقريبا وتكون الحمأة بشكل حبيبات%(4-2)[9].



الشكل (Ⅱ.9) : تجفيف الحمأة بطريقة غير مباشرة

خلاصة:

تمت عملية معالجة حمأة مياه الصرف الصحي وفق سلسلة من العمليات التي بدورها أدت الى تقليل من التلوث البيئي المنتشر في العديد من الدول.

قائمـــة المراجـــع

المراجع باللغة الأجنبية :

[10]Turovskiy, I.S and Mathai, P.K. (2006). Aerobic Digestion. In Wastewater Sludge Processing.

المراجع باللغة العربية :

[2] محمد يونس.(2015). دليل المتدرب اساسيات المعالجة و محطات شبكات الصرف الصحي . الشركة القابضة لمياه الشرب و الصرف الصحي .

[3] م.محمد منهل الزعبي، د.م. عمر جزدان، د.م. أحمد مجرد. م.محمد ناصر حبوب،ك.هالا درويش،م.محمد حقون.(2014). استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة .

[5].م. رصين زكية .(2009) .الأوليات و الكائنات الدقيقة الأخرى. موقع الهندسة البيئية.

[6] ريم حلبي.(2017).مذكرة ماجستير. تقييم الجوانب القانونية و التقنية و الاقتصادية لإدارة حمأة الصرف الصحي في المناطق الحضرية الفلسطينية. جامعة بيرزيت .

[7] م.محمد معن برادعي.(2018).دليل تصميم محطات معالجة مياه الصرف .المكتبة الزراعية الشاملة.

[8].م. عبد الرزاق محمد سعيد التركماني. (2009).المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي في محطات المعالجة. موقع الهندسة البيئية.

[9] فاطمةجعارة.(2017). محطات معالجة مياه الصرف الصحي . مجموعة هندسة الأبحاث البيئية.

المواقع الالكترونية :

[1]مفهوم الحمأة شوهد يوم (4/4/2022)فيwww.arabterm.org

[4]أهم الكائنات الحية المتواجدة في الحمأة شوهد يوم (7 جوان 2022) في https://www.climate-policy-watcher.org/wastewater-treatment-3/sources-of-sludge.html

الفصل الثالث

مجالات استخدام حمأة مياه الصرف الصحي المعالجة

تمهيد

تعد الحمأة منتج ثانوي لمعالجة مياه الصرف الصحي، بحيث تتكون جميع المواد التي تدخل في نظام الصرف الصحي بما في ذلك : المواد الصناعية ، و المواد الكيميائية ، والمواد المنزلية ،والمواد الطبية ، بحيث تتراكم هذه المواد في قاع محطات المعالجة لتشكل مادة شبه صلبة تشبه الطين و هي الحمأة ، و لهذه المادة استخدامات عديدة[1].

III.1 شروط استخدام الحمأة المعالجة :

منذ أن تم فصل المادة غير النقية عن مياه الصرف الصحي على شكل حمأة بواسطة محطات التنقية، تم إجراء اقتراحات وتجارب من مختلف الأنواع من أجل استخدام الحمأة المعالجة يجب استيفاء الشروط التالية:

1. يجب أن تستغرق العملية أقل وقت ممكن ، ويجب أن يكون هناك إزالة كاملة للمكونات الضارة .
2. لا يجوز السماح بإيذاء أو إزعاج بدني للعمال أو إلى جوار الأعمال.
3. يجب التخلص من المواد الأكثر قيمة في الحمأة أو استعادتها إلى أقصى حد.
4. يجب أن تكون العملية اقتصادية ، أي أن تكلفة التشغيل لا ينبغي أن تكون أكبر مما تبرره الفوائد المتوقعة[2].

III.2استخدامات الحمأة المعالجة في الوسط الهوائي(انتاج سماد):

III.1.2 تعريف الهضم الهوائي :

الهضم الهوائي من أكثر عمليات تثبيت الحمأة استخدامًا في محطات معالجة مياه الصرف الصحي التي تعالج أقل من 20000 m^3/jour وهي عملية أكسدة وتحلل الجزء العضوي من الحمأة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في خزانات خاصة مفتوحة أو مغلقة مع وجود الأكسجين، تعتبر عملية بيولوجية للنمو المعلق تشبه عملية الحمأة المنشطة من نوع التهوية الممتدة .تنتج العملية منتجًا مستقرًا ، وتقلل من الكتلة والحجم ، وتقلل من مسببات الأمراض[3].

III.2.2مراحل الهضم الهوائي :

يمكن اعتبار الهضم الهوائي للحمأة المنشطة الزائدة استمرارًا لعملية الحمأة المنشطة. عندما تتأكسد الركيزة القابلة للذوبان (الغذاء) تمامًا بواسطة السكان الميكروبيين ، تبدأ الكائنات الحية الدقيقة في استهلاك البروتوبلازم الخاص بها للحصول على الطاقة اللازمة للحفاظ على الخلية. هذه الظاهرة

المتمثلة في الحصول على الطاقة من الأنسجة الخلوية ، والمعروفة باسم التنفس الداخلي ، هي التفاعل الرئيسي في عملية الهضم الهوائي [3].

يتأكسد نسيج الخلية هوائيًا لثاني أكسيد الكربون والماء والأمونيا. مع استمرار عملية الهضم ، تتأكسد الأمونيا لاحقًا لتصبح نترات. في الواقع ، يمكن أكسدة حوالي %(65الى 80)فقط من أنسجة الخلية. وتتكون نسبة%(20الى 35) المتبقية من مكونات خاملة ومركبات عضوية غير قابلة للتحلل. تكون المادة التي تبقى بعد الانتهاء من عملية الهضم في حالة منخفضة الطاقة بحيث تكون مستقرة بيولوجيًا بشكل أساسي. ينتج عن الأكسدة الحيوية للكتلة الحيوية تقليل حجم المواد الصلبة المتبقية التي تتطلب التخلص منها. ومع ذلك ، فإن هذا الهدف المتمثل في تقليل الحجم لم يتحقق بالكامل في العديد من المرافق بسبب مشاكل نزح المياه الفعال للمخلفات الصلبة الحيوية المهضومة.

يمكن توضيح الخطوة الأولى في عملية الهضم الهوائية ، وهي الأكسدة المباشرة للمادة القابلة للتحلل البيولوجي ، من خلال المعادلة :[3]

$$\text{Organic matter} + O_2 \xrightarrow{\text{Bacteria}} \text{Cellular material} + CO_2 + H_2O$$

صيغة كتلة خلايا الكائنات الحية الدقيقة هي .$C_5H_7O_2N$ يمكن توضيح الخطوة الثانية ، التنفس الداخلي ، من خلال المعادلات التالية :

تدمير الكتلة الحيوية :

$$C_5H_7O_2N + 5O_2 \longrightarrow 4CO_2 + H_2O + NH_4HCO_3$$

نترجة نيتروجين الأمونيا المنطلق :

$$NH_4^+ + 2O_2 \longrightarrow NO_3 + 2H^+ + H_2O$$

المعادلة الشاملة مع النترجة الكاملة:

$$C_5H_7O_2N + 7O_2 \longrightarrow 5CO_2 + 3H_2O + HNO_3$$

استخدام النيتروجين كمتقبل للإلكترون (نزع النتروجين) :

$$C_5H_7O_2N + 4NO^-_3 + H_2O \longrightarrow NH^+_4 + 5HCO^-_3 + 2ON_2$$

مع النترجة الكاملة / نزع النتروجين:

$$2C_5H_7O_2N + 11.5O_2 \longrightarrow 10CO_2 + 7H_2O + N_2$$

مع النترجة الجزئية:

$$2C_5H_7O_2N + 12O_2 \longrightarrow 10CO_2 + 5H_2O + NH^+_4 + NO^-_3$$

III.3.2. مزايا الهضم الهوائي :

- انخفاض تكلفة رأس المال.
- منتج نهائي عديم الرائحة.
- تقليل المواد الصلبة المتطايرة بشكل طفيف عن ذلك الذي تم الحصول عليه في عملية الهضم اللاهوائي .
- أسهل للعمل .
- التحكم التشغيلي في العلاقة بين الأحماض المتطايرة والقلوية غير ضروري.
- انخفاض BOD و TSS ونيتروجين الأمونيا في سائل طاف .
- مناسب لهضم الحمأة الصلبة الغنية بالمغذيات مع استعادة المزيد من قيم الأسمدة الأساسية.
- أكثر أمانًا للعمل مع عدم وجود احتمال لانفجار الغاز واحتمالية أقل لمشاكل الروائح[3].

III.4.2. سلبيات الهضم الهوائي :

- تكلفة التشغيل أعلى من حيث تكلفة الطاقة لتزويد الأكسجين المطلوب.
- لا يتم إنتاج غاز الميثان ، وهو منتج ثانوي مفيد.
- تعتمد العملية على درجة الحرارة.
- يتم تقليل كفاءة العملية أثناء الطقس البارد.
- يتأثر الأداء بتركيز المواد الصلبة ونوع الحمأة والموقع ونوع نظام الخلط والتهوية[3].

III.5.2.إنتاج السماد :

تمت ممارسة سماد النفايات الصلبة المنزلية والسماد منذ آلاف السنين ، وقد تم استخدام حمأة مياه الصرف الصحي كمكوِّن في النشر منذ مائة عام.ومع ذلك ، فإن إنتاج السماد من حمأة المياه العادمة على نطاق واسع لم يبدأ إلا في الستينيات.استخدمت الطرق المبكرة في أوروبا أكوامًا ثابتة بدون تهوية (التحلل اللاهوائي) وتضمنت لاحقًا ملء الخنادق المفتوحة بالخلط الدوري .

بدأ تحويل حمأة مياه الصرف إلى سماد في فرنسا وألمانيا والمجر واليابان باستخدام العشب والسماد كمواد منتفخة.في وقت لاحق ، اتبعت دول شمال أوروبا مثل فنلندا والسويد وهولندا هذه الممارسة ، على الرغم من برودة المناخ ، حيث بدأت روسيا في تحويل النفايات إلى سماد باستخدام نفايات مونيسيبال الصلبة وبعد ذلك خليط من النفايات الصلبة والحمأة المجردة من المياه.بدأ تحويل حمأة مياه

الصرف إلى سماد في الولايات المتحدة في أوائل السبعينيات فقط.تم وصف أمثلة على مرافق التسميد في أوروبا وأمريكا الشمالية لاحقًا في هذا الفصل [3].

1. عملية التسميد :

تحويل حمأة مياه الصرف إلى سماد هو عملية هوائية حرارية تعمل على تحلل المكونات العضوية.يمكن وصفه بالصيغة :

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightleftharpoons 6CO_2 + 6H_2O + 674\ kcal$$

يمكن أيضًا إجراؤها كعملية لاهوائية موصوفة في الصيغة:

$$C_6H_{12}O_6 \rightleftharpoons 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 27kcal$$

توفر العملية الهوائية محتوى أعلى من السعرات الحرارية.إنها تسير أسرع بكثير من العملية اللاهوائية وتحلل المكونات العضوية ينتج مادة ثابتة تشبه الدبال.

يمثل سماد علم الأحياء الدقيقة النشاط المشترك لسلسلة مختلطة من البكتيريا والفطريات الشعاعية والفطريات.على الرغم من أن العلاقة المتبادلة بين هذه المجموعات الميكروبية غير مفهومة تمامًا ، فمن المعروف أن البكتيريا مسؤولة عن تحلل جزء كبير من المادة العضوية .

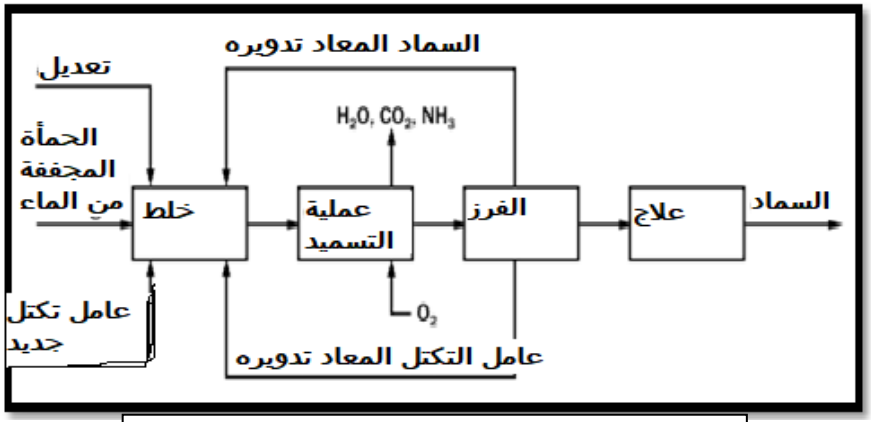
يحدث التسميد في ثلاث مراحل متتالية: الطور الوسيط ، المحبة للحرارة ، ومراحل المعالجة. في المرحلة الأولية من المحبة المتوسطة ، تزداد درجة حرارة كومة التسميد من درجة حرارة محيطة إلى 40C° أي (72F). في المرحلة المحبة للحرارة ، تزداد درجة الحرارة من C°(40الى70)أي من F(72إلى126). في مرحلة المعالجة النهائية (المعروفة أيضًا بمرحلة التبريد)، يتم تقليل النشاط الميكروبي ، وتكتمل عملية التسميد. يوضح المراحل الثلاث فيما يتعلق بتنفس ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة.

جميع الفئات الثلاث من الكائنات الحية الدقيقة نشطة خلال جميع المراحل الثلاث. في المرحلة المتوسطة ، تقوم البكتيريا المنتجة للحمض باستقلاب الكربوهيدرات والسكريات والبروتينات. في المرحلة المحبة للحرارة ، تصبح البكتيريا المحبة للحرارة نشطة وتقوم باستقلاب البروتينات والدهون والدهون. كما أنها مسؤولة عن الكثير من الطاقة الحرارية المنتجة. توجد الفطريات الشعاعية والفطريات في كل من المرحلتين الوسطية والمحبة للحرارة وهي مسؤولة عن تدمير مجموعة متنوعة من المركبات العضوية المعقدة والسليلوز. في مرحلة المعالجة النهائية ، ينضج السماد من خلال المزيد من النشاط الجرثومي إلى منتج مستقر. يتم إعادة تسخين السماد غير الناضج بشكل كافٍ في التخزين وعند إعادة الترطيب[3].

2. طرق التسميد :

تتشابه العملية الأساسية لكل طريقة سماد الخطوات الأساسية هي كما يلي:

- يضاف عامل تكتل إلى الحمأة منزوعة الماء للتحكم في المسامية والرطوبة. يتم أيضًا إضافة التعديلات ، إذا لزم الأمر ، في هذه الخطوة لتكملة العناصر الغذائية المحدودة مثل الكربون. يمكن أن تكون عوامل التكتل والتعديلات عبارة عن مجموعة متنوعة من المواد ، مثل رقائق الخشب ، ولحاء الأرض ، ونفايات الفناء ، ونشارة الخشب ، ورماد الخشب ، والجفت ، والمخلفات الزراعية مثل قشر الأرز ، والحمأة السماد. يجب أن يكون الخليط مساميًا ومستقرًا من الناحية الهيكلية وقادرًا على الحفاظ على تفاعل التحلل الحراري الحيوي.
- يجب أن تتم خطوة تحلل عالية المعدل يتم فيها تهوية الخليط عن طريق الدوران الميكانيكي ، أو عن طريق تزويد الهواء بمنفاخ ، أو بكليهما. يجب الوصول إلى درجة حرارة في النطاق المحبة للحرارة من°C(40-70). هذا يضمن أيضًا تدمير الكائنات المسببة للأمراض ويقلل من محتوى الرطوبة عن طريق التبخر.
- خطوة تخزين ومعالجة تسمح للكومبوست بالاستقرار بشكل أكبر وتبريده إلى درجات حرارة بعد منخفضة.
- في حالة استخدام عامل تكتل ، يمكن استعادته في نهاية خطوة التحلل عالية المعدل أو مرحلة المعالجة. يمكن إعادة تدوير بعض السماد كعامل كثيف.قد تكون هناك حاجة إلى تجفيف هواء إضافي بين معدل التحلل العالي وخطوة المعالجة إذا كان السماد رطبًا جدًا بحيث لا يمكن فحصه[3].



الشكل (1.Ⅲ) :التخطيط المعمم للتسميد.

3. العوامل المؤثرة في التسميد :

يمثل التسميد النشاط المشترك لسلسلة مختلطة من البكتيريا والفطريات الشعاعية والفطريات في مراحل مختلفة من العملية. العوامل الرئيسية التي تؤثر على بيولوجيا التسميد هي الرطوبة ودرجة الحرارة ودرجة الحموضة وتركيز المغذيات وإمدادات الأكسجين [3] .

- **الرطوبة:**

تحلل المواد العضوية يعتمد على الرطوبة. أقل من 40% رطوبة قد تحد من معدل التحلل. محتوى الرطوبة الأمثل هو%(50الى 60). محتوى الرطوبة مهم أيضًا للسلامة الهيكلية والمسامية الكافية لكومة السماد. إذا كان خليط السماد الأولي يحتوي على أكثر من 60%رطوبة ، فلن يتم تحقيق السلامة الهيكلية المناسبة ولن يتحلل الخليط جيدًا[3].

- **درجة الحرارة :**

تعتمد عملية التسميد على درجات حرارة تتراوح من°C(50-65)، ولكن لا تزيد عن°C70للحصول على أفضل النتائج ، يجب الحفاظ على درجات الحرارة بين°C(50-55) في الأيام القليلة الأولى وما بين °C(55-60)لبقية عملية التسميد.درجات الحرارة التي تزيد عن°C(65-70) لفترة زمنية طويلة ضارة بالنشاط الميكروبي.ومع ذلك ، تتكون النباتات الدقيقة الحرارية من البكتيريا التي يمكن أن يتذبذب نشاط درجة حرارتها بين°C(60-75)يؤثر محتوى الرطوبة ، ومعدلات التهوية ، وحجم وشكل الوبر ، والظروف الجوية ، والمغذيات على توزيع درجة الحرارة في كومة السماد.على سبيل المثال ، في حالة وجود رطوبة زائدة ، سيتم نقل الحرارة عن طريق التبخر ، وبالتالي سيكون ارتفاع درجة الحرارة أقل.من ناحية أخرى ، سيقلل محتوى الرطوبة المنخفض من معدل النشاط الميكروبي ، وبالتالي تقليل معدل تطور الحرارة والاحتفاظ بها[3].

- **الرقم الهيدروجينيPH:**

يجب أن يكون الرقم الهيدروجيني لخليط السماد بشكل عام في النطاق من(6-9). يتراوح نطاق الأس الهيدروجيني الأمثل لنمو معظم البكتيريا بين 6 و 7.5 وبين 5.5 و 8 للفطريات.على الرغم من أن الأس الهيدروجيني في الكومة يتفاوت خلال فترة التسميد ، إلا أنه منظم ذاتيًا بشكل أساسي.من الصعب تغيير الرقم الهيدروجيني لتحقيق النمو البيولوجي الأمثل.لذلك ، لم يتم العثور على أنه عنصر تحكم تشغيلي فعال[3].

•تركيز المغذيات :

كل من الكربون والنيتروجين مطلوبان كمصادر طاقة لنمو الكائنات الحية الدقيقة.يتم استخدام ما يقرب من 30 جزءًا من وزن الكربون القابل للتحلل الحيوي بواسطة الكائنات الحية الدقيقة لكل جزء من النيتروجين.لذلك ، فإن نسبة الكربون إلى النيتروجين المرغوبة في خليط التسميد تتراوح من 25:1 إلى 35:1 بالوزن.تزيد النسب المنخفضة من فقدان النيتروجين بالتطاير مثل الأمونيا ، مما يؤدي إلى فقدان القيمة الغذائية للسماد وانبعاث رائحة الأمونيا.تؤدي النسب الأعلى إلى وقت أطول للتسميد تدريجيًا ، وتظل المادة العضوية نشطة جيدًا في مرحلة المعالجة[3].

•إمدادات الأكسجين :

يجب الحفاظ على تركيز الأكسجين في كتلة التسميد بين %(5و15)من حجم كتلة الغاز.على الرغم من أن تركيزات الأكسجين في عملية windrow قد لوحظت منخفضة تصل إلى 0,5% بدون أعراض لاهوائية ، إلا أن الحد الأدنى من 5% مطلوب بشكل عام للظروف الهوائية.ستؤدي تركيزات الأكسجين الأعلى من 15% إلى انخفاض درجة الحرارة بسبب زيادة تدفق الهواء.يجب أن يصل الأكسجين إلى جميع أجزاء مواد التسميد للحصول على أفضل النتائج ، خاصة في أنظمة الوعاء [3].

4. الايجابيات و السلبيات لتسميد الحمأة :

المزايا الرئيسية لتسميد الحمأة هي كما يلي:

1. يحتوي الكومبوست على وفرة من العناصر الغذائية وهو مناسب لمجموعة متنوعة من الاستخدامات النهائية ، مثل تنسيق الحدائق ومزج التربة السطحية ووسائط النمو .
2. يحتوي الكومبوست على نسبة نيتروجين أقل من المواد الصلبة الحيوية الناتجة عن عمليات التثبيت الأخرى بسبب فقدان الأمونيا أثناء عملية التسميد. ومع ذلك ، يتم إطلاق النيتروجين في السماد بشكل أبطأ ويكون متاحًا للنباتات على مدى فترة طويلة من الزمن ، وهو أكثر انسجامًا مع احتياجات امتصاص النبات .
3. يمكن أن تلبي الحمأة التي يتم تحويلها إلى سماد جيد متطلبات المواد الصلبة الحيوية من الفئة أ ويمكن بيعها للموزعين والجمهور.
4. يزيد الكومبوست من محتوى الماء واحتباس التربة الرملية.
5. يزيد الكومبوست من التهوية وتسرّب المياه في التربة الطينية.
6. تتميز عمليات الركائز الثابتة والهوائية بالمرونة للتعامل مع خصائص التغذية المتغيرة وأحمال الذروة ، وتتطلب معدات ميكانيكية بسيطة نسبيًا ، كما أنها سهلة التشغيل .

7. تتطلب العمليات داخل الوعاء مساحات صغيرة نسبيًا ولديها القدرة على التحكم في الروائح.

تتمثل العيوب الرئيسية في عملية التسميد فيما يلي:

1. يتطلب سماد الأكوام الهوائية مساحات كبيرة نسبيًا ، والتحكم في الرائحة مشكلة شائعة.
2. تؤثر درجات الحرارة المحيطة والظروف الجوية على عملية التسميد بالركائز الهوائية والأكوام الثابتة الهوائية .
3. المفاعلات داخل الوعاء لها مرونة محدودة للتعامل مع الظروف المتغيرة وتتطلب صيانة مكثفة[3].

III.3استخدامات الحمأة المعالجة في الوسط اللاهوائي (انتاج الغاز الحيوي):

تنتج حمأة مياه الصرف الصحي عن عملية معالجة مياه الصرف الصحي ، وتتميز باحتوائها على مواد قابلة للتخمر في غياب الأكسجين ، مما يجعلها مصدرا ملوثا للبيئة، وتتضح الصورة حول مدى الخطر الذي تمثله هذه الحمأة من خلال الكميات الهائلة التي تنتجها عملية المعالجة، وعادة ما يكون مصير هذه الحمأة هو الحرق أو الطمر في التربة وهو ما يشكل عبئا إضافيا على البيئة لذلك عمدت عديد من الدول الى تشييد محطات لإنتاج الغاز الحيوي من هذه الحمأة باستخدام تقنية الهضم اللاهوائي، التي من خلالها يحدث تحلل المادة العضوية [4].

III.3.1تعريف الهضم اللاهوائي:

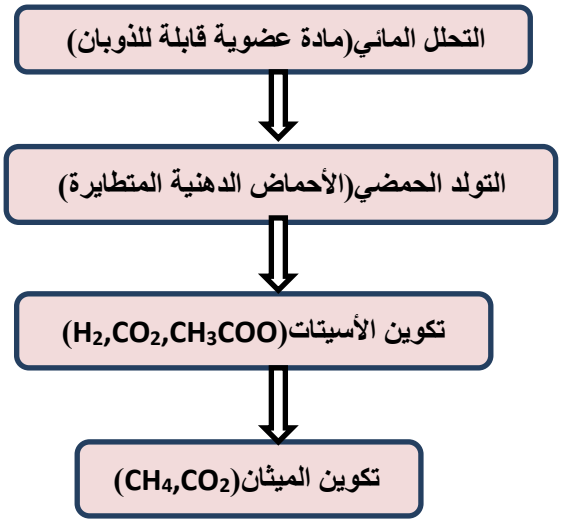
الهضم اللاهوائي هو عملية معقدة متعددة المراحل بوساطة ميكروبية، يحدث خلالها تحلل المادة العضوية (حمأة مياه الصرف الصحي)، من خلال العمل المشترك لمجموعة معينة من الكائنات الحية الدقيقة. تحدث هذه العملية في غياب الأكسجين من أجل حدوث التمثيل الغذائي اللاهوائي مما يؤدي الى التحول الحيوي للحمأة وإنتاج الميثان وثاني أكسيد الكربون[5].

هو تقنية صديقة للبيئة من الناحية الاقتصادية لمعالجة كميات ضخمة من حمأة مياه الصرف الصحي حيث أنها لديها القدرة على تقليل حمل المواد الصلبة الحيوية من الحمأة.

يحتوي الهضم اللاهوائي للحمأة على أهم إمكانات انتاج الغاز الحيوي من بين جميع الأنواع الأخرى من الهضم اللاهوائي، يعتمد هذا الإنتاج بشكل كبير على تكوين الحمأة[6].

الشكل (Ⅲ.2) : وحدة انتاج الغاز الحيوي من عملية التخمر اللاهوائي

Ⅲ .2.3 مراحل عملية الهضم اللاهوائي:



الشكل(Ⅲ.3): مراحل الأربعة الأساسية لعملية الهضم اللاهوائى

1. المرحلة الأولى: التحلل المائي

يتم فيها تقليل المواد العضوية غير قابلة للذوبان والمركبات ذات الوزن الجزيئي المرتفع مثل السكريات والبروتينات والدهون إلى أحماض امنية وذهنية[7].

$$(C_6H_{12}O_6)n + nH_2O \rightarrow n(C_6H_{12}O_6) + nH_2(1)$$

2.المرحلة الثانية: تولد الحمض:

وفي هذه المرحلة يتم تقسيم المكونات المتكونة أثناء التحلل المائي أثناء عملية تكون الحمض حيث تنتج البكتيريا الحمضية أحماض ذهنية متطايرة وثاني أكسيد الكربون وكبريتيد هيدروجين، أمونيا ومنتجات أخرى.

$$C_6H_{12}O_6 \leftrightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2 \quad (2)$$

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \leftrightarrow 2CH_3CH_2CooH + 2H_2O \ (3)$$

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CH_3COOH(4)$$

3. المرحلة الثالثة: تكوين الأسيتات

حيث يتم في هذه المرحلة هضم الأحماض العضوية العالية والكحول لإنتاج حمض الأسيتيك وثاني أكسيد الكربون والهيدروجين.

$$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3CCOOH + CO_2 + 3H_2 \ (5)$$

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \rightarrow 2CH_3\ CH_2CooH + 2H_2O \ (6)$$

$$CH_3COO^- + 4H_2O \rightarrow 2HCO_3^- + H_2^+ + 4H_2 \quad (7)$$

4. المرحلة الرابعة: تكوين الميثان(توليد الميثان):

حيث يتم في هذه المرحلة الأخيرة من عملية الهضم اللاهوائي انتاج غاز الميثان بواسطة مجموعتين من البكتيريا المولدة للميثان، حيث الأولى تعمل على تكسير الأسيتات الى ميثان وثاني أكسيد الكربون، والثانية تستخدم الهيدروجين (مانح الإلكترون) وثاني أكسيد الكربون (مستقبل الإلكترون) لإنتاج الميثان[7].

$$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2 \ (8)$$

$$CO_2 + 4H_2 \leftrightarrow CH_4 + 2H_2O \ (9)$$

$$2CH_3CH_2OH + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2CH_3COOH \ (10)$$

III.3.3مزايا وتحديات الهضم اللاهوائي:

يعتبر الهضم اللاهوائي هو الأكثر اثارة للاهتمام بما يتميز به من مميزات ونذكر من خلالها بعضهم:

- يعزز من استقرار حمأة مياه الصرف الصحي.
- يقلل المادة الجافة للحمأة مما يؤدي الى انخفاض كبير في حجم حمأة نهائيا.
- يعمل الهضم اللاهوائي على تقليل المادة الجافة من الحمأة .
- يتم من خلاله انتاج الغاز الحيوي الذي يمكن استخدامه في شكل طاقة للتدفئة، التوليد المشترك للكهرباء.
- يعمل كذالك على خفض عدد الكائنات الدقيقة المسببة للأمراض.
- يتم فيه عدم استهلاك طاقة وأكسجين مقارنة بعملية الهضم الهوائي.

- يمكن من خلاله ترقية الغاز الحيوي الى غاز طبيعي واستخدامه كوقود للمركبات[8].

III.4.3سلبيات التخمر اللاهوائي:

بالرغم من كثرة مميزات الهضم اللاهوائي الا أنه لديه سلبيات والتي تتمثل في:

- تدهور أبطأ من العمليات الهوائية.
- لديه تكاليف استثمار كبيرة جدا.
- حساسية عالية لتغيرات الأحمال والمركبات السامة
- بسبب بطء معدل نمو البكتيريا، تكون حركيات التنقية بطيئة وفترات بدء تشغيل المفاعل طويلا نسبيا.
- المعالجة عن طريق الهضم اللاهوائي غالبا ما تكون غير كافية لتصريف النفايات في البيئة الطبيعية.
- المجموعات الميكروبيةحساسة للاضطرابات خاصة الأكسجين والمعادن الثقيلة او حتى الأحمال العضوية الزائدة وغالبا ما تثبت العملية أنها غير مستقرة[9].

III.5.3 الغاز الحيوي:

اكتشف الغاز الحيوي عام 1776 في إيطاليا بواسطة الكسندر وفولتا، عرف بغاز المستنقعات حيث كان يتولد عن طريق تخمير المخلفات العضوية في حفر بمعزل عن الهواء (بواسطة كائنات حية دقيقة) فيتصاعد غاز قابل للاشتعال يعرف بالغاز الحيوي[10].

إن خطر التلوث البيئي الناتج عن تلبية متطلبات الإنسان العصري والمتزايدة بات من الضروري البحث بشكل جدي عن مصادر جديدة للطاقة أكثر من صديقة للبيئة كالغاز الحيوي، لذالك فإن تحويل هذه الحمأة إلى غاز حيوي من خلال التخمير اللاهوائي هو الحل المثالي بهدف التخلص منها بطريقة امنة.

1. تعريف ومكونات الغاز الحيوي:

هي تقنية منتشرة في العالم هو طاقة نظيفة وهو عبارة عن غاز قابل للاشتعال عندما يجب أن يكون استخدامه إيجابيا مقارنة بالغاز الاحفوري .يتكون الغاز الحيوي الناتج عن الهضم اللاهوائي في الغالب من غاز الميثان وغاز ثاني أكسيد الكربون والماء، ويتم العثور على اثار من النيتروجين وكبريتيد الهيدروجين والأمونيا [11].

أهم مكونات الغاز الحيوي هو الميثان، حيث أنه كلما ازدادت نسبته ضمن مكونات زادت نسبة الطاقة التي يمكن الحصول عليها من الغاز الحيوي ، أما ثنائي أكسيد الكربون وبخار الماء فهما مكونان ليس بأهمية كبيرة ، بينما وجود كبريتيد الهيدروجين والأمونياك يمكن أن يشكل مشاكل بيئية وذلك إمكانية

تشكيل أكاسيد الكبريت والنيتروجين المسؤولة عن تشكل الأمطار الحامضية فيجب بالتالي التخلص منها قبل حرقها في محرق احتراق الغاز خاصة أهنا من الغازات الأكالة أيضا[12].

جدول(Ⅲ.1): مكونات الغاز الحيوي ونسبها بحسب الجمعية الألمانية للمياه والغاز

المكون	مجال القيمة	القيمة المتوسطة
الميثانCH_4	%45-70	%60
ثاني أكسيد الكربون(CO_2)	%25-55	%35
بخار الماء(H_2O)	%0-10	%3,1
النيتروجين($2N_2$)	%0,01-5	%1
الأكسجين(O_2)	%0,1-2	%0,3
الهيدروجين(H_2)	%0,1	<%1
الأمونياك(NH_3)	0,01-2,5m^3/mg	0,7m^3/mg
كبريتيد الهيدروجين(H_2S)	10^3-30000m^3/mg	500m^3/mg

2. خصائص الغاز الحيوي:

الغاز الحيوي غاز عديم اللون والطعم والرائحة وأخف من الهواء، يشتعل مكونا لهب أزرقا باهتا شديد الحرارة، تختلف قيمته الحرارية باختلاف نسبة الميثان المخلوط والذي يمثل الجزء القابل للاشتعال فيه. يستخدم الغاز الحيوي في الطهي والانارة والتدفئة وإدارة المحركات وتشغيل ماكينات الري وتوليد الكهرباء. ويصعب استخدامه في تشغيل السيارات نتيجة بعض الصعوبات وبعض السلبيات، هذا بالإضافة الى صعوبة تحويله الى سائل لأنه مكلف بشكل كبير. كما يتبقى بعد انتاج الغاز سماد عضوي جيد غني بمادته العضوية وعناصره السمادية[13].

3. العوامل المؤثرة على انتاج الغاز الحيوي:

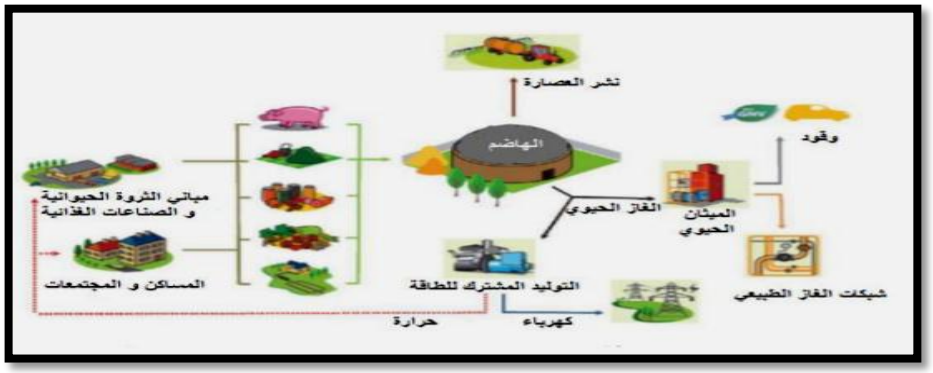
أ/ درجة الحرارة:

الدرجة المثلى المطلوبة داخل المخمر تتراوح بين C° (30-38) ، وعموما تكون أفضل عند درجة حرارة متوسطة تتراوح بين C° (20-45)أي هضم متوسط الحرارة Mesophilic Digestion وحسب نوع البكتيريا وما إذا كانت محبة للحرارة المتوسطة أو العالية . وقد تتم عند حرارة عالية Thermophilic Digestion. حيث تكون درجة الحرارة المثلى عندC° (49-57) والقصوى عند 70C° .

أما عند استخدام البكتيريا المحبة للبرودة Psychrophilic فان الدرجة المثلى لها عند 10C° أو أقل تعطى انتاج من الغاز أقل حوالي %(20-30) عنه في الأجواء الحارة أو المتوسطة.

ب/ درجة الحموضة pH:

الدرجة المثلى المطلوبة تتراوح بين pH= 6 (حامضي) وpH= 8 (قلوي خفيف) وهي تناسب البكتيريا المنتجة للغاز (الميثان) من الضروري إضافة ماء الجير بمعدل 10% كلما ظهر تراكم الأحماض مع إضافة الجير عند ملئ الوحدة بالمخلفات لأول مرة وممنوع إضافة أية أحماض لعلاج القلوية. تحت الظروف المثالية لإنتاج الغاز الحيوي فان عشر كيلوجرامات من الحمأة الجافة تنتج ثلاثة أمتار مكعبة من الغاز وهذه الكمية عبارة عن طاقة يمكن استغلالها في الطهي لمدة 3 ساعات، أو إنارة 3 ساعات أو في عمليات التبريد (ثلاجات) لمدة 24 ساعة[13].



الشكل(Ⅲ.4): يمثل رسم تخطيطي لمصادر واستخدامات الغاز الحيوي

4. مميزات استخدام الغاز الحيوي:

1- يستخدم للتخلص من النفايات الزراعية والصناعية بشكل امن.

2- يحل مشكلة إمدادات الطاقة حيث إنه أفضل من حرق الخشب.

3- يعد غاز الميثان واحدا من أفضل الغازات حيث لا ينتج عنه دخان .

4- يستخدم غاز الميثان في توليد الكهرباء.

5- يحل مشكلة الصرف الصحي وتحسين النظافة اليومية الزراعية والبيئية.

6- تستخدم البقايا المستنفدة من الخليط الداخل في انتاج الغاز كسماد عضوي جيد.

7- يستخدم غاز الميثان لأغراض الطهي وكوقود رخيص للسيارات[14].

III.4 طرق التخلص من الحمأة المعالجة:

إن المواد الصلبة الناتجة عن معالجة مياه الصرف قد تحتوي مستويات مركزة من الملوثات التي كانت موجودة أصلا في مياه الصرف . يجب توجيه اهتمام كبير للتخلص الملائم من هذه المواد الصلبة .

أن طرق المعالجة إما أنها تقلل من حجم الحمأة أو تغير صفاتها لتسهل التخلص منها ، و لكنها ما تزال في معظم الأحيان تترك بقايا يجب إزالتها من موقع المحطة[15].

توجد طريقتين للتخلص النهائي من الحماة هي :

- التخلص في الماء.
- التخلص في الأرض .

1. التخلص في الماء :

هذه طريقة هي اقتصادية ولكنها غير شائعة لأنها تتوقف على توفر كتل مائية كافية للسماح بهذا الحل. عند بعض المدن الساحلية يتم ضخ أو شحن الحمأة الى الساحل لترمى في المياه العميقة بعيدا عن الشاطئ لتؤمن عامل تمديد كبير جدا يمنع أي أثر مرضي على طول الشاطئ .

2. التخلص على الأرض :

في حالة التخلص على الأرض يمكن اللجوء الى إحدى الطرق التالية :

- **دفن الحمأة :**

يتم اللجوء إلى هذه الطريقة أساسا من أجل الحمأة الخام ، ما لم يتم تغطية الحمأة بالتربة قد تنشأ مشكلة روائح كريهة . تجر الحمأة إلى خنادق بعرض m (0,6الى1) و بعمق 0.6m، تغطى الحمأة الخام في الخندق بالتربة و بعمق 0.3m، إذا توفرت مساحات كبيرة من الأرض قد يكون دفن الحمأة الخام هو الطريقة الأكثر اقتصادية للتخلص منها كما هي و دون أية معالجة ، و لكن هذه الطريقة نادرا ما يتم اللجوء لها و إذا حصلت تكون مرحلة انتقالية للتخلص و ذلك بسبب المساحة الكبيرة من الأرض اللازمة لذلك .

قد تبقى الحمأة في الخندق لسنين رطبة و ذات رائحة كريهة بذلك فأن الأرض المستخدمة لمرة لا يمكن إعادة استخدامها ثانية لنفس الغرض أو لأي غرض آخر و لفترة طويلة من الزمن

- **الردم بالحمأة :**

إن استخدام الحمأة من أجل الردم ينحصر تماما في الحمأة المهضومة و التي يمكن تعريضها للجو دون انتشار روائح كريهة ، يمكن استخدام حمأة رطبة أو مزال عنها الماء جزئيا (كتلك الحمأة الناتجة

عن أسرة الحمأة أو الترشيح الإنفراغي) في ردم المناطق المنخفضة . عند استخدام حمأة رطبة تصبح المنطة بركة حمأة ، عند اللجوء إلى بركة الحمأة فالمنطقة تستخدم حتى امتلائها ثم تهجر دون أي استخدام آخر .

و عند استخدام برك الحمأة كطريقة معالجة تزال الحمأة بعد التجفيف ليعاد استخدام البركة من جديد . إن البرك المستخدمة من أجل التخلص النهائي من الحمأة تكون عميقة نوعا ما ، تضاف الحمأة على طبقات حتى امتلاء البركة تماما .

التخلص النهائي من حمأة مهضومة بالبرك هي طريقة اقتصادية و تلغي كافة طرق إزالة الماء عن الحمأة يتم عادة التخلص من الرماد الناتج حرق الحمأة باستخدامه في الردم ، عند توفر مناطق قريبة من المرمد يمكن تحويل الرماد الى طين بإضافة الماء اليه بعد خروجه من مخروط الرماد و يضخ الى نقطة التخلص و إذا كانت منطقة الردم بعيدة يجب أن يكون الرماد بدرجة رطوبة تكفي لمنع مشكلة تطاير الرماد و لتسهيل النقل بالشاحنات أو السيارات أو القطارات .

- **إضافة الحمأة إلى الأرض على شكل محسنات التربة :**

إن حمأة مياه الصرف تحتوي على العديد من العناصر الهامة للنبات ، مثل النيتروجين و الفوسفور و البوتاسيوم بالإضافة إلى بعض المعادن الثقيلة الهامة لنمو النبات مثل البورون و الكالسيوم و النحاس و المغنيزيوم و المنغنيز و الكبريت و الزنك .

في الحقيقة قد توجد هذه المواد في الحمأة الناتجة عن معالجة مياه صرف صناعية تراكيز ضارة ، إن دبال الحمأة بالإضافة إلى أنه يحسن النبات فإنه يفيد التربة بزيادة قدرتها على حجز الماء و تحسين بنية التربة بحيث يحول التربة الثقيلة إلى أرضية جيدة و كذلك تقلل من حت التربة .

خلاصة:

تستخدم الحمأة الناتجة من محطات معالجة مياه الصرف الصحي في المجال الزراعي (سماد) لما تحويه من عناصر أساسية مغذية للتربة والنبات أو تستخدم كطاقة بديلة(غاز حيوي) في العديد من المجالات.

قائمـــــــة المراجـــع

المراجع باللغة الأجنبية :

[2] Alexander Elsner , FR.Spillner , Kenneth Allen, Rose s.Allen, MR.Blunk, Emil Kuichling (1912) sewage sludge . page 81-38

[3] Turovskiy, I.S and Mathai, P.K. (2006). Aerobic Digestion. In Wastewater Sludge Processing,page 137-140.

[4]Bourgier, C. (2005). Optimisation du procédé de méthanisation par mise en place d'un Cotraitement physico-chimique: application au gisement de biogaz représenté par les boues d'épuration des eaux usées (Doctoral dissertation, Université Montpellier 2 (Sciences et Techniques)).

[5]Lycras, G., Lycras, C., Mathioudakis, D., Papadhópoulos, K., & Lyberatos, G. (2021). Food waste valorization based on anaerobic digestion. Waste and Biomass Valorization

[6]Askri, A. (2015). Valorisation des digestats de méthanisation en agriculture: effets sur les cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote (Doctoral dissertation, Paris, AgroParisTech).

[7]Yuan Y, Hu X, Chen H, Zhou Y, Zhou Y, Wang D. Advances in enhanced volatile fatty acid production from anaerobic fermentation of waste activated sludge. Sci Total Environ 2019.

[8]Schnurer, A., Schink, B. and Svensson, B. H. “Clostridium ultunense sp. nov., a Mesophilic bacterium oxidizing acetate in syntrophic association with a hydrogen trophic methanogenic bacterium” International Journal of Systematic Bacteriology.

[9] OTV. “Traiter et valoriser les boues”. Ouvrage collectif n°2, Editions Lavoisier, Cachan.

[10] The Official Information Portal on AD Anaerobic Digestion FAQ.

[11] Omar Khelife(2017),Study of biogas prodaction from lagooning sludge by anaerobic digitations.

المراجع باللغة العربية :

[12]أسامة ،ع.(2004). دراسة العوامل المؤثرة على مردود مفاعل النتاج الغاز الحيوي من مخلفات منزل ريف في محافظة طرطوس ،(أطروحة ماجستير ،جامعة تشرين).

[13] رضا محمد طه (12 أغسطس 2015)، الغاز الحيوي، قسم النبات، كلية العلوم، جامعة الفيوم.

[14] عماد سعد ،س (2004) الاستخدام الأمثل لمياه الصرف الصحي في المجمعات السكنية "انتاج البيوغاز"إعادة استخدام المياه المعالجة بحي الأندلس للإسكان الشعبي (أطروحة ماجستير جامعة الخرطوم).

[15] فاطمة جعارة،محطات معالجة مياه الصرف الصحي ، المجموعة الهندسية للأبحاث البيئية .

المواقع الالكترونيـــة :

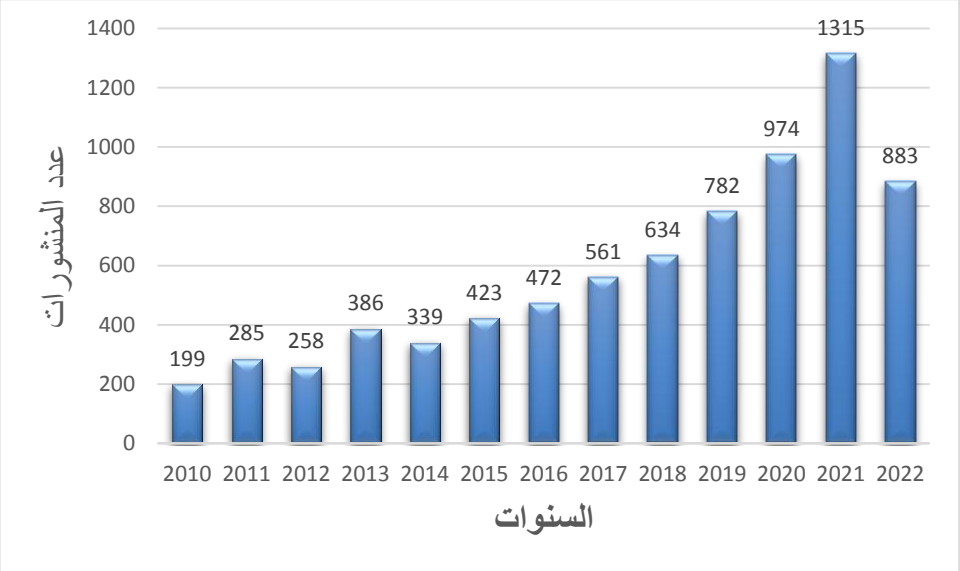
[1] رشا الصوالحة . 23 مارس 2022. استخدامات الحمأة.

الفصل الرابع

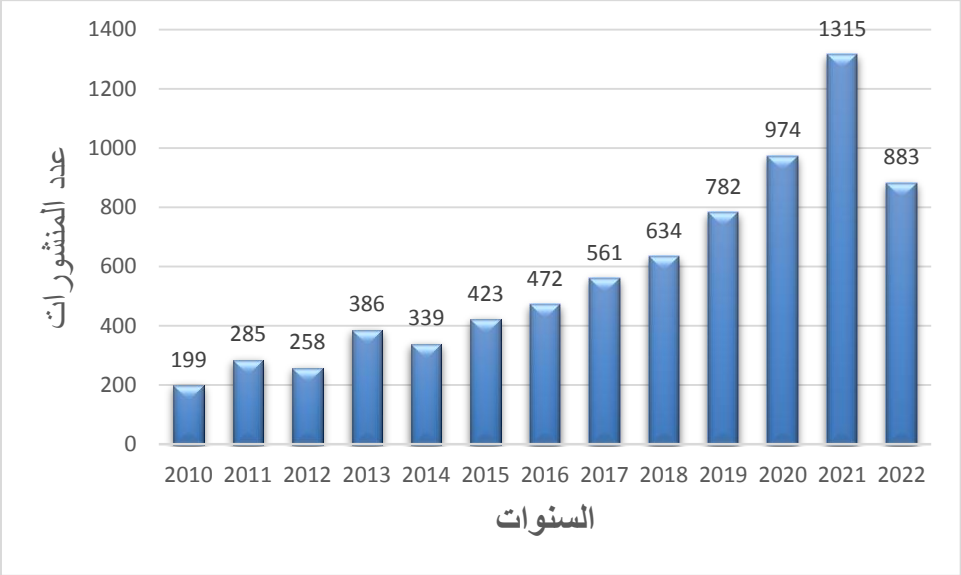
تحليل دراسات سابقة

تمهيـــــد :

لقد جدبت حمأة مياه الصرف الصحي اهتماما كبير في العقود الأخيرة لمحاربة ظاهرة التلوث البيئي وتم البحث عنها على نطاق واسع من طرف الباحثين بسبب كيفية معالجتها وطرق تثمينها والتخلص منها . سنتعرض في هذا الفصل استخدامات الحمأة في الوسط الهوائي والوسط اللاهوائي ، حيث تطرقنا في هذا بتحليل 20 دراسة مرجعية وخلال دراستناعن المنشورات المتعلقة بطرق تثمين الحمأة في الوسطين في محرك البحث لقاعدة البيانات (Science direct) لاحظنا وجود تطور في هذا المجال. و المخططين التاليان الشكل (1.Ⅳ) يمثل عدد المقالات العلمية المنشورة حول حمأة مياه الصرف في الوسط اللاهوائي أما في الشكل (2.Ⅳ) يمثل عدد المقالات العلمية المنشورة حول حمأة مياه الصرف الصحي في الوسط الهوائي .



الشكل (1.Ⅳ):مدرج تكراري يوضح عدد المقالات العلمية المنشورة حول تثمين حمأة مياه الصرف في الوسط اللاهوائي الصحي خلال العشر سنوات الأخيرة.
https://www.Sciencedirect.com 2022



الشكل (2.IV):مدرج تكراري يوضح عدد المقالات العلمية المنشورة حول تثمين حمأة مياه الصرف في الوسط الهوائي الصحي خلال العشر سنوات الأخيرة.
https://www.Sciencedirect.com 2022

IV تحليل الدراسات السابقة حول استخدامات حمأة مياه الصرف الصحي :

1.IV تحليل دراسات سابقة حول استخدامات حمأة مياه الصرف الصحي في الوسط الهوائي :

IV .1. 1تحليل الدراسات:

دراسة تحليلية رقم(1) : مقالة علمية بعنوان:

"Aerobic digestion of sewage sludge for waste treatment"[3].

- يتم معالجة حمأة مياه الصرف الصحي بواسطة الهضم الهوائي في جدة و الجدول التالي يلخص : الهضم الهوائي لحمأة الصرف الصحي لمعالجة النفايات (جدة.2017)

جدول (1.IV): جدول استقرائي يوضح معالجة حمأة مياه الصرف الصحي بواسطة الهضم الهوائي

المواد المستعملة في هذه الدراسة	حمأة مياه الصرف الصحي
الطرق والتقنيات المتبعة في هذه الدراسة	تعتبر عملية التثبيت عملية مهمة للحمأة المنشطة والتقنيات المستخدمة في التثبيت هي: • تثبيت الجير. • المعالجة الحرارية . • التسميد.
نتائج الدراســـــة	الهضم الهوائي: تأكسد من 75%- 80% فقط من أنسجة الخلايا بينما تأتي نسبة 20%-25% المتبقية من مواد خاملة ومواد عضوية قابلة للتحلل عملية الاستقرار: نلاحظ زيادة في بكتيريا السكان ومواد عضوية عند الهضم الهوائي بينما في الهضم اللاهوائي تكون النسبة تقريبا

نتيجـــــة :

- تتطلب البكتيرياالهوائيةالأوكسجينلتعيش،لكنالبكتيرياللاهوائيةلاتحتاجإلىالأوكسجينلتعيش .
- هناك فرقكبيرفيقدرةالبكتيرياالهوائيةعلىتفكيكالموادالعضويةمقارنةبالبكتيرياللاهوائية .
- تنتجالبكتيريا الهوائيةطاقة تفوق 20 مرةمنالموادالعضويةفيالبكتيرياللاهوائية .
- تتكاثرالبكتيرياالهوائية من خلال استهلاكهاللمواد العضويةبكمية كبيرةمقارنةبالبكتيرياللاهوائية.

دراسة تحليلة رقم(2) : مقالة علمية بعنوان:

"Challenges and opportunities related to the use of sewage sludge ash in cement-based building materials e A review"[4].

يتم استخدام رماد حمأة الصرف الصحي في مواد بناء الإسمنت وهي احد الأساليب المستخدمة لقضاء على مخاطره والجدول التالي يلخص :

دراسة حول التحديات والفرص المتعلقة باستخدام رماد حمأة الصرف الصحي في مواد البناء القائمة على الإسمنت (بولندا. 2020).

جدول (2.Ⅳ):جدول استقرائي يوضح استخدام رماد حمأة الصرف الصحي في مواد بناء

المواد المتبعة في هذه الدراسة	مادة SSA رماد حمأة مياه الصرف الصحي ، الاسمنت ، الخرسانة
الطرق والتقنيات المتبعة في هذه الدراسة	الاستخدام الحراري
نتائج الدراســـــــة	- استخدام رماد حمأة الصرف الصحي في الملاط كمواد رابطة جزئية او بديل كلي : عند إضافة SSA مع نسبة من (S_iO_2 و AL_2O_3) عالية لها تأثير معنوي على خصائص العينة . -الملاط الذي يعتمد على الاسمنت عالي القوة مثل (CEM I 52.5،II 52.5CEM) يكون لجودة SSA التأثير الأكبر على خصائصها ، أي نسبة الأكاسيد النشطة ونسبتها -يسمح باستخدام SSA بكمية معتدلة من C_aO ونسبة أكاسيد مماثلة للرماد المتطاير للفحم بإدراج كميات كبيرة من SSA (أكثر من 10٪) دون خسارة كبيرة في الخصائص الميكانيكية والتي تعتبر الأكثر ملاءمة في سياق -استخدام رمادحمأة مياهالصرفالصحيفيالخرسانةكمادةرابطةجزئيةأوبديللركامالناعم: الإضافة الخارجية لـ CaO تؤثر بشكل إيجابي على قوة الخرسانة SSA. لقد تم إثبات أنه بعد 28 يومًا من المعالجة ، في الخرسانة مع إضافة 10٪ (فيما يتعلق بوزن الإسمنت) بإضافة SSA ، تحسنت قيمة القوة بنسبة 44٪ يؤدي استخدام مواد رابطة خاصة في الخرسانة مع إضافة SSA منخفض النشاط (العينات 12 و 13) إلى انخفاض حاد في القوة أثناء زيادة حصة SSA حيث أنه بعد 180 يومًا من المعالجة ، فإن العينات تتميز بضعف القوة العالية لتلك بعد 28 يومًا من المعالجة

نتيجـــــة:

بناء على تحليل النتائج التي توصل اليها الباحثين في هذه المقالة، استنتجوا على أن SSA كمكون معدني له تأثير سلبي على جميع معايير موادالخرسانة تقريبا. حيث يعتمد نشاط SSA في المنتجات المستندة إلى الإسمنت بشكل أساسي على أكسيده وتكوينه المعدني وكذلك على نوع الموثق المستخدمة.

لاحظوا كذلك وجود تدهور في الخصائص الميكانيكية عند استخدام SSA منخفض النشاط حتى في كميات صغيرة. ومع ذلك، يمكن تخفيض التأثير السلبي لوجود SSA على الإسمنت من خلال تعديل نسبة الأكاسيد النشطة و قد تساهم النسبة المرتفعة من أكاسيد C_aO و أكاسيد pozzolanic(SiO_2، Fe_2O_3، AL_2O_3)فيSSA في تفاعل pozzolanic في مزيج إسمنتي يحتاج إلى OPC، وبالتالي فإن انخفاض قوة الضغط يكون أصغر.

دراسة تحليلية رقم(3) : مقالة علمية بعنوان:

"Sewage Sludge as Fertilizer in Soybean Cultivation"[5].

تعرض هذه الدراسة تطبيق حمأة الصرف الصحي المعالجة و استخدامها كسماد للتربة في زراعة فول الصويا و الجدول التالي يلخص :

حمأة الصرف الصحي كسماد في زراعة فول الصويا(البرازيل.2019)

جدول (3.Ⅳ):جدول استقرائي يوضح تطبيق حمأة الصرف الصحي و استخدامها كسماد للتربة و تأثيرها على زراعة فول الصويا.

المواد المستعملة	حمأة مياه الصرف الصحي والتربة
الطرق والتقنيات المتبعة في هذه الدراسة	تم استخدام سبع علاجات: (T1) فقط التربة ، (T2) التربة +بقايا من حمأة مياه الصرف الصحي المعالجة ، (T3) التربة + بقايا من حمأة مياه الصرف الصحي المعالجة $10g/dm^3$ ؛ (T4) التربة + بقايا من حمأة مياه الصرف الصحي المعالجة $15g/dm^3$ ؛ (T5) التربة + بقايا من حمأة مياه الصرف الصحي المعالجة $20g/dm^3$؛ (T6) التربة + بقايا من حمأة مياه الصرف الصحي المعالجة $25g/dm^3$
نتائج الدراســــــــة	نلاحظ ان قيم T3و T4 اختلفت فيما بينها فيما يتعلق بالمغذيات، لوحظ أنه لا توجد حمأة جافة في النسبة C / Nو التي قيمتها قريبة من 13 عند T4ظهور الشتلات (IVE) للنباتات الخضراء و الكتلة الخضراء (MV) من نباتات فول الصويا المحتوية على جرعات حمأة الصرف الصحي تختلف احصائيا بالمقارنة مع شاهد مطلق وزراعة PK عند T4 تحتوي على أطول نبتة و أطول جذر حيث كانت طول النبتة 14 وطول الجذر 10 مقارنة بزراعة PK

نتيجـــــة :

يعتبر الهضم الهوائي مورداممتازاللموادالعضوية،أوطريقةإزالةالنفايات قادرة علىتحسينالخواصالكيميائيةللركيزة و وفقاً لهذه الدراسةفإناستخدامطريقةالتصويركعنصر أساسي يمثلبديلاقابلاللتطبيقللتخلصالنهائيمنهو هو ماينعكسفياقتصادياتالأسمدةوالفوائدالبيئية.

دراسة تحليلية رقم(4): مقالة علمية بعنوان :

"Sewage Sludge: An Important Biological Resource for Sustainable Agriculture and Its Environmental Implications"[6].

تحتاج الزراعة الى كمية كبيرة من المواد العضوية ، تعتبر حمأة مياه الصرف الصحي مصدر غني بالمغذيات العضوية ولهذا تعتبر كسماد للتربة الزراعية و الجدول التالي يلخص :

حمأة مياه الصرف الصحي: مورد بيولوجي مهم للزراعة المستدامة وآثارها البيئية (الهند.2012)

جدول (4.IV):جدول استقرائي يوضح تأثير استخدام حمأة مياه الصرف الصحي كسماد للتربة

المواد المستعملة في هذه الدراسة	حمأة الصرف الصحي و التربة
الطرق والتقنيات المتبعة في هذه الدراسة	استخدام حمأة الصرف الصحي كسماد
نتائج الدراســـــــــــة	استخدام حمأة الصرف الصحي لزراعة المحاصيل: زيادة تركيز المغنيزيومو الحديد و الزنك في أنسجة الأوراق زيادة كبيرة زيادة معدل حمأة الصرف الصحي من 10 إلى 40 طنا في الهكتار تركيز النحاس أعلى عند إضافة حمأة الصرف الصحي بمعدل 10 إلى 20 طنا هكتار استخدام الحمأة السائلة أدي إلى زيادة محصول المحاصيل بشكل كبير - استخدام حمأة الصرف الصحي لإنتاج الفاكهة و الخضروات: عند استخدام سماد NPK كان المحصول هو الأعلى عند إضافة 40 طن هكتار أدت حمأة الصرف الصحي إلى زيادة نمو الخس وأدى إلى ارتفاع محتوى النبات من المعادن الثقيلة - استخدام حماة الصرف الصحي في مراعي الألبان : في أستراليا ، حيث تم تطبيق المخلفات الصلبة الحيوية وذلك بإضافة الحمأة عند 0 ، 30 ، 60 ، 120 طنًا من الهكتار الجاف إلى مراعي رعي الأغنام ، قللت المخلفات الصلبة الحيوية الجريان وزيادة الاحتفاظ السطحي لسقوط المطر. كان هناك تركيز منخفض من المعادن في مياه الجريان السطحي. وبالتالي لم يكن هناك قلق من التلوث البيئي

نتيجـــــة :

على أساس المراجعة أعلاه ، يمكن الاستنتاج أن حمأة مياه الصرف الصحي مهمة جدًا للأسمدة العضوية البيولوجية و للزراعة المستدامة فهو يحسن حالة المادة العضوية للتربة ، كما أنه يضيف مغذيات إلى التربة ، يساعد على تحسين محتوى المادة العضوية والظروف الفيزيائية للتربة ، كما يعمل على تجديد صحة التربة وتحفيز النشاط البيولوجي. تم الإبلاغ عن آثار إيجابية عامة لتطبيق حمأة الصرف الصحي على النباتات و البستنة والمراعي والغابات. فيما يتعلق بخطر التراكم السام للمعادن الثقيلة في التربة ، فمن الموثق جيدًا أن المعادن الثقيلة والمغذيات الدقيقة أصبحت غير متوفرة بسبب هطول الأمطار في التربة القلوية الجيرية. كما يمكن تجميد هذه المعادن بسبب المواد العضوية في حمأة الصرف الصحي من خلال تكوين مجمعات مستقرة. بمعنى آخر ، تقلل المادة العضوية في حمأة الصرف الصحي من الآثار البيئية السلبية للمعادن الثقيلة والملوثات الأخرى عن طريق الملوثات الملزمة. يمكن أن يؤدي ارتفاع مستوى المواد العضوية في التربة إلى عزل الكربون والتخفيف من حدته.

دراسة تحليلية رقم(5): مقالة علمية بعنوان :

"Aerobic wastewater treatment technologies: A mini review"[7].

اصبحت معالجة مياه الصرف الصحي الصناعية او المنزلية امرا بالغ الأهمية حيث تعتبر تكنولوجيا التحبيب الهوائية و مرشح التقطير و مفاعل بيوفيلم من بين التقنيات المستخدمة لمعالجة هذه المياه و الجدول التالي يلخص :

دراسة لتكنولوجيا الهوائية لمعالجة مياه الصرف الصحي: مراجعة صغيرة(الصين.2017)

جدول (1.IV):جدول استقرائي يوضح تقنيات المستخدمة لمعالجة حمأة مياه الصرف الصحي

المواد المستعملة في هذه الدراسة	الحمأة المنشطة، حمأة سائلة ، حمأة صناعية
الطرق والتقنيات المتبعة في هذه الدراسة	تكنولوجيا التحبيب الهوائية ، مفاعل بيوفيلم ، تنشيط عملية الحمأة بمهوية الفقاعات الدقيقة واستقرار الاتصال ومرشح التقطير
نتائج الدراســــــــة	تكنولوجيا التحبيب الهوائية كفاءة ازالة CODاعلى من 95% أشارت النتائج إلىكفاءةإزالة BOD، COD، TP هي 91 ٪و 92 ٪و 85٪ على التوالي و ذلك عند فحص أداءEBPR باستخدام محطة تجريبية للحمأة المنشطة المعدلة لتثبيت التلامس تم إزالة COD حوالي 60 إلى 70٪. في هذه التقنية المرشح، كانت الكائنات الحية الدقيقة فعالة لإزالة COD إلى 36000mg/l تحت الظروف الهوائية في درجة الحموضة 5.5 و 8 تمت إزالة بقية COD بواسطة العمل البيولوجي.

نتيجـــــة :

- أصبح تنظيم التلوث صارمًا من أجل تحسين مستقبلنا وبالتالي فإن تحسين تكنولوجيا مكافحة التلوث يكتسب المزيد من الزخم يومًا بعد يوم.
- يمكن لتقنيات الإدارة السليمة لمعالجة المياه أن تمنع أزمة المياه في المستقبل القريب.
- اكتسبت معالجات المياه الهوائية أهمية هائلة خلال العقود الماضية.
- تتميز هذه العملية باستهلاك منخفض للطاقة ، عملية سهلة ، معدات أقل ، إمكانية استعادة الموارد وما إلى ذلك يجعلها أكثر جاذبية.
- يعتمد تصميم تقنية المعالجة المناسبة على طبيعة مياه الصرف الصحي.
- الهدف الرئيسي من العلاج يكمن في حماية البيئة وكذلك صحة الإنسان

دراسة تحليلة رقم(6): مقالة علمية بعنوان :

"Research on Sewage Sludge Composting Experimental "[8].

يتم تحويل حمأة مياه الصرف الصحي الة سماد عن طريق التسميد الهوائي ، يستعمل في الزراعة و ذلك لما يحتويه من مواد عضوية و معادن و الجدول التالي يلخص :

دراسة لبحث تجريبي حول تحويل حمأة الصرف الصحي إلى سماد (مصر.2014)

جدول (6.Ⅳ):جدول استقرائي يوضح طريقة تحويل حمأة مياه الصرف الصحيالى سماد

المواد المستعملة في هذه الدراسة	حمأة منزوعة الماء قش القمح و ساق الذرة كمكيف
الطرق والتقنيات المتبعة في هذه الدراسة	تستخدم التجربة خزان تخمير أسطواني للتهوية القسرية ، حجم فعال يبلغ 5.48l ، وخزان التخمير ملفوف حول مادة العزل لتقليل فقد الحرارة.
نتائج الدراســـــــــة	نلاحظ من المنحنى أن السماد العضوي عند درجة حرارة غرفة التخمير 55C° استمر حوالي 3 دقائق بعد استنفاد هذه المرحلة من المواد العضوية القابلة للتحلل نقص في النشاط مع انخفاض درجة الحرارة. نلاحظ انخفاض في محتوى DOC مع امتداد وقت التسميد و تكديس المواد العضوية الجزيئية مثل السليلوز و البروتين وذلك لأن هذه المواد تتحول الى H_2O،CO_2 انخفاض محتوى الماء من 72% الى 45% بشكل ملحوظ. تم الحفاظ على الرقم الهيدروجيني بين 6-7. نلاحظ مؤشر انبات البذور الملفوف وصل الى حوالي 85% وذلك بدلالة تأثير اوقات السماد.

نتيجـــــة :

- في عملية تحويل حمأة مياه الصرف الصحي إلى سماد ، يتراوح مدى تباين قيم الأس الهيدروجيني بين 6-9 ، ولا حاجة لضبط الأس الهيدروجيني.
- إضافة القش في سماد الحمأة كعامل ، يمكن أن يغير جودة منتج السماد.

دراسة تحليلية رقم(7): مقالة علمية بعنوان :

"Aerobic treatment of wastewater using hybrid system"[9].

تعرض هذه الدراسة استخدام مفاعل الأغشية الثابتة الهوائية (AFFR) و مفاعل الغشاء الثابت الهوائي المعدل (AFFAR) لمعالجة مياه الصرف المنزلية و الجدول التالي يلخص :

المعالجةالهوائيةلمياهالصرفالصحيباستخدامنظامالهجين (باكستان.2020)

جدول (7.Ⅳ):جدول استقرائي يوضح استخدام تقنية AFFR و تقنية AFFAR لمعالجة مياه الصرف المنزلية

المواد المستعملة في هذه الدراسة	مياه الصرف الصحي
الطرق والتقنيات المتبعة في هذه الدراسة	تمت المعالجة باستخدام مفاعل الهواء الثابت ذو الاغشية الثابتة (AFFR) مع الألواح البلاستيكية ومفاعل الغشاء الثابت الهوائي المعدل (AFFAR)
نتائج الدراســـــــة	أخذت هذه الدراسة في الاعتبار كلا المفاعلين (AFFRو AFFAR المعدل) وبناءً على النتائج تم الحصول على الاستنتاجات التالية: - نجح AFFRو AFFAR المعدل في معالجة مياه الصرف الصحي المنزلية ذات القوة العالية بمتوسط BOD_5 و COD600mg/l و 800mg/l على التوالي. - يعطي AFFAR المعدل أداء أفضل مقارنة AFFR. - تباينت النسبة المئوية لإزالة COD عند HLR=0.1 m/d بواسطة AFFRمن 85 ٪إلى 89 % وللمعدل AFFR المعدل من 91% الى 94% بينما عند HLR= 0.2 m/d انخفضت النسبة المئوية لإزالة COD - نجح كل من AFFR و AFFR المعدل في إزالة NH3-N إلى تركيز منخفض يصل إلى 1mg/l

نتيجـــــــة :

أخذت هذه الدراسة في الاعتبار كلا المفاعلين (AFFRو AFFAR المعدل) وبناءً على النتائج تم الحصول على الاستنتاجات التالية:

- نجح AFFRو AFFAR المعدل في معالجة مياه الصرف الصحي المنزلية ذات القوة العالية بمتوسط BOD_5 و COD بالنسبة 600mg/l و 800mg/l على التوالي.
- يعطي AFFAR المعدل أداء أفضل مقارنة AFFR.
- تباينت النسبة المئوية لإزالة COD عند HLR=0.1 m/d بواسطة AFFRمن 85 ٪إلى 89 % وللمعدل AFFAR من 91% الى 94% بينما عند HLR= 0.2 m/d انخفضت النسبة المئوية لإزالة COD.
- نجح كل من AFFR و AFFAR المعدل في إزالة NH3-N إلى تركيز منخفض يصل إلى 1mg/l.

دراسة تحليلية رقم(8): مقالة علمية بعنوان :

"Environmental aspects of the use of sewage sludge as fertilizermaterials"[10].

يتم استخدام حمأة الصرف الصحي كسماد في الزراعة الا انه قبل استعمال هذه النفايات يجب دراسة درجة توافقها مع التربة و ذلك لسلامة النباتات والجدول التالي يلخص :

دراسة الجوانبالبيئيةلاستخدامحمأةالصرفالصحيكموادأسمدة (روسيا.2020)

جدول (8.Ⅳ):جدول استقرائي يوضح دراسة درجة توافق استخدام سماد حمأة مياه الصرف الصحي مع التربة

المواد المستعملة في هذه الدراسة	حمأة منشطة والتربة
الطرق والتقنيات المتبعة في هذه الدراسة	اضافة حمأة المنشطة للتربة كسماد لها
نتائج الدراســــــــة	زيادة نسبة النفايات في التربة أدى إلى زيادة المحتوى الإجمالي لجميع المعادن الثقيلة . زيادة محتوى النحاس ووصل الى الحد الأقصى بنسبة 79.7mg/kg. عند تراكم الرصاص ، زادت كمية النيكل و النحاس في النباتات المزروعة في التربة ذات الجرعة القصوى من النفايات بمقدار 2 إلى 3 مرات ، لم يؤثر التلوث المتزايد للمزروع مع الكادميوم على دخوله الى النباتات

نتيجـــــــة :

بناءعلىالدراساتيمكناستخلاصالاستنتاجاتالتالية :يمكناعتبارمزيج منWWS والرمادآمناً بيئياً : 1- 0.25 العاملالحاسمفيتحديدحدوداستخدامالنفاياتالبلديةفيتحضيرالتربةالمعالجةهومحتوى الكادميوم.يتأثرتراكمالمعادنالثقيلةفيالنباتاتبتلوثالتربة .لوحظاعتمادكبيرفيتراكمالرصاصبأعشاب الحبوب.

دراسة تحليلية رقم (9): مقالة علمية بعنوان :

"Comparison of pre- and inter-stage aerobic treatment of wastewatersludge:Effects on biogas production and COD removal"[11].

يعتبر الهضم الهوائي طريقة علاجية تستخدم في معالجة مياه الصرف الصحي و الجدول التالي يلخص :

مقارنة بينالمعالجةالهوائيةقبلوبعدالمراحللحمأةمياهالصرف :التأثيراتعلىإنتاج الغاز الحيويو التخلص من COD (فرنسا.2017)

جدول (9.Ⅳ):جدول استقرائي يوضح تأثير استخدام تقنية TAD كعلاج بين مراحل الهضم الهوائي و الهضم اللاهوائي

المواد المستعملة في هذه الدراسة	حمأة مياه الصرف الصحي البلدي الخام
الطرق والتقنيات المتبعة في هذه الدراسة	Thermophilic Aérobic Digestion(TAD)
نتائج الدراســــــــــة	تم استخدام TAD كعلاج بين المراحل بنجاح في تقليل خسائر الأكسدة ولم يقلل إجمالي إنتاج الميثان. كانت الزيادة الإجمالية في إنتاج الميثان للمعالجة بين المراحل منخفضة(8.1 إلى 6.2 %)ولكن بتحسين ظروف العلاج يمكن أن يحسنها. أثبت TADأنه علاجمسبق مفيد للركائز المعقدة لأنه يمكن أن يزيد من قابلية التحلل اللاهوائي للحمأة المهضومة (40 ٪) يمكن أن تؤدي إضافة مرحلة هوائية قصيرة إلى الهضم اللاهوائي إلى زيادة إزالة COD بشكل كبير (تغيير يصل إلى ضعفين في إزالة COD لمعالجة الحمأة المهضومة). هناك حاجة إلى مزيد من العمل لفهم كيف يزيد TAD من التحلل اللاهوائي للركائزالمعقدة التي يصعب الوصول إليها.

نتيجـــــة :

تم استخدام Thermophilic Aérobic Digestion(TAD) كعلاجبينالمراحلبنجاحفيتقليلخسائرالأكسدةولميقلل إجمالي إنتاجالميثان .

كانتالزيادةالإجماليةفيإنتاجالميثانللمعالجةبينالمراحل منخفضة(1.8 إلى 2.6 ٪)ولكنتحسينظروفالعلاجيمكنأنيحسنها .أثبت TAD أنه علاج مسبقمفيدللركائز المعقدةلأنهيمكنأنيزيدمنقابليةالتحللاللاهوائيللحمأة المهضومة (>40٪) يمكنأنتؤديإضافةمرحلةهوائيةقصيرةإلىالهضماللاهوائي إلى زيادةإزالة COD بشكلكبير (تغييريصلإلىضعفين فيإزالة لمعالجةالحمأة المهضومة) هناكحاجةإلىمزيدمنالعملللفهمكيفيزيد TAD منالتحللاللاهوائي للركائز المعقدةالتييصعبالوصولإليها.

دراسة تحليلية رقم (10): مقالة علمية بعنوان :

"The one-stage autothermal thermophilic aerobic digestion for sewage sludge treatment: Stabilization process and mechanism"[12].

تستخدم المعالجة الهوائية و اللاهوائية في معالجة حمأة مياه الصرف الصحي ويعتبر الهضم الهوائي المحب للحرارة ذاتي الحرارة عملية جيدة يمكنها ان تنتج مواد جيدة وتعتبر اقتصاديةو الجدول التالي يلخص :

دراسة عملية الهضمالهوائيةالمحبةللحرارةذاتيالمرحلةالواحدةلمعالجةحمأةالصرفالصحي :عملية وآلية التثبيت(الصين.2011).

جدول (10.Ⅳ):جدول استقرائي يوضح آلية استخدام عملية الهضم الهوائي المحبة للحرارة في معالجة حمأة الصرف الصحي.

المواد المستعملة في هذه الدراسة	عيناتمنحمأةالصرفالصحيمنلمحطةمعالجةمياه الصرف الصحيالبلديةفيشنغهاي،الصين
الطرق والتقنيات المتبعة في هذه الدراسة	الهضم الهوائي المحبة للحرارة ذاتيًا (ATAD)
نتائج الدراســــــــة	تمالوصولإلىإزالةالمواد الصلبة المتطايرة فيجهازالهضمالمحاكي ATAD أحاديالمرحلةبنسبة 38.4% عند 408 ساعةو 45% عند 552 ساعة .يمكنأنيفيكلمنتقليل VS وتثبيط العواملالممرضةبمتطلباتالحمأةمنالفئة A . تراكمالأحماضالدهنيةالمتطايرة بسرعة حتى 24 إلى 168 ساعة ،ثمانخفضبشكلحاد، ووصلإلىتركيزمنخفضبعد 312 ساعة .

نتيجـــــــة :

تم الوصولإلىإزالة VS فيجهازالهضمالمحاكي ATAD أحاديالمرحلةوتثبيطه بنسبة 38.4 ٪عند 408 ساعةو 45 ٪عند 552 ساعة .يمكنأنيفيكلمنتقليل VS وتثبيط العوامل الممرضةبمتطلباتالحمأةمنالفئة A.

بناءعلىتباين VFA والنظرياتالأساسيةللهضمالهوائيواللاهوائي ،تماقتراح نموذج كيميائيحيوي يمكنلنظامالهضمأنينظممساراتهالأيضيةلإنتاج VFA مثل (البروبيونيك،وحمضالزبد)أويتحللتماماًمنالركيزةوفقاًلعمليةالهضمالمتغير.

2.1.IV تحليل و تفسير النتائج المتحصل عليها في الدراسات السابقة في الوسط الهوائي :

هناك العديد من الدراسات السابقة التي تطرقت لموضوع الهضم الهوائي لحمأة مياه الصرف الصحي و تناولته من زاويا مختلفة ، سوف نستعرض في هذه الدراسة جملة من الدراسات التي أخذت من الفترة الزمنية بين 2011 و 2020 و التي تم الاستفادة منها مع الاشارة الى ابرز ملامحها مع تقديم تعليقا عليها يتضمن جوانب الاتفاق و الاختلاف و بيان الفجوة العلمية التي تعالجها الدراسة الحالية . و فيما يلي نقدم عرضا لهذه الدراسات .

1. استخدام حمأة الصرف الصحي كسماد :

تحتاج الزراعة المكثفة الى اضافة كبيرة من المواد العضوية للحفاظ و تعزيز غلة المحاصيل بحيث تعتبر حمأة الصرف الصحي من المنتجات الثانوية التي تحتوي على المواد العضوية الغنية بالمغذيات العضوية و نسب من المعادن الثقيلة و لهذا يمكن استخدامها كسماد في الزراعة ، أظهرت الدراسات ارتفاع في المواد العضوية و المعادن الثقيلة في التربة مما أدى الى زيادة نسبة المنتجات و المحاصيل[6].

- في الدراسة 3 و 4 :

لوحظ عند استخدام حمأة الصرف الصحي كسماد للتربة زيادة في الانتاج بالنسبة لفول الصويا حيث زادت الكتلة الخضراء و ظهور الشتلات مقارنة بالزراعة العادية و نفس الشيء بالنسبة للمحاصيل الاخرى و الفاكهة و الخضروات و مراعي الألبان و ذلك كما هو موضح في الدراسة 4 حيث تم استخدام حمأة الصرف الصحي كسماد للتربة مما أدى الى زيادة في نسبة المواد العضوية و المعادن الثقيلة (نحاس ، رصاص ....) و هذه الزيادة لم تؤثر على التربة بل أدت الى تحسين كمية الانتاج .

- في الدراسة 6 :

لوحظ عند تحويل حمأة الصرف الصحي الى سماد في 55C° أن كمية السماد استمرت خلال 3 دقائق ثم نقصت الكمية بعد ذلك من المواد العضوية و انخفاض نسبة الكربون العضوي المذاب (DOC) وذلك

لان هذه المواد تتحول الى CO_2 و H_2O و يكون الأس الهيدروجيني بين 6-9 من خلال هذه المؤشرات لوحظ أن انبات البذور وصل الى 85% .

- في الدراسة 8 :

لوحظ انه عندما تم استخدام حمأة منشطة بدل حمأة الصرف الصحي كسماد للتربة أدت الى زيادة في محتوى المعادن الثقيلة حيث ان النحاس وصل الى 79.7 mg/kg وعند زيادة الرصاص أدت الى الزيادة في كمية النيكل و النحاس في النباتات المزروعة هذه الزيادة لم تؤثر عليها .

2. نسبة الطلب على الأكسجين البيو كيميائي(COD) ، الطلب على الاكسجين الكيميائي (BOD) ،مجموع الفوسفور(TP):

عملية المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي هي عملية حساسة وتتأثر بمتغيرات كثيرة منها قيمة BOD و COD و TP لمياه الصرف الصحي ، ومن ثم معرفة كفاءة المعالجة وكيفية الوصول لكفاءة افضل للحصول على مياه معالجة اقل تلوثا. في هذا الجدول لخصنا قيم CODو BOD و TP :

رقم الدراســـــة	5	7	9
العينة المدروسة	الحمأة المنشطة	مياه الصرف الصحي	حمأة مياه الصرف الصحي
التقنية المطبقــة	تكنولوجيا التحبيب الهوائية أداء EBPR تقنية مرشح التقطير	مفاعل الهواء الثابت ذو الأغشية الثابتة (AFFR) مع الالواح البلاستيكية ومفاعل الغشاء الثابت الهوائي المعدل (AFFAR)	الهضم الهوائي المحبة للحرارة TAD
نسبة COD	كفاءة ازالة أعلى من 95% 92% 60-70%	عند AFFR من 85-89% عند AFFAR من 91-94 %	ازالة بنسبة كبيرة
نسبة BOD	عند EBPR 91%	600mg/l	/
نسبة TP	عند EBPR 85%	/	/

نلاحظ من خلال الدراسات 5 و 7 و 9 ان نسبة ازالة الطلب على الأكسجين البيو كيميائي(COD) كبيرة تتراوح بين 80-90% في جميع التقنيات حيث أن تكنولوجيا التحبيب الهوائية كانت لها نسبة ازالة كبيرة مقارنة بالتقنيات الاخرى .

لوحظ في الدراسة 5 ان اختلاف في نوعية الحماة ادى الى اختلاف في نسبة ازالة COD حيث ان تكنولوجيا التحبيب الهوائية استخدمت في الحمأة السائلة فكانت النسبة 95% أما بالنسبة ل EBPR

فاستخدمت على الحمأة المنشطة فكانت ازالة أقل بقليل من تقنية 1 بقيمة 92% اما تقنية مرشح التقطير فاستخدمت على حمأة صناعية فكانت النسبة اقل بكثير من التقنيات الاخرى و هذا يدل أن لكل حمأة تقنية مخصصة لها . أما في الدراسة 7 نلاحظ أن نسبة ازالة COD بالنسبة ل AFFR وAFFAR متباينة في النسبة و هذا راجع الى ان في تقنية AFFR الذي يكون معدل التحميل الهيدروليكي منخفض مما يؤدي الى ازالة افضل ، اما في حالة AFFAR فان النفايات السائلة تعمل على تحسين BOD و COD.

نلاحظ ان نسبة الطلب على الاكسجين الكيميائي (BOD)في تقنية EBPR هي 91% وذلك في الدراسة 5 اما الدراسة 7 فان نسبتها فهي 600mg/l .

لوحظ أن نسبة في الدراسة 5 عند تقنية EBPR أن نسبة TP هي 85 % .

3. الهضم الهوائي :

الهضم الهوائي هو عملية بكتيرية تحدث في وجود الأكسجين حيث تقوم هذه البكتيريا باستهلاك المواد العضوية بسرعة وتحولها الى CO_2و H_2O[3] .

- في الدراسة 1 :

نلاحظ من خلال الهضم الهوائي ان انسجة الخلايا تأكسدت بنسبة من 75%- 80% بينما النسبة الباقية 20% - 25% فهي مواد خاملة و مواد عضوية ، ونلاحظ زيادة في بكتيريا ومواد عضوية عند الهضم الهوائي بينما في الهضم اللاهوائي فان النسبة ثابتة و ذلك راجع الى ان البكتيريا تتطلب الاكسجين لتعيش.

4. استخدام رماد حمأة الصرف الصحي في مواد البناء :

الحمأة مياه الصرف الصحي مخاطر على البيئة و لهذا يبحث العلماء عن حلول جديدة للحد من تأثيرها و من بين هذه الاساليب استخدامها في مواد بناء الاسمنت .

- في الدراسة 2 :

لوحظ عند استخدام رماد حمأة الصرف الصحي (SSA) في الخرسانة كمادة رابطة جزئية او كبديل للركام الناعم بكمية كبيرة أنه له تأثير على الخصائص الميكانيكية و ضعف في قوة الخرسانة و هذا بسبب نقص تفاعل بين مكونات المادة وكذلك تقليل محتوى كتلة المادة الرابطة الكلية في الخليط .

في حالة الملاط زادت قدرة امتصاص الماء بينما تصبح الخرسانة اكثر مقاومة للماء و ذلك بسبب وجود نسبة قليلة من SSA .

للحفاظ على الخصائص الميكانيكية للملاط او الخرسانة فيجب اضافة كمية معتبرة من C_aO .

5. الهضم الهوائي المحب للحرارة :

يعتبر الهضم الهوائي المحب للحرارة ذاتي الحرارة عملية هوائية واعدة يمكن ان تنتج مواد صلبة حيوية من الفئة A من مجموعة واسعة من الحمأة العضوية مثل حمأة الصرف الصحي [12] .

- في الدراسة 10 :

لوحظ إزالة V_s بواسطة ATAD حيث ان النسبة كانت 38.4% عند 408 ساعة و 45% عند 552 ساعة و هذا يرتبط بكل من درجة حرارة المفاعل (C55°) و وقت الاحتفاظ بالحمأة .

لوحظ انخفاض حاد في الأحماض الدهنية المتطايرة (VFA) وذلك راجع الى نقص في الاكسجين .

2.IV تحليل دراسات سابقة حول حمأة مياه الصرف الصحي في الوسط اللاهوائي

1.2.IV تحليل دراسات

دراسة تحليلية رقم(1): مقالة علمية بعنوان :

"Review of enhanced processes for anaerobic digestion treatment ofsewage sludge"[14].

تهدف هذه الدراسة الى مكافحة التلوث البيئي الخطير الذي تتعرض اليه البيئة بسبب كمية الحمأة منتجة سنويا وذالك من خلال تطوير العديد من التقنيات والطرق المستعملة في معالجة حمأة مياه الصرف الصحي وتحسين إنتاجية الطاقة عن طريق التخمر اللاهوائي للحمأةوالجدول التالي يلخص:

مجموعة من العمليات المحسنة لمعالجة الهضم اللاهوائي لحمأة مياه الصرف الصحي (الصين. (2018

جدول (11.IV):جدول استقرائي يوضح التقنيات المحسنة لمعالجة الهضم اللاهوائي و تأثيرها على حمأة مياه الصرف الصحي

المواد المستعملة	الحمأة المعالجة بالحرارة ، الحمأة المعالجة بالموجات الصوتية، الحمأة المعالجة مجتمعة، الحمأة التغذية الكلية الصلبة.
التقنيات المستعملة	المعالجة المسبقة لحمأة مياه الصرف الصحي (بالحرارة، بالموجات الصوتية، المجتمعة) ، عملية الهضم اللاهوائي المشترك، عملية الهضم اللاهوائي عالية الصلابة، عملية التخمير على مرحلتين ، المعالجة القلوية.
الطرق التحليلية	/
نتائج الدراسة	تم الهضم اللاهوائي للحمأة المعالجة بالحرارة على انتاج 30,62% من انتاج الغاز الحيوي -تم عملية الهضم اللاهوائي للحمأة المعالجة بالموجات الصوتية على انتاج 32,80% من انتاج الغاز الحيوي. -حصل الهضم اللاهوائي للحمأة معالجة مجتمعة على تعزيز 36,98% من انتاج الغاز الحيوي. أثناء الهضم حمأة الصرف الصحي عالي الصلابة تغيرت البكتيريا من فئة Firmicutes الى Bactroidetes acetoclasic وانخفضت Methanosarcina لكن الوفرة النسبية للميثانوبكتريا المغذية للهيدروجين زادت. -أدت عملية التحلل المائي ذات درجة الحرارة المرتفعة °C(120 الى 160) الى تسريع معدل الهضم وزيادة انتاج الغاز الحيوي مقارنة بعملية التحلل المائي منخفضة°C(60 الى 90) -تم تعديل الرقم الهيدروجيني لحمأة الصرف الصحي الى 12 والحفاظ عليه لمدة 24heur أثناء المعالجة القلوية. -زاد محصول الهيدروجين من 9.1 ml-H_2/g-Ts في الحمأة الخام الى 16.61 ml-H_2/g-Ts

	عند التخمير الأولي لـpH=11 وصلت الحمأة تحت المعالجة المسبقة للبكتيريا المحبة للحرارة الى انتاج الهيدروجين بنسبة 48,6% أعلى من الحمأة الخام أثناء عملية التخمير المحية للحرارة.

نتيجـــة:

تم تحسين كفاءة التخمير لحمأة مياه الصرف الصحي من خلال عملية المعالجة المسبقة للحمأة والتخمير اللاهوائي والتخمير عالي الصلابة

دراسة تحليلية رقم(2): مقالة علمية بعنوان:

"Treatment of sewage sludge using Anaerobic Digestion in Malaysia :currant state and Challenges"[15].

- يتم معالجة حمأة الصرف الصحي باستخدام الهضم اللاهوائي والهضم اللاهوائي المشترك لاستعاذه الطاقة وكذالك كبديل لطرق التقليدية المستخدمة في ماليزيا من قبلوالجدول التالي يلخص:

دراسة لمعالجة حمأة الصرف الصحي باستخدام الهضم اللاهوائي (ماليزيا.2019).

جدول (12.Ⅳ):جدول استقرائي يوضح تأثيرات استخدام الهضم اللاهوائي و الهضم اللاهوائي المشترك في معالجة حمأة مياه الصرف

المواد المستعملة	الجزء العضوي من نفايات الصلبة البلدية(OFMSW)، حمأة مياه الصرف الصناعي
التقنيات المستعملة	الهضم اللاهوائي ، الهضم اللاهوائي المشترك
الطرق التحليلية	/
نتائج الدراسة	-أظهرت النتائج أن نسبة N/C من حمأة مياه الصرف الصحي تراوحت من 4,1 الى 38 وبمتوسط 16,6 وهذا يعتبر منخفض في حمأة مياه الصرف الصحي والتي تتعارض مع توازن التغذية من الكائنات الحية الدقيقة. -أظهرت الدراسة أن هناك زيادة في محتوى الدهون أعلى من 65% مما أدى الى انخفاض في محصول انتاج الميثان. -أظهرت الدراسة أن هناك تأثير مثبط على الغاز الحيوي المنتج(أي انخفاض في نسبة الغاز المنتج). - حدد بمتوسط محتوى المعادن الثقيلة 10mg/lعينات مختارة من حمأة مياه الصرف الصحي ووجد عناصر مثل (البوتاسيوم، المغنيسيوم، الحديد، النيكل كانت عند مستويات أقل بكثير من التركيز المقترح. -في عملية الهضم اللاهوائي المشترك وجد أن هناك زيادة في انتاج الغاز الحيوي التراكمي من مخاليط حمأة مياه الصرف الصحي مع WSMFO زادت بنسب متزايدة . عندما تم خلط الكربون مع حمأة مياه الصرف الصحي في جهاز الهضم اللاهوائي لتحسين نسبة N/C مما أدى الى زيادة في انتاج الغاز الحيوي.

نتيجـــــة :

-أن الهضم اللاهوائي المشترك لمخلفات الطعام وحمأة الصرف الصحي قد يكون الأكثر جدوى للتغلب على هذه القيود.

- ان تعزيز وتطبيق استخدام حمأة الصرف الصحي باستخدام الهضم اللاهوائي لا يمكن أن يكون أحد الحلول للعديد من المشاكل البيئية.

دراسة تحليلية رقم (3): مقالة علمية بعنوان:

"A review on disposal of hazardous sewage via anaerobic digestion and novel composting"[16].

- تعرض هذه الدراسة عملية الهضم اللاهوائي لحمأة مياه الصرف الصحي الناتجة عن عملية معالجة مياه الصرف الصحي لتحويل المادة العضوية الى غاز حيوي والجدول التالي يلخص:

الدراسة لمراجعة للتخلص من مياه الصرف الصحي الخطرة عن طريق الهضم اللاهوائي والتسميد الجديد(الصين.2021)

جدول (13.Ⅳ):جدول استقرائي يوضح دراسة تأثيراستخدام تقنيات الهضم اللاهوائي لحمأة مياه الصرف الصحي على انتاج غاز الميثان

المواد المستعملة	الحمأة المنشطة، الجليسيرين الخام، النفايات الصلبة العضوية.
التقنيات المستعملة	الهضم اللاهوائي، الهضم اللاهوائي المشترك استعاذة الكربون، استعاذة النيتروجين، تثبيت معادن الثقيلة، الحد من المسببات الأمراض، خلية التحليل الكهربائي الميكروبية، المعالجة المسبقة لحمأة مياه الصرف الصحي (المعالجة المسبقة الحرارية، المعالجة المسبقة الكيميائية، المعالجة المسبقة الانزيمية، المعالجة المسبقة الميكانيكية)
الطرق التحليلية	/
نتائج الدراسة	-تظهر النتائج التجريبية أن انتاج الغاز الحيوي يزداد بنسبة 27% عند إضافة 20% من النفايات الصلبة الى النظام دون التأثير على استقرار العملية. -تم تسجيل زيادة بنسبة 115% في انتاج الميثان بسبب زيادة 1% من الجليسيرين الخام الى النظام الهضم المشترك اللاهوائي وذالك لأن الجليسيرين الخام ذو محتوى عالي من الكربون (الطلب الأوكسجيني البيولوجي 97080mg/l) -أظهرت النتائج أن انتاج الميثان تحسن مع زيادة الفولط من 0,5)V الى 1)وعند هذا الأخيرة انخفاض انتاج الميثان . -تم الحصول على معدل انتاج الميثان 91,8mg/l. -عند اجراء عملية الهضم اللاهوائي للحمأة المنشطة عند 1V .

	-أدت المعالجة المسبقة بالميكروويف للحمأة المنشطة عند مهمة تسخين تبلغ 336Kj/Kg من اجمالي المواد الصلبة الى زيادة محتوى DOC بنسبة 214% لوحظ زيادة نسبة 50% في انتاج الغاز الحيوي. -زادت كمية النيتروجين، النشادر بنسبة 36,5% بالوزن مما أدى الى حدوث تحويل مركبات النيتروجين الى نشادر.

نتيجـــــة:

استنتج الباحثون من هذه الدراسة أن الهضم اللاهوائي تقنية ناضجة شهدت العديد من التطبيقات الصناعية، متفوقا في انتاج نسبة كبيرة من الغاز الحيوي.

دراسة تحليلية رقم (4): مقالة علمية بعنوان:

"Review on pretreatment techniques to improve anaerobic digestion of sewage sludge"[17].

- ان انتاج كمية كبيرة من حمأة مياه الصرف الصحي الناتجة من عملية معالجة مياه الصرف الصحي مما يؤدي الى تلوث بيئي خطير، حيث يعتبر الهضم اللاهوائي احد أكثر التقنيات المعالجة كفاءة وفعالية وصحة بيئيةوالجدول التالي يلخص:

مجموعة من التقنيات المعالجة لتحسين عملية الهضم اللاهوائي لحمأة مياه الصرف الصحي وأهم النتائج المتحصل عليها (استراليا. 2020).

جدول (14.IV):جدول استقرائي يوضح التقنيات المعالجة المستخدمة لتحسين عملية الهضم اللاهوائي و نتائج تأثيرها على انتاج الغاز الحيوي

المواد المستعملة	حمأة مياه الصرف الصحي(الحمأة المنشطة).
التقنيات المستعملة	1 المعالجة الفيزيائية والميكانيكية: (بالموجات الصوتية، التجانس عالي الضغط، تشعيع الميكروويف، التفكك الكهربي الحركي، مطحنة الكرة) 2 المعالجة الكيميائية:(المعالجة القلوية، المعالجة الحمضية، الأوزون) 3 المعالجة الحرارية:(المعالجة بدرجات الحرارة منخفضة، المعالجة المسبقة بدرجات الحرارة عالية، تجميد/ تذويب المعالجة المسبقة) المعالجة البيولوجية:(المعالجة اللاهوائية، المعالجة بمساعدة انزيم) الهضم اللاهوائي المشترك، الهضم اللاهوائي.
الطرق التحليلية	/

نتائج الدراسة	-عززت المعالجة المسبقة بالموجات فوق الصوتية على انتاج الغاز الحيوي بأكثر من 40% عند مدخلات طاقة محددة منخفضة وحوالي 15% عند مدخلات طاقة محددة معتدلة. -لوحظ زيادة ضئيلة في انتاج الميثان الوسيط وتدمير VS(المواد الصلبة المتطايرة) بعد الصوتية الفائقة. -تم زيادة نسبة 50% في انتاج الغاز الحيوي من خلال المعالجة بالميكروويف. -أدت المعالجة بالميكروويف للهضم اللاهوائي من انتاج الميثان وقابلية التحلل البيولوجي. -أدت المعالجة بالميكروويف الى تقليل من كلوستريديوم بيرفرينجنز نسبة 50% من البكتيريا الكلية بنسبة 77% والسالمونيلا بنسبة 100%. تم انتاج 35% من الميثان مقارنة بالحمأة غير المعالجة . -أدى التفكك الكهربي للهضم اللاهوائي الى زيادة 2,5 ضعف في انتاج الغاز الحيوي وزيادة 4,5 أضعاف في نسبة COD/tCOD عند 19kV. -لوحظ وجود وفرة أعلى من بكتيريا succocconimur وزاد انتاج الميثان بنسبة 30%. - أدت المعالجة المسبقة للطحن للتقنيات العلاج (ss) من زيادة انتاج الغاز الحيوي. -زاد انتاج الغاز الحيوي بنسبة 1,5% فقط وهذا يشير الى أن المعالجة المسبقة للتجميد/الذوبان يمكن أن تسهم في تقليل الكتلة الحيوية ولكن لا يمكنها زيادة الغاز الحيوي بشكل كاف. -حقق انخفاض في VS (مواد الصلبة المتطايرة) بنسبة 54,3% وزيادة انتاج الميثان من 1,6 الى 2,5 مرة. أدت المعالجة المسبقة بمساعدة انزيم الى زيادة في نسبة الغاز الحيوي بنسبة 26%. -يلعب تردد الصوت والوقت من تحقيق زيادة نسبة 53,8% في انتاج الميثان مع انخفاض سريع في وفرة Methanocorpuscum وتدهور قابلية المياه في حمأة المنشطة من النفايات.

نتيجـــــة:

-أظهرت هذه التقنيات اختلافات في اذابة الحمأة وإنتاج الغاز الحيوي.

-كل هذه المعالجات المسبقة(الكيميائية، الانزيمية، الميكانيكية) لحمأة مياه الصرف الصحي لديها القدرة على زيادة انتاج الغاز الحيوي.

دراسة تحليلية رقم (5): مقالة علمية بعنوان:

"Enchancing biogas production of anaerobic co digestion of industrial waste and municipal sewage sludge with mechanical ,chemical, thermal ,and hybrid pretreatment[18]**."**

- تعرض هذه الدراسة تأثير المعالجة الميكانيكية والكيميائية والحرارية والهجينة على الهضم اللاهوائي والهضم المشترك اللاهوائي لحمأة مياه الصرف الصحي والجدول التالي يلخص:

نسب إنتاج الغاز الحيوي للهضم اللاهوائي للنفايات الصناعية وحمأة الصرف الصحي البلدية بالمعالجة الميكانيكية والكيميائية والحرارية والهجينة (تركيا. 2021)

جدول (15.Ⅳ):جدول استقرائي يوضح تأثير المعالجة الميكانيكية و الحرارية و الكيميائية و الهجينة على انتاج الغاز الحيوي للهضم اللاهوائي

المواد المستعملة	حمأة الصرف الصناعي، حمأة الصرف الصحي البلدية، النفايات الصناعية لعصير الفواكه
التقنيات المستعملة	المعالجة الكيميائية، المعالجة الميكانيكية، المعالجة الحرارية، المعالجة الهجينة، الهضم اللاهوائي، المعالجة المسبقة بالموجات الصوتية، المعالجة المسبقة باستخدام الرقم الهيدروجيني.
نتائج الدراسة	-تسبب المعالجة المسبقة لركائز باستخدام الموجات فوق الصوتية في زيادة الغاز الحيوي بحوالي 20,9%. -تسببت المعالجة المسبقة للركائز باستخدام الحمض القوي في زيادة الغاز الحيوي بحوالي 8.1% -تسبب المعالجة المسبقة للركائز باستخدام الحمض الضعيف في زيادة الغاز الحيوي بحوالي 5,2%. -تمت زيادة إنتاجية تراكمية للغاز الحيوي والميثان مع المعالجة المسبقة الهجينة التي تحتوي على المعالجة القلوية بنسبة 49%. -تمت زيادة إنتاجية تراكمية للغاز الحيوي والميثان مع المعالجة المسبقة الهجينة التي تحتوي على المعالجة فوق صوتية بنسبة 36% -تمت زيادة كفاءات COD القابلة للذوبان والكربوهيدرات وإزالة البروتين من (42,6، 65,6 و65,1 و86,6 و17,3 و62,4)% على التوالي للمعالجة المسبقة AL.US

نتيجـــة:

- تم تحسين انتاج الغاز الحيوي بنسبة 49 بالمئة من خلال المعالجة AL.US ويعزى ذلك الى زيادة أحجام مسام المركبات العضوية US15، ثم تورم هذه الهياكل عند pH=9.
- تمت زيادة كفاءات الطلب الكيميائي للأكسجين الذائبة والكربوهيدرات وكفاءة إزالة البروتين.

دراسة تحليلية رقم (6): مقالة علمية بعنوان:

"Biome thane production improvement by enzymatic pre treatments and enhancers of sewage sludge anaerobic digestion"[19].

- ان عملية معالجة مياه الصرف الصحي تولد كمية كبيرة من حمأة مما يتطلب العديد من العلاجات المسبقة للتخلص منها للقضاء على مشكل التلوث البيئي الخطير وإنتاج (طاقة) على شكل غاز حيوي باستخدام التحلل البيولوجي والهضم اللاهوائي والجدول التالي يلخص:

نتائج المتحصل عليها لإنتاج الميثان الحيوي عن طريق المعالجات الانزيمية المسبقة ومعززات الهضم اللاهوائي لطين الصرف الصحي(اسبانيا.2019)

جدول (16.Ⅳ):جدول استقرائي يوضح تأثير استخدام المعالجات الانزيمية المسبقة و معززات الهضم اللاهوائي على انتاج الميثان الحيوي

المواد المستعملة	حمأة الصرف الصحي، انزيم البروتياز
التقنيات المستعملة	المعالجة الانزيمية المسبقة ، الهضم اللاهوائي، المعالجة البيولوجية الكيميائية الحيوية، التلقيح
الطرق التحليلية	يتم التحكم في تفاعل الهضم اللاهوائي عن طريق قياس المعلمات المختلفة(pH،TS، TVS، القلوية، CODs، CODt، VFAs، حجم الغاز الحيوي وتكوينه) -تم تحديد TN،TC لعينات حمأة مياه الصرف الصحي بواسطة LECO (محلل عضوي). تم تحليل بقية العناصر الدقيقة بواسطة مطياف الانبعاث الذري للبلازما المقترنة بالقنوات . -تم تحديد الأس الهيدروجيني والمواد الصلبة CODtو CODs والقلوية باستخدام الأساليب القياسية. -تم تحديد الأس الهيدروجيني بواسطة مقياس الحموضة. -تم تحديد انتاج الغاز الحيوي ،بشكل مباشر عن طريق قياس الضغط التراكمي داخل الزجاجات عن طريق محولات الضغط
نتائج الدراسة	أظهرت النتائج أن كفاءة التطهير من حيث %(73,5 الى 85,5) COD و%(28,5 الى 42,7) TVS كانت أكثر من ضعف قيمة التحكم. -تمت دراسة التحلل البيولوجي للعينة وكذالك انتاج المحتمل للميثان الحيوي. -تم تولد ميثان حيوي أكثر من مجموعة التحكم في العينات المعالجة المسبقة وكذالك العينات المحسنة الانزيمات . -تم زيادة الغاز الحيوي الحجم (3,65 الى 5,77)مرة على التوالي مقارنة بالتحكم. -أفضل الانزيمات التي كانت في المعالجة هي انزيم البروتياز المعزول لأنه أظهر كفاءة عالية في تحلل الحمأة والمعالجة بالبكتيريا مما نتج حجما اجمالي قدره للميثان (72,4±2,62)ml وCH_4 114ml ترجع هذه النتيجة الى تحلل البروتين باستخدام انزيم البروتياز في الحمأة كعلاجات مسبقة لحمأة مياه الصرف الصحي ، أظهرت النتائج زيادة انتاج الغاز الحيوي بنسبة 23,1% مقارنة

	بالضابطة بعد 11jour. تم الحصول على زيادة انتاج الغاز الحيوي تحسن بنسبة 26%بعد 62jour.

نتيجة:

أخيرا استنتج الباحثون من هذه الدراسة أن كل هذه المعالجات المسبقة لها مميزات إضافية التكاليف المستمدة من عمليات إضافية مختلفة، ومع ذلك كل منهم لها فائدة إيجابية صافية كنتيجة لمستويات أعلى من انتاج الغاز الحيوي .

دراسة تحليلية رقم (7): مقالة علمية بعنوان:

"Improvement of anaerobic digestion of sewage sludge through microwave pre treatment"[20].

- تعتبر حمأة مياه الصرف الصحي الناتجة عن عملية معالجة مياه الصرف الصحي نفايات ملوثة يجب معالجتها بشكل كافئ لتجنب التأثيرات البيئية الهامة وتحسين إنتاجية الغاز الحيوي والجدول التالي يلخص:

عملية تحسين الهضم اللاهوائي لحمأة الصرف الصحي وأهم النتائج المتحصل عليها من خلال المعالجة المسبقة بالميكروويف (اسبانيا.2019)

جدول (17.Ⅳ):جدول استقرائي يوضح تأثير المعالجة المسبقة بالميكروويف على عملية الهضم اللاهوائي

المواد المستعملة	حمأة الصرف المنزلي، حمأة الصرف الصناعي، الحمأة المنشطة.
الطرق التحليلية	1 التحليلات الكيميائية: (الطلب الكيميائي للأكسجين DOC، اجمالي مواد الصلبة، اجمالي مواد الصلبة المتطايرة، النيتروجين، النشادر، الأس الهيدروجيني....الخ)
التقنيات المستعملة	-المعالجة المسبقة في الميكروويف -الهضم اللاهوائي لحمأة مياه الصرف الصحي.
نتائج الدراسة	-بعد اجراء المعالجة المسبقة للميكروويف عند 400 وأظهرت زيادة في COD من حوالي 11.175mg O_2/Kgالى8600 mg O_2/Kg -هناك زيادة أعلى بكثير عند 700W والتي ارتفع الى 215 % بينما كان عند 400 W يبلغ حوالي 25 و30 %. -لاحظت المعالجة المسبقة حافظت على النسبة بين كل من المغذيات (النيتروجين والمواد العضوية).

	-تم الحصول على الحصول على انتاج الغاز الحيوي منخفض جدا من خلال المعالجة المسبقة للميكروويف. -تم الحصول على تحسينات واعدة جدا لحركية العلمية، حيث زاد معدل النمو المتطور وOLR بنسبة 43 و39 %على التوالي

نتيجـــة :

استنتج الباحثون من هذه الدراسة أن يمكن أن تكون هذه التكنولوجيا خيارًا مثيرًا للاهتمام بالنسبة لمحطات معالجة مياه الصرف الصحي ذات التدفق المتغير لحمأة مياه الصرف الصحي لتجنب زيادة حجمها. و تصميم المصنع أو تكييف النباتات الموجودة مسبقًا لتتلاءم مع التأثيرات الأعلى التدفقات ، مع ما يترتب على ذلك من فوائد اقتصادية وبيئية.

دراسة تحليلية رقم (8): مقالة علمية بعنوان:

"Enhancing sludge fermentation and anaerobic digestion by mechanical cutting pretreatment"[21].

-تهدف هذه الدراسة الى تسريع عملية الهضم اللاهوائي وتحسين إنتاجية الغاز الحيوي من خلال تأثير المعالجة المسبقة للقطع الميكانيكي على تخمير الحمأة والهضم اللاهوائي الجدول التالي يلخص:

تعزيز تخمر الحمأة والهضم اللاهوائي عن طريق المعالجة الميكانيكية للقطع (الصين. 2020)

جدول (18.Ⅳ):جدول استقرائي يوضح تأثير المعالجة الميكانيكية على انتاج الغاز

المواد المستعملة	الحمأة المنشطة، الحمأة المعالجة بالقطع الميكانيكي.
التقنيات المستعملة	الهضم اللاهوائي، القطع الميكانيكي
الطرق التحليلية	-خصائص جهاز القطع: تم تفكيك الحمأة عن طريق القطع الميكانيكي في الجزء السفلي من الجهاز بشفرة دوارة عالية السرعة، ثم تدوير الحمأة بسرعة باستخدام الشفرات الموجودة في الجهاز، حيث يمكن لضغط وقوة الطرد المركزي بسحق الحمأة بسبب اختلاف السرعة بين طبقات التدفق. -خصائص الحمأة المنشطة من النفايات: تتكون خصائص الحمأة من مجموع (10453±95COD)،مواد صلبة عالقة(15280±250)، مواد صلبة عالقة متطايرة(8097±50)،الهيدروجيني(6,9±0,1)،كود قابل للذوبان(29,8±2,5)،كربوهيدرات(5,7±0,2) وغيرها من الخصائص. -تجربة دفعيه لتخمير الحمأة: تم تنفيد تجربة تخمير الحمأة الدفعية في ستة مفاعلات مطابقة بحجم عمل 500 ml ثم وضع was 320 مل الذي تم معالجته في أوقات قطع ميكانيكية مختلفة 0،2،4،6،8،10 في مفاعل

	بشكل منفصل. ثم الحفاظ على المفاعل °20c. -تجربة دفعية لعملية الهضم اللاهوائي للحمأة: تم تحليل إمكانات الميثانوجين باستخدام محلل إمكانية انتاج الميثان، ثم وضع اجمالي من الميثانوجين المعالج تحت أوقات القطع الميكانيكية، ثم تلقيح 80ml من حمأة حبيبية في كل مفاعل عندما تنخفض درجة حرارته، ثم تعديل الأس الهيدروجيني من 7,2 الى 7,4 وثم حقن N2 لمدة 5 دقائق ثم التحكم في درجة الحرارة وشدة تحريض ثم امتصاص ثاني أكسيد الكربون الناتج وأخيرا قاموا بقياس انتاج الغاز الحيوي يوميا. -طرق التحليل: تم تحليل اجمالي (DOC(CODtوCODs باستخدام الهضم، OC، ومقياس الطيف الضوئي المحمول. -تم تحديد البروتينات باستخدام طريقة كوماسي. -ثم قياس درجة الحرارة باستخدام مقياس الحرارة. تم استخدام معامل درجة التفكك ل DD تقييم كفاءة تفكك الحمأة عن طريق القطع الميكانيكي . تم ترشيح العينة أولا من خلال غشاء بحجم مسامي 0,45чm ميكرو متر تم تمت اضافة 3% حمض الفورميك لضبط الرقم الهيدروجيني الى 4 تقريبا . -تحليل تكوين المجتمع الجرثومي: ثم أخذ عينات الحمأة من عوامل تخمير الحمأة وتم تحليل تكوين المجتمع من خلال تسلسل عالي الإنتاجية.
نتائج الدراسة	-أظهرت نتائج الدراسة أن الحمأة قد حققت نسبة 6,7% عندما تم قطع الحمأة ميكانيكيا لمدة 8 دقائق. -تم تعزيز تخمير الحمأة عن طريق المعالجة المسبقة، كان انتاج CODالقابل للذوبان (CODs) في نظام لتخمير الحمأة مرتفعا مثل 3052mg/l ، الذي كان 2,28 مرة أعلى انتاج مجموعة الضابطة. -أدت المعالجة الميكانيكية الى تسريع عملية هضم الحمأة وزيادة انتاج الغاز الحيوي مما أدى الى عائد أقصى قدره 539,300mlو3,06 مرات من المجموعة الضابطة. -كانت الوفرة النسبية للميثانوزيتا في المجموعة الضابطة 52.70% بينما كانت النسبة في مجموعة المعالجة المسبقة عالية تصل الى 94.05% كانت للميثانوجينات في نظام الهضم اللاهوائي. كانت المعالجة الميكانيكية مفيدة لإثراء الميثانوجينيز وخاصة الميثان وزيتا الخفية وزادت من انتاج الميثان. -زاد انتاج الغاز الحيوي في الهضم اللاهوائي نسبة %(27 الى 95) في المعالجة بالموجات الصوتية . -زاد انتاج الغاز الحيوي في الهضم اللاهوائي نسبة %(20 الى 570) في المعالجة بالميكروويف. -زاد انتاج الغاز الحيوي في الهضم اللاهوائي بنسبة %(33 الى 250) في المعالجة التفكك .

نتيجـــــة:

تم التوصل في هذه الدراسة الى أن في نظام الهضم اللاهوائي بعد المعالجة الميكانيكية (القطع الميكانيكي) الى زيادة انتاج الغاز الحيوي بشكل ملحوظ

دراسة تحليلية رقم (9): مقالة علمية بعنوان:

"Performance and Stability of biogas recirculation driven anaerobic digestion system coupling with alkali addition Strategy for sewage sludge treatment"[22].

- تمثل محطات معالجة مياه الصرف الصحي تحديًا كبيرًا في معالجة والتخلص من حمأة المجاري الناتجة عن وحدات المعالجة نظرًا لتكاليفها المرتفعة والمخاطر البيئية وإنتاج الغاز حيوي وتثبيت الحمأة من خلال تطوير نظام الهضم اللاهوائي والجدول التالي يلخص:

أداء واستقرار وإعادة تدوير الغاز الحيوي مدفوعة بربط نظام الهضم اللاهوائي مع استراتيجية إضافة القلويات لمعالجة حمأة الصرف الصحي(اليابان2021).

جدول (19.Ⅳ):جدول استقرائي يوضح تأثير إضافة القلويات لمعالجة حماة الصرف الصحي على انتاج الغاز الحيوي.

المواد المستعملة	الحمأة الحبيبية اللاهوائية، حمأة مياه الصرف الصحي.
الطرق التحليلية	1 عينات الحمأة: تم أخذ عينات من الحمأة الحبيبية اللاهوائية المستخدمة من محافظة بباركي (اليابان) بعد تركيز هي كما يلي: درجة الحموضة 4,68 ،القلوية 293,09 l ocac3/mg، اجمالي المواد الصلبة %(2,69±0,01) والمواد الصلبة المتطايرة (VS) من %(2,46± 0,01) في بداية التجارب ، كانت اللقاح (2,02 ± 0,03)و(1,48± 0,20) على التوالي. 2 الطرق التحليلية: تم تسجيل حجم الغاز الحيوي عن طريق إزاحة محلول مشبع NH_3COa لتجنب انحلال ثاني أكسيد الكربون في الماء. تم تحديد محتويات الميثان وثاني أكسيد الكربون في الغاز الحيوي بواسطة غاز (GC-A8) اللوني ، الكربون العضوي المذاب(COD) والكربون العضوي غير المذاب(DIC). -تم قياس كمية الأحماض الدهنية المتطايرة (VFAs) بواسطة جهاز كروماتوغرافيا الغاز. -تم قياس الأس الهيدروجيني والقلوية باستخدام مقياس الأس الهيدروجيني 02-FE والقياس ثم تنفيذts وVS وفقا للظروف القياسية. -تم قياس الناقلية (10AS)، المعايير والقياسات والاختبار ثم تطبيق بروتوكول (SMT) لتجزئة الفوسفور في الحمأة كما وصفها. -تحليل البيانات: تم تحليل الفروق الإحصائية في البيانات التجريبية باستخدام اختبار t للعينة المستقلة بواسطة برنامج SPSS17,0 وP<0,05
التقنيات المستعملة	الهضم اللاهوائي، المعالجة المسبقة القلوية
نتائج الدراسة	-عدم وجود في زيادة في انتاج الميثان ظل إعادة تدوير الغاز عند الحمأة المدخلات في درجة حموضة 9 عند مقارنة بالإعلان التقليدي الذي أنتجت في المتوسط (261,44±8,07)ml.

	- أظهرت أيضا أن إضافة (300 الى 900) mg/l من الكالسيوم لاحظ وجود تجعيد في انتاج الميثان من حمأة مياه الصرف الصحي . -تمت زيادة محتويات الميثان في كل الهضم اللاهوائي في الغاز الحيوي الى 83% أعلى بنسبة 10%. -تم تحقيق زيادة في انتاج الغاز الحيوي واستقرار الجيد للحمأة في نظام الهضم اللاهوائي لحمأة مياه الصرف الصحي تحت استراتيجية الإضافة القلوية. -تم تحقيق تحسين في انتاج الغاز الحيوي بمحتوى أعلى من CH_4 (الميثان) بنسبة 10%. - تم تحقيق تكلفة صافية أقل بنسبة أقل من بنسبة 12.6% لإدارة الحمأة من خلال نظام الهضم اللاهوائي الدفوع بإعادة تدوير الغاز الحيوي.

نتيجـــــة:

في هذه الدراسة تم تطبيق استراتيجيتين لإضافة القلويات أولاً ومقارنةً بنظام AD لمياه الصرف الصحي القائم على إعادة تدوير الغاز الحيوي

معالجة الحمأة. كلتا الاستراتيجيتين أدت الى رفع مستوى الغاز الحيوي..

دراسة تحليلية رقم (10): مقالة علمية بعنوان

"Enhancing sewage sludge anaerobic “re digestion with combinations of ultrasonic ozone and alkaline treatment"[23].

- تم تطوير محطات معالجة مياه الصرف الصحي لمعالجة مياه العادمة وفقا المعايير المرغوبة وتقنيات محددة قبل تصريفها في البيئة المستقبلية لتفادي التلوث البيئي الخطير. تمكن من استخدام الحمأة كمواد مرجعية لإنتاج طاقة (الغاز الحيوي) والأسمدة وغيرها من المنتجات القيمة والجدول التالي يلخص:

عملية هضم حمأة مياه الصرف الصحي اللاهوائية مع توليفات من علاجات الأوزون بالموجات فوق الصوتية والقلوية (سنغافورة.2016)

جدول (20.Ⅳ):جدول استقرائي يوضح تأثير تطبيق علاجات الأوزون بالموجات فوق البنفسجية و القلوية مع عملية الهضم اللاهوائية على انتاج الميثان

المواد المستعملة	حمأة مياه الصرف الصحي
التقنيات المستعملة	-العلاجات بالموجات فوق الصوتية: UIS العلاجات بالأوزون: Ozone العلاجات القلوية: ALK+LSU
الطرق التحليلية	عينيات الحمأة: تم أخذ الحمأة المهضومة من المختبر يتم تغذية المفاعل اللاهوائي شبه المستمر على نطاق

	واسع بمزيج PSو WAS الطرق التحليلية: -تم قياس التوزيع في 3 نسخ باستخدام محلل حجم الجسيمات. -تم قياس الأس الهيدروجيني بدقة 0,01. -تم تحديد تركيز البروتين بطريقة لوري باستخدام ألبومين مصل البقر كمعيار ومقياس الطيف الضوئي للأشعة فوق بنفسجية (UV-1800)ضد فراغ عند 750 نانومتر. -تم تحديد تركيز الكربوهيدرات مع طريقة الكبريتيك الفينول مقابل الفراغ عند 495 نانومتر .
نتائج الدراسة	-زاد انتاج الغاز الحيوي بنسبة 28,3 بالمئة من (0,1± 81,1) الى (0,1± 70,2)مل بعد المعالجة اللاحقة UIS. -تم زيادة انتاج الغاز الحيوي عندما كانت المعالجة الحرارية عند حرارة عالية (130 الى 170) درجة مئوية والضغط حتى(21بار). أدى الهضم اللاهوائي الى حدوث تغير في COD المذابة لأن هناك بكتيريا متحللة تستخدمه لإنتاج الغاز الحيوي. زادت نسبة الميثان في عملية الهضم اللاهوائي بنسبة(28,3%، 84,3، 39,5) بعد UIS وALK+LSU–Ozone على التوالي.

نتيجـــــة:

أظهر هذا العمل إمكانية استخدام الحمأة المعالجة المهضومة اللاهوائية لتعزيز إنتاج الميثان على الرغم من أن المعالجات اللاحقة للأوزون ALK كانت ضعيفة في هضم الحمأة عند تطبيقها بمفردها ، فقد تحسن أداءها بشكل ملحوظ.

IV.2.2تحليل وتفسير النتائج المتحصل عليها في العشر الدراسات السابقة في الوسط اللاهوائي:

من خلال نتائج الدراسات السابقة والممتدة من (2016 الى 2021) والمتعلقة بإعادة تدوير الطاقة من حمأة مياه الصرف الصحي عن طريق عملية التخمر اللاهوائي لإنتاج الغاز الحيوي أنه:

-من بين التقنيات المستعملة لحمأة مياه الصرف الصحي قبل عملية الهضم اللاهوائي والتي تؤدي الى تحسين إنتاجية الغاز الحيوي.

- **المعالجة المسبقة الفيزيائية الميكانيكية:**

المعالجة بالموجات الصوتية

المعالجة بالتجانس عالي الضغط

المعالجة بالشعيع الميكروويف

- المعالجة بالتفكك الكهربي الحركي

المطحنة الكرة

- **المعالجة الكيميائية:**

المعالجة القلوية

المعالجة الحمضية

المعالجة بالأوزون

- **المعالجة الحرارية:**

المعالجة بدرجات الحرارة العالية

المعالجة بدرجات الحرارة المنخفضة

تذويب /التجميد

- **المعالجة البيولوجية:**

المعالجة بمساعدة انزيم

المعالجة اللاهوائية

- **المعالجة المسبقة الهجينة**
- **المعالجة باستخدام الرقم الهيدروجيني**
- **القطع الميكانيكي.**

تتكون حمأة مياه الصرف الصحي من مواد عضوية معقدة والتي يصعب تحللها حيويا أثناء الهضم اللاهوائي نتيجة لذلك يصبح التحلل املائي للمادة العضوية مركبات قابلة للذوبان خطوة حتد من معدل إنتاج الميثان.

وقد قيمت هذه المعالجات المسبقة في الدراسات التالية:

1/ المعالجة المسبقة الفيزيائية والميكانيكية:

-المعالجة بالموجات الصوتية:

المعالجة بالموجات فوق الصوتية هي واحدة من أكثر الدراسات التي تمت دراستها على نطاق واسع وفعالية الطرق الميكانيكية لتعزيز قدرة تحلل البيولوجي للحمأة. تخلق الموجات فوق الصوتية قوى القص المائية الميكانيكية في تجويف الذي يعطل بنية الحمأة[17].

الدراسة التحليلية(1)،(5)،(8) : لوحظ أنه عند استخدام الحمأة المعالجة بالموجات الصوتية في الهضم اللاهوائي زيادة في إنتاجية الغاز الحيوي بنسبة 32,8% ، 20,9% ،من %(27الى 95) على التوالي وهذا الاختلاف في نسب يعود الى اختلاف نوع الحمأة المستخدمة في كل دراسة مثلا في الدراسة 8 استخدمت الحمأة المنشطة وفي الدراسة رقم 5 استخدموا حمأة الصرف الصحي المنزلي.

-المعالجة المسبقة بالميكروويف:

الدراسة التحليلية(3)،(4)،(8): لوحظ في هذه الدراسات السابقة أن عند استخدام المعالجة المسبقة بالميكروويف لحمأة مياه الصرف الصحي الصناعي في نظام الهضم اللاهوائي زيادة في محتوى COD مما أدى زيادة في إنتاجية الغاز الحيوي .

ولكن في الدراسة التحليلية (7) لوحظ انخفاض في إنتاجية الغاز الحيوي بالرغم من أنها قد عولجت بنفس المعالجة المسبقة الا أن في درجات حرارة منخفضة وباستخدام حمأة الصرف المنزلي وليس حمأة الصرف الصناعي .

الدراسة التحليلية(10): لوحظ زيادة في الميثان الحيوي بنسبة مرتفعة بعد المعالجة UISLSU+ALK-Ozoneعلى التوالي.

-المعالجة المسبقة الميكانيكية:

الدراسة التحليلية8: لوحظ في هذه الدراسة أن المعالجة المسبقة الميكانيكية تعتبر مفيدة لإثراء الميثانوجينيز وخاصة الميثان زيتا مما يؤدي الى تسريع عملية الهضم وزيادة إنتاجية الغاز الحيوي. وكذالك كان هناك زيادة في نسبة الغاز الحيوي بنسبة من %(33 الى 250) في المعالجة بالتفكك الكهربي الحركي.

2/ المعالجة البيولوجية:

يتم استخدام هذا النوع من المعالجة لتبسيط المركبات المعقدة، بحيث يمكن للكائنات الدقيقة المشاركة في الهضم اللاهوائي بسهولة أكبر، وتشمل هذا النوع المعالجة المسبقة الإنزيمية والمعالجة اللاهوائية[24].

-المعالجة بمساعدة انزيم:

الدراسة التحليلية (6)،(4): لوحظ في هده الدراستين السابقتين أن المعالجة المسبقة الانزيمية أدت الى تحسين إنتاجية الغاز الحيوي حيث أعد إنزيم البروتياز أفضل الإنزيمات لأنه أظهر كفاءة عالية في تحلل الحمأة والمعالجة البكتيريا وانخفاض سريع في وفرة Methanocorpuscum وتحقيق انخفاض في نسبة المواد الصلبة المتطايرة.

3/ المعالجة الحرارية:

هي تقنية معروفة تجاريا تستخدم لتحسين عملية التحلل المائي في نظام الهضم اللاهوائي والتي تؤدي الى إزالة أغشية الخلايا مما يؤدي الى ركائز عضوية قابلة للذوبان والتي يتم تحللها بسهولة أثناء الهضم وتحسين إنتاجية الغاز الحيوي[25].

-المعالجة بدرجات حرارة مرتفعة ومنخفضة:

الدراسة التحليلية (1): لوحظ في هذه الدراسة أنه في عملية التحلل المائي من عملية الهضم اللاهوائي ذات درجات حرارة مرتفعة الى تسريع معدل الهضم وزيادة إنتاجية الغاز الحيوي مقارنة بالمعالجة في درجات حرارة منخفضة التي أدت الى انخفاض نسبة الغاز الحيوي.

-التذويب والتجميد:

الدراسة التحليلية (4): لوحظ في هذه الدراسة تقليل في الكتلة الحيوية ولكن لا يمكنها زيادة الغاز الحيوي بشكل كاف لانخفاض درجات الحرارة تحت الصفرأو لارتفاعها حتى تسخين التي تؤدي الى التذويب.

الدراسة التحليلية (10): لوحظ زيادة في انتاج الغاز الحيوي عند المعالجة الحرارية وبعد المعالجة اللاحقة.

وأخيرا نستنتج من هذه الدراسات السابقة أن معظم المعالجات المسبقة للركيزة(حمأة مياه الصرف الصحي) أدت الى تسريع عملية الهضم اللاهوائي وزيادة نسبة إنتاجية الغاز الحيوي المنتج.

4/ الهضم المشترك:

الهضم اللاهوائي المشترك هو الهضم المتزامن لمزيج من ركيزتين أو أكثر، أو من خلال الجمع بين ركيزتين أو أكثر من مواد الكتلة الحيوية يتم باستخدام المواد الغنية بالكربون يمكن أن يؤدي الى تحسين الجدوى الاقتصادية للمنشآت الهضم اللاهوائي بسبب ارتفاع الميثان الحيوي وبإمكانه كذالك تحسين نسبة C\N ويعزز الغاز الحيوي ويتغلب على اختلال التوازن الغذائي في الركيزة.

- المواد التي تم اضافتها والتي ساعدت في تسريع عملية الهضم اللاهوائي المشترك وزيادة نسبة الغاز الحيوي المنتج.
- الجليسرين الخام
- النفايات الصناعية لعصير الفواكه
- النفايات الصلبة العضوية
-الجزء العضوي من النفايات الصلبة البلدية (OFMSW)

الدراسة التحليلية2: ركزت هذه الدراسة على تأثير هضم المشترك على الجزء العضوي من النفايات الصلبة البلدية (OFMSW) حيث تم ملاحظة أن نسبة C\N قبل الخلط تتراوح بين 4,1 الى 3,8 وبمتوسط 16,6 وهذا يعتبر منخفض مما يؤدي الى تعارض مع توازن التغذية للكائنات الحية الدقيقة. وعندما تم خلط الكربون مع الحمأة أدت الى زيادة نسبة C\N مما أدى الى زيادة إنتاجية الغاز الحيوي. لوحظ أيضا زيادة الغاز الحيوي التراكمي من مخاليط حمأة مياه الصرف الصحي مع OFMSW.

الدراسة التحليلية3: لوحظ أيضا في هذه الدراسة أنه عند إضافة النفايات الصلبة العضوية والتي تعتبر صعبة التحلل الحيوي الى نظام الهضم اللاهوائي تم زيادة بنسبة20% من إنتاجية الغاز الحيوي دون التأثير على استقرار العملية. مقارنة بعملية الهضم اللاهوائي المشترك عند إضافة الجليسرين تم زيادة إنتاجية الغاز الحيوي بنسبة 115% لأن الجليسرين الخام ذو محتوى عالي من الكربون(COD).

وأخيرا نستنتج من هذه الدراسات السابقة أن الهضم المشترك بإضافة الى انه يحسن من إنتاجية الغاز الحيوي واستقرار عملية الهضم اللاهوائي، فانه يوفر لإعادة تدوير مجموعة متنوعة من المواد المختلفة، يعتبر فعال من حيث التكلفة للتغلب على المشاكل مثل نقص المغذيات التي تقلل من أداء العملية.

5/ الأس الهيدروجيني:

يعتبر الرقم الهيدروجيني من أحد العوامل المؤثرة على نشاط الكائنات الحية الدقيقة الحمضية والمثانية في مرحلة مبكرة من عملية الهضم اللاهوائي، يتم تحويل المواد العضوية القابلة لذوبان الى أحماض ذهنية متطايرة بسرعة وتتراكم مما يؤدي الى انخفاض حاد في pH مما قد يثبط نشاط البكتيريا وبالتالي يؤدي الى انخفاض في انتاج الغاز الحيوي وعدم استقرار عملية الهضم[26].

الدراسة التحليلية4: لوحظ في هذه الدراسة أثناء المعالجة الحمضية ل SS عد الرقم الهيدروجيني 3,3 يزيد من ذوبان المتزايد أيضا من انتاج الغاز الحيوي تحقق زيادة بنسبة 14,3% في انتاج الميثان، عند الرقم الهيدروجيني 2,0 لم تؤدي المعالجة المسبقة للحمض ل SS فحسب بل أدت الى زيادة البكتيريا المنتجة للهيدروجين.

الدراسة التحليلية5: لوحظ في المعالجة المسبقة للركيزة باستخدام الحمض القوي الى زيادة الغاز الحيوي بحوالي 8,1% مقارنة بالحمض الضعيف الذي تسبب في انتاج 5,2%

6/ درجة الحرارة:

تؤدي درجات الحرارة الى تأثير على نشاط الميكروبي وتتدخل في استقرار عملية الهضم اللاهوائي.

الدراسة التحليلية 10: لوحظ في هذه الدراسة أن عند درجات الحرارة المرتفعة°C(130 الى 170) الى زيادة إنتاجية الغاز الحيوي ولكن هذه الدرجات الحرارة العالية يتطلب تكاليف طاقة أعلى وعند درجات حرارة منخفضة يؤدي الى انخفاض في انتاج .

لذا يعتبر استخدام درجات الحرارة المتوسطة هو الحل الأمثل والأكثر استخدام لتكوين غاز حيوي وهضم جيد بتكاليف طاقة أقل.

3.IV مقارنة نتائج تحليل دراسات السابقة لحمأة مياه الصرف الصحي في الوسط الهوائي والوسط اللاهوائي:

من خلال تحليلنا لعشرون مقالة والممتدة من (2011 الى 2021) لاحظنا ما يلي:

1/ مزايا وعيوب الهضم الهوائي والهضم اللاهوائي:

أ/ مزايا الهضم الهوائي والهضم اللاهوائي :

من خلال هذه الدراسات لاحظنا أن الهضم الهوائي يحدث بشكل أسرع بكثير من الهضم اللاهوائي وذالك لأن في غياب الأكسجين يستغرق وقت كبير لتحلل وتفكك الحمأة.

لاحظنا كذلك أن التكاليف لعملية الهضم الهوائي تكون أقل لأن في أغلب الحالات يتم تشغيل العملية في درجة حرارة الغرفة (37C°) وبالتالي تكون العملية أقل تعقيدا بكثير من الهضم اللاهوائي الذي في أغلب الحالات يتم في درجات حرارة متوسطة أو مرتفعة وهذا استنادا لدراسة رقم (10)

ب/ من بين السلبيات التي تم التوصل اليها كذالك وجد أن:

لاحظنا أن تكاليف التشغيل أكبر بكثير للهضم الهوائي مقارنة بعملية الهضم اللاهوائي بسبب الطاقة المستخدمة من قبل المنافيخ والمضخات والحركات التي تم استخدامها استنادا الى الدراسة لإضافة الأوكسجين الى العملية .

وجد أيضا أن الحمأة المهضومة منخفضة نسبيا في الطاقة المتبقية وعلى الرغم من أنه يمكن تجفيفها وحرقها لإنتاج الحرارة، الا أن إنتاجية الطاقة أقل بكثير من تلك الناتجة عن الهضم اللاهوائي.

عملية الهضم اللاهوائي ذو تكلفة مرتفعة واستغراق مدة طويلة نسبيا تقريبا شهر أو أكثر

-المقارنة بالنسبة للتقنيات المستخدمة:

لاحظنا أيضا من خلال تحليلنا لهذه الدراسات أنه في عمليه الهضم الهوائي تم استخدام طريقة الحمأة المنشطة ،المرشح المتقطر، المفاعلات البيولوجية الدوارة بينما في عملية الهضم اللاهوائي تم استخدام المعالجات المسبقة (الفيزيائية والميكانيكية، الكيميائية، الحرارية، البيولوجية)، الهضم المشترك اللاهوائي.

-المقارنة بالنسبة لنسبة الى الطلب الكيميائي للأكسجين :

لاحظنا من خلال الدراسة التحليلية 10 في عملية الهضم اللاهوائي أن نسبة DOC تنخفض لأن هناك بكتيريا متحللة وغياب الأكسجين في الوسط تستخدم لإنتاج الغاز الحيوي. أما في عملية الهضم الهوائي نلاحظ أن نسبة DOC زادت وذالك لوفرة الأكسجين في الوسط.

-المقارنة بالنسبة للأس الهيدروجيني:

لاحظنا من خلال الدراسات أن الأس الهيدروجيني للغاز الحيوي (للهضم اللاهوائي)من (2 الى 7) أما الأس الهيدروجيني لسماد (الهضم الهوائي) يتراوح بين (6 الى 9).

وأخيرا وجدنا أنه يتم استخدام عملية الهضم الهوائي اكثر وأفضل من عملية الهضم اللاهوائي أحسن وأفضل لأنه(غير مكلف، يتم في وقت قصير)، لكن يجب أن يتم استخدامه بعقلانية وذالك لما يسببه من أضرار صحية .

خلاصة عامة

خلاصـــــة عامـــــة:

في سياق حماية البيئة من التلوث، تلعب حمأة مياه الصرف الصحي دورا مهما للغاية في حمايتها، يبقى الهضم الهوائي والهضم اللاهوائي من العمليات المستخدمة في معالجة هذه الحمأة من أجل ثباتها وإنتاج سماد مستخدم في المنتوجات الزراعية وإنتاج الطاقة المتجددة على شكل غاز حيوي من جهة أخرى.

تسمح تقنية الهضم اللاهوائي بتفكيك المادة العضوية الموجودة في الحمأة(غياب الأكسجين) من خلال سلسلة من التفاعلات الكيميائية الحيوية التي تنتج من خلال نسبة عالية من غاز الهيدروجين وغاز الميثان والتي يمكن استخدامها كوقود حيوي في العديد من الصناعات.

تسمح تقنية الهضم اللاهوائي باستخدام تقنيات مختلفة المعالجة المسبقة لحمأة (ميكانيكيه، كيميائية، حرارية، بيولوجية) التي لها دورا رئيسيا في تسريع عملية الهضم وزيادة إنتاجية الغاز الحيوي

الهضم المشترك اللاهوائي لإثنين أو أكثر من الركائز أثبت أنه فعال في تعزيز انتاج الطاقة الحيوية مقارنة بالهضم الأحادي بالإضافة أنه حل جذاب لحماية البيئة.

يمكن أن تكون هذه التكنولوجيا (هضم اللاهوائي) خيارًا مثيرًا للاهتمام بالنسبة لمحطات معالجة مياه الصرف الصحي ذات التدفق المتغير لحمأة مياه الصرف الصحي لتجنب زيادة حجمها. و تصميم المصنع أو تكييف النباتات الموجودة مسبقًا لتتلاءم مع التأثيرات الأعلى التدفقات ، مع ما يترتب على ذلك من فوائد اقتصادية وبيئية.

تعمل تقنية الهضم اللاهوائي في درجات حرارة متوسطة التي تؤدي الى تأثير على نشاط ميكروبي وتتدخل في استقرار عملية الهضم لتكوين غاز حيوي وهضم جيد بتكاليف طاقة أقل.

يتم استخدام رماد حمأة مياه الصرف الصحي الناتج عن عملية حرق الحمأة في مواد بناء الاسمنت وفق معايير و كميات محددة.

يعتبر الهضم الهوائي المحب للحرارة عملية هوائية لها تأثير على إزالة V_sو انخفاض في نسبة الأحماض الدهنية المتطايرة (VFA).

وأخيرا توصلنا الى أنه يجب استعمال عملية الهضم الهوائي(سماد) أحسن وأفضل من عملية الهضم اللاهوائي(غاز الحيوي) لأنه يتم في وقت قصير وبتكاليف طاقة أقل ولكن بجب استخدامه بطريقة عقلانية للمنتوجات الزراعية وذالك لما يسببه من أضرار صحية وحيوانية.

آفـــــاق مستقبلية :

نقدم بعض التوصيات والاقتراحات لتحسين استغلال حمأة مياه الصرف الصحي:

- استغلال الغاز الحيوي الناتج عن عملية الهضم اللاهوائي الذي يتم استعماله في عملية توليد الكهرباء، حيث يتم استخدام هذه الكهرباء الناتجة في الانارة وتشغيل مختلف المعدات (المضخات وغيرها).
- يستخدم الغاز الحيوي في لأغراض الطهي وكوقود رخيص للسيارات.
- العمل على توعية المواطنين بالأخطار، والتأثيرات البيئية المترتبة على استمرار الوضع الحالي لتراكم كميات الحمأة الناتجة، ومحاولات معالجة الحمأة الناتجة من خلال النشرات والدوريات، والوسائل السمعية، والبصرية المتوفرة ، والتي تهتم بالقضايا البيئية لحثهم على المساهمة، والمشاركة الفاعلة في عملية معالجة وادارة الحمأة، هذا بالإضافة إلى تشكيل الوعي البيئي من أجل حث المواطنين على تغيير سلوكياتهم الخاطئة تجاه البيئة ومن أجل تنمية الضمير البيئي لدى المواطنين.
- استغلال رماد حمأة مياه الصرف الصحي الناتجة عن عملية الحرق في مواد بناء الإسمنت .
- تعددت أنواع الحرق حسب الغرض المرجو من ذلك. إلا أنه يمكن أن نميز طريقتين مها:
- الحرق دون استرجاع طاقة والحرق مع استرجاع طاقة والطريقة التي يجب أن تستخدم في المستقبل هي الحرق مع استرجاع طاقة لأنها:
- تستخدم هذه الطاقة من أجل التسخين الحضري وإنتاج الكهرباء و استعمالات أخرى متعددة

المراجـــــع

المراجع باللغة الأجنبية :

[1]Manyi-Loh CE, Mamphweli SN, Meyer EL, Okoh AI, Makaka G, Simon M. Microbial anaerobic digestion (bio-digesters) as an approach to the decontamination of animal wastes in pollution control and the generation of renewable energy.

[3] Ayhan Demirbas, Volkan Coban, Osman Taylan & MohammedKabli (2017) Aerobic digestion of sewage sludge for waste treatment, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects.

[4]Leslaw Swierczek, Bartlomiej Michal Cieslik, and Piotr Konieczka. "Challenges and opportunities related to the use of sewage sludge ash in cement-based building materials – A review" Journal of cleaner production.

[5]Melo, L. D. F. de A., Junior, J. L. de A. M., Gonçalves, E. P., Viana, J. S., Souto, P. C., Ferreira, V. M., Neto, J. C. de A., & Paes, R. de A. (2019). Sewage Sludge as Fertilizer in Soybean Cultivation.

[6]K. Usman, S. Khan, S. Ghulam, M. Khan, N. Khan, M. Khan and S. Khalil, "Sewage Sludge: An Important Biological Resource for Sustainable Agriculture and Its Environmental Implications," American Journal of Plant Sciences.

[7]Mondal, Tumpa & Jana, Ankan & Kundu, Debajyoti. (2017). Aerobic wastewater treatment technologies: A mini review.

[8]Sun, Qin & Zhang, Jian & Zhang, Hui. (2014). Research on Sewage Sludge Composting Experimental. Advanced Materials Research.

[9]Radwan, Kamal & Fouad, Moharram & El-Say, Ahmed. (2020). AEROBIC TREATMENT OF WASTEWATER USING HYBRID SYSTEM.

[10]Elshaeva, I & Voropaeva, E & Pinaeva, A. (2020). Environmental aspects of the use of sewage sludge as fertilizer materials.

[11]Rennuit, Charlotte & Triolo, Jin & Eriksen, Søren & Jimenez, Julie & Carrere, Hélène & Hafner, Sasha. (2017). Comparison of pre- and inter-stage aerobic treatment of wastewater sludge: Effects on biogas production and COD removal.

[12]Liu, Shugen & Zhu, Nanwen & Li, Loretta. (2011). The one-stage autothermal thermophilic aerobic digestion for sewage sludge treatment: Stabilization process and mechanism.

[14]Liu, Xinyuan & Han, Zeyu & Yang, Jie & Ye, Tianyi & Yang, Fang & Wu, Nan & Bao, Zhenbo. (2018). Review of enhanced processes for anaerobic digestion treatment of sewage sludge.

[15]Hanum, Farida & Yuan, Lee & Kamahara, Hirotsugu & Aziz, Hamidi & Atsuta, Yoichi & Yamada, Takeshi & Daimon, Hiroyuki. (2019). Treatment of Sewage Sludge Using Anaerobic Digestion in Malaysia: Current State and Challenges.

[16]Liew, Chin Seng & Yunus, Normawati & Chidi, Boredi Silas & Lam, Man & Goh, Pei & Mohamad, Mardawani & Sin, Jin & Lam, Sze-Mun & Lim, Jun-Wei & Lam, Su Shiung. (2021). A review on recent disposal of hazardous sewage sludge via anaerobic digestion and novel composting. Journal of Hazardous Materials.

[17]Nguyen, V. & Chaudhary, Dhiraj & Dahal, Ram Hari & Trinh, Hoang & Kim, Jaisoo & Chang, Soon-Woong & Hong, Yongseok & La, Duong Duc & Nguyen, Xuan & Ngo, H. & Chung, W. & Nguyen, Dinh Duc. (2020). Review on pretreatment techniques to improve anaerobic digestion of sewage sludge.

[18]GülşenAkbay, Habibe & Dizge, Nadir & Kumbur, Halil. (2021). Enhancing biogas production of anaerobic co-digestion of industrial waste and municipal sewage sludge with mechanical, chemical, thermal, and hybrid pretreatment. Bioresource Technology.

[19]Agabo, Cristina & Perez, Montserrat & Rodríguez, Bruno & Parrado, Juan & Solera, Rosario. (2019). Biomethane production improvement by enzymatic pre-treatments and enhancers of sewage sludge anaerobic digestion.

[20]Serrano, Antonio & Siles, J.A. & Martín, Maria & Chica, Arturo & Estévez-Pastor, F.S. & Toro Baptista, Enrique. (2016). Improvement of anaerobic digestion of sewage sludge through microwave pre-treatment. Journal of Environmental Management.

[21]Serrano, Antonio & Siles, J.A. & Martín, Maria & Chica, Arturo & Estévez-Pastor, F.S. & Toro Baptista, Enrique. (2016). Improvement of anaerobic digestion of sewage sludge through microwave pre-treatment. Journal of Environmental Management.

[22]Zhao, Jiamin & Hou, Tingting & Lei, Zhongfang & Shimizu, Kazuya & Zhang, Zhenya. (2021). Performance and stability of biogas recirculation-driven anaerobic digestion system coupling with alkali addition strategy for sewage sludge treatment. Science of The Total Environment.

[23]Tian, Xinbo & Trzcinski, Antoine & Lin, Leonard & Ng, Jern. (2016). Enhancing sewage sludge anaerobic “re-digestion” with combinations of ultrasonic, ozone and alkaline treatments. Journal of Environmental Chemical Engineering.

[24]Mlaik, Najwa & Sonia, Khoufi & Hamza, Manel & Sayadi, Sami. (2019). Enzymatic pre-hydrolysis of organic fraction of municipal solid waste to enhance anaerobic digestion. Biomass and Bioenergy.

[25]anum, Farida & Yuan, Lee & Kamahara, Hirotsugu & Aziz, Hamidi & Atsuta, Yoichi & Yamada, Takeshi & Daimon, Hiroyuki. (2019). Treatment of Sewage Sludge Using Anaerobic Digestion in Malaysia: Current State and Challenges. Frontiers in Energy Research.

[26]montañés, Rocio & Perez, Montserrat & Solera, Rosario. (2014). Anaerobic mesophilic co-digestion of sewage sludge and sugar beet pulp lixiviation in batch reactors: Effect of pH control. Chemical Engineering Journal.

المواقع الإلكترونية :

[2] معالجة حمأة مياه الصرف الصحي https://www.noor-book.c

ملخص:

إن الهدف من دراستنا هو معرفة استخدامات حمأة مياه الصرف الصحي الناتجة عن عملية معالجة مياه الصرف الصحي ، حيث شملت طرق معالجة الحمأة في الوسط الهوائي و الوسط اللاهوائي و تضمنت كذالك مقارنة وتحليل 20 دراسة مرجعية التي أظهرت جوانب استخداماتها و المتمثلة في استخدامها كسماد للمنتوجات الزراعية و الناتج عن عملية الهضم الهوائي او استخدامها كغاز حيوي كطاقة بديلة للوقود الأحفوري و الناتج عن عملية الهضم اللاهوائي ومن خلال النتائج التي تحصلنا عليها اعتبر استخدام السماد بطريقة عقلانية كحل أمثل لمكافحة التلوث البيئي الذي تحدثه الحمأة .

الكلمات المفتاحية: حمأة مياه الصرف الصحي، السماد، الغاز الحيوي، الهضم الهوائي، الهضم اللاهوائي.

Abstract:

The aim of our study is to know the uses of sewage sludge resulting from the process of sewage treatment, which included methods of treating sludge in the aerobic and anaerobic medium, and also included a comparison and analysis of 20 reference studies that showed the aspects of their uses represented in their use as fertilizer for agricultural products and The result of the aerobic digestion process or its use as biogas as an alternative energy to fossil fuels and resulting from the anaerobic digestion process and through the results we obtained, the rational use of compost was considered as an optimal solution to combat environmental pollution caused by sludge.Key words: sewage sludge, compost, biogas, aerobic digestion, anaerobic digestion.