الرقم الترتيبي:

الرقم التسلسلي:

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح – ورقلة –

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الكيمياء

مذكرة مقدمة لنيل شهادة ماستر أكاديمي في الكيمياء

التخصص كيمياء محيط

من إعداد:

أسماء برجي

كوثر بن الزين

الموضـــوع:

دراسة تحليلية لمختلف العوامل والمتغيرات المؤثرة على إنتاجية الغاز الحيوي من خلال التخمر اللاهوائي للنفايات العضوية

نوقشت يوم: ../../2021 أمـــام لجنـــة المناقشـــة المكونـــة مـــن:

مخلفي طارق	أستاذ محاضر (أ)	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	رئيسا
علاوي مسعودة	أستاذ محاضر (أ)	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مناقشا
شاوش خولة	أستاذ مساعد (ب)	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مؤطرا
بلفار محمد الأخضر	أستاذ محاضر (أ)	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مساعدمؤطر

السنة الجامعية: 2021/2020

الإهداء

إلهي لايطيب الليل إلا بذكرك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك ولاتطيب اللحظات إلا بذكرك ...ولا تطيب الأخرة إلا بعفوك ...ولاتطيب الجنة إلا برؤيتك "ياذا الجلال والإكرام"

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

إلى ماكلله الله بالهيبة والوقار إلى من علمني العطاء بدون إنتظار إلى من أحمل إسمه بكل إفتخار وأرجو من الله أن يمد في عمرك لترى ثمارا قد حان قطافها بعد طول إنتظاروستبقى كلماتك نجوم إهتدى بها اليوم والغد وإلى الأبد "والدي العزيز محمد" حفظك الله ياتاج راسي

إلى ملاكي في الحياة ... إلى معنى الحب وإلى معنى الحنان والتفاني إلى بسمة الحياة وسر الوجود، إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي إلى أغلى الحبايب أمي الغالية - مسعودة -.

إلى من بهم أكبر وعليهم أعتمد إلى شمعة متقدة تنير حياتي إلى من بوجودهما أكتسب قوة ومحبة لاحدود لها ،إخوتي الكرام...

إلى من علمتني أن القرءان هو الحياة شيختي الفاضلة - جميلة الداوي –

إلى من عمل معي بكد بغية إتمام هذا العمل خالي -عادل الداوي-

إلى كل من سعتهم ذاكرتي ولم تسعهم مذكرتي من دون أن أنسى زملائي قسم ثانية ماستر كيمياء محيط دفعة 2021.

برجي أسماء

الإهداء

الحمد و الشكر لله عز وجل الذي أعطاني من فضله و هداني بعلمه و الذي بعونه تم إنجاز هذا العمل المتواضع ولا يسعني في هذا المقام إلا أن أهدي ثمرة جهدي و عملي و نجاحي:

إلى التي ملأت قلبي وردا، و روحي عطرا، إلى من قلبها يسع الكون كله، إلى الشمعة التي تنير دربي و فتحت لي أفاق وأبواب النجاح والعلم **أمي الحبيبة** أطال الله في عمرها وأمدها بكل خير وصحة وعافية.

إلى سندي وقدوتي في الحياة، إلى من سهر جاهدا لدعمي، إلى من أهدته الحياة المتاعب فأهداني الراحة و الطمأنينة، الذي علمني أن أرتقي سلم الحياة بحكمة وصبر وكان دائما خلفي

أبي الغالي

"بن الزين مسعود" أطال الله في عمره وأمده بالصحة والعافية.

إلى من حبهم يجري في عروقي ويلهج بذكراهم فؤادي إلى أخواتي وإخواني وإلى كل أفراد عائلتي جدتي وخالاتي وأخوالي وعمتي وأعمامي

إلى صديقتي في هذا العمل ورفيقة الدرب" **برجي أسماء**"

وإلي صديقاتي وكل زميلاتي في المشوار الدراسي والجامعي

أهدي هذا العمل المتواضع

بن الزين كوثر

شكر وعرفان

بسم الله الرحمن الرحيم

"كن عالما ...فإن لم تستطع فكن متعلما، فإن لم تستطع فأحب العلماء، فإن لم تستطع فلا تبغضهم"

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

نتقدم بأخلص عبارات الشكر وأسمى عبارات التقدير والعرفان والإمتنان إلى الأستاذة المشرفة الأستاذة المحترمة : خولة شاوش على قبولها تحمل أعباء الإشراف على هذا العمل، وعلى توجيهها ونصحها لنا. كما نشكرها على المعاملة الطيبة التي حضينا بها من قبلها، فجزاها الله عنا خير الجزاء.

كما نتوجه بالشكر إلى الأستاذ المساعد: بلفار محمد الأخضر.

ونتوجه بتحية إحترام وتقدير للأساتذة الفضلاء: "مخلفي طارق" و"علاوي مسعودة "على قبولهم رئاسة ومناقشة هذا العمل.

وشكر كبير لكل من قدم لنا يد العون من أجل إنجاح هذا العمل لهم خالص شكري وعرفاني وأخص بالذكر الأساتذة الفضلاء: "علي دوادي" و"إبراهيم العابد" "وخيرة نوال بن عيسى " و"بن عيدة مريم" وإلى طالبتي الدكتوراء "سعيدة بن فردية" و"أمال بن الشيخ".

ولايفوتنا أن نشكر كل من ساندنا خلال مشوارنا التعليمي من أساتذة وطلبة قسم ثانية ماستر كيمياء محيط دفعة 2021 وأخص بالذكر زميلنا "بن نانة هشام".

قائمة المحتويات

الإهداء1	I
الإهداء2	II
شكر وتقدير	III
قائمة المحتويات	IV
قائمة الأشكال	X
قائمة الجداول	XI
قائمة المختصرات	XII
المقدمة العامة	1
الفصل الأول: ***عموميات حول النفايات***	
I-1- مقدمة	4
I-2- تعريف النفايات	4
I-2-1- تعريف النفايات حسب منظمة الصحة العالمية (OMS)	4
I-2-2- تعريف النفايات حسب القانون الجزائري	4
I-3- تصنيف النفايات	5
I-3-1- التصنيف حسب القانون الجزائري	5
I-3-2- تصنيف حسب الجمعية البرلمانية للإتحاد من أجل المتوسط	5
I- 3-2- معايير تصنيف النفايات حسب ما جاء في دراسة الباحثة (سعيدي،2012)	6
I-4 - خصائص النفايات	7
I-4- 1- الكثافة	7
I-4-2- درجة الرطوبة	8
I-4-3- القيمة الحرارية	8
I-4-4- نسبة الكربون إلى الأزوت(C/N)	8
I-5- طرق معالجة النفايات	8
I-5-1- الردم في مدافن أو مراكز تخزين النفايات	9
I-5-1-1- تعريف	9
I-5-1-2- أصناف مراكز الردم التقني	9
I-5-2- الحرق (ترميد النفاية)	10
I-5-2-1- أنواع عمليات الحرق	10
I-5-2-2- الخطوات الرئيسية في عملية الترميد	11

I-5-3- إعادة التدوير	11
I -5-3-1- المواد القابلة للتدوير	11
I-5-4- المعالجة البيولوجي	12
I-5-4-1- التخمر الهوائي(التسميد)	12
I-5-4-2- التخمر اللاهوائي (إنتاج الميثان)	13
مراجع الفصل الأول	14
الفصل الثاني: ***الهضم اللاهوائي***	
II -1- مقدمة	15
II-2- الجانب التاريخي	15
II-3- تعريف عملية الهضم اللاهوائي AD	16
II-4- مراحل عملية الهضم اللاهوائي	16
II-4-1- التحلل المائي	18
II-4-2- تكوين الحمض وتكوين الأسيتات	18
II-4-3- تكوين الميثان	19
II-5- النفايات والمواد العضوية المستخدمة في الهضم اللاهوائي	19
II-5-1- النفايات البلدية الصلبة والمنزلية	19
II-5-2- نفايات صناعة الأغذية	20
II-5-3- النفايات الزراعية ومحاصيل الطاقة	20
II-5-4-المخلفات الحيوانية	20
II-5-5- الحمأة الناتجة من محطات معالجة مياه الصّرف الصّحي AD	20
II-6- العوامل والمتغيّرات التي تؤثر في عملية الهضم اللاهوائي	21
II-6-1- طبيعة الرّكائز (nature of substrates)	21
II-6-2- المعالجة المسبقة للركيزة	22
II-6-2-1- المعالجة الميكانيكية	23
II-6-2-2- المعالجة الحرارية	23

II-6-2-3- المعالجة الكيمائية	23
II-6-2-4- المعالجة البيولوجية	23
II-6-3- العناصر الغذائية	25
II-6-4- الهضم المشترك	25
II-6-5- الأس الهيدروجين pH والقلوية (Alkalinity) والاحماض الدهنية المتطايرة (VFA)	26
II-6-6- الأمونيا	26
II-6-7- درجة الحرارة	27
II-6-8- النسبة CIN	27
II-6-9- نسبة الركيزة الى اللقاح (S/I)	28
II-6-10- اللقاح (Inoculum)	28
II-6-11- معدل التّحميل العضوي (ORL)	28
II-6-12- المحتوى الصلب	29
II-6-13- وقت الاحتفاظ الهيدروليكي Hydraulic Retention (HRT) Time	29
II-7 الهاضم (Digester)	29
II-7-1- تعريف	29
II-7-2- تصنيفات أنواع مختلفة من أجهزة الهضم	30
II-7-2-1- تصنيف حسب وضع التغذية	30
II -7-2-2- التصنيف حسب نوع الركيزة	31
II-7-2-3- التصنيف حسب عدد الخطوات	31
II-8- مزايا وعيوب الهضم اللاهوائي	32
II-8-1- مزايا الهضم اللاهوائي	32
II-8-2- عيوب الهضم اللاهوائي	32

مراجع الفصل الثاني	33
*الفصل الثالث : **الغاز الحيوي***	
III-1-المقدمة	35
III-2- تعريف ومكونات الغاز الحيوي	35
III-3- إنتاج الغاز الحيوي في دول العالم والإتحاد الأوربي	36
III-4- خصائص الغاز الحيوي	37
III-5- تنقية الغاز الحيوي	38
III-5-1- التخلص من كبريتيد الهيدروجين	38
III-5-2- إزالة مركبات الهالوجين العضوي والمعادن الثقيلة والسيلوكسانات	39
III-5-3- التخلص من بخار الماء	39
III-5-4- التخلص من ثاني أكسيد الكربون	40
III-6 - إستعادة الغاز الحيوي	40
III-6-1- إستعادة الحرارة	40
III -6-2- توليد الكهرباء من الغاز الحيوي	41
III -6-3- الإنتاج المشترك للحرارة والكهرباء معا	41
III -6-4- إستخدام الوقود في المركبات أو في شبكة الغاز الطبيعي	41
III-7- مميزات إستخدام الغاز الحيوي	42
مراجع الفصل الثالث	44
*الفصل الرابع: **الدراسة التحليلية للعوامل والمتغيرات المؤثرة على عملية الهضم اللاهوائي للنفايات العضوية***	
IV -1- المقدمة	45
IV – 2- المعالجة المسبقة للركيزة	45
IV-2-1- تحليل دراسات سابقة	45
IV – 2 -2- مناقشة وتحليل الدراسات السابقة	50
IV-3-الهضم المشترك	52
IV-3-1 تحليل دراسات السابقة	52
IV-3-2 مناقشة وتحليل الدراسات السابقة	54

IV-3- الاس الهيدروجيني pH	55
IV-3-1-تحليل الدراسات السابقة	55
IV-3-2- مناقشة وتحليل الدراسات السابقة	57
IV-4 -درجة الحرارة	58
IV-4-1-تحليل الدراسات السابقة	58
IV-4-2-مناقشة وتحليل الدراسة السابقة	60
IV-5-وقت الاحتفاظ الهيدروليكي HRT	60
IV-5-1- تحليل الدراسات السابقة	60
IV-5-2- مناقشة وتحليل الدراسة السابقة	61
IV-6-معدل التحميل العضوي OLR	62
IV-6-1- تحليل الدراسات السابقة	62
IV-6-2-مناقشة وتحليل النتائج	65
IV-7-اللقاح (inoculum)	66
IV-7-1-تحليل الدراسات السابقة	66
IV-7-2-مناقشة وتحليل الدراسة	67
IV-8-المحتوى الصلب SC ،نسبة الغذاء /اللقاح F/I، نسبة الكربون /النتروجين C/N	67
IV-8-1 تحليل الدراسات السابقة	68
IV-8-2-مناقشة وتحليل الدراسة	69

IV-9- الإضافات	69
IV-9-1-تحليل الدراسات السابقة	70
IV-8-2-مناقشة وتحليل الدراسة السابقة	74
مراجع الفصل الرابع	77
الخلاصة العامة	80
الملخص	

قائمة الأشكال

الشكل	العنوان	رقم الصفحة
(1.I)	تمثل النفايات الصلبة	5
(2.I)	مخطط يوضح مختلف أنواع معالجة النفايات	9
(3.I)	الأحياء الدقيقة الهوائية المفككة للمواد العضوية	13
(4.I)	وحدة إنتاج غاز الميثان (البيو غاز)	13
(1.II)	يوضح مراحل عملية الهضم اللاهوائي للمواد العضوية المعقدة	17
(2.II)	تأثير المعالجة المسبقة على الكتلة الحيوية lignocellulosic	22
(3.II)	أوضاع تشغيل مختلفة لمفاعل حيوي	31
(1.III)	رسم تخطيطي لمصادر وإستخدامات الغاز الحيوي	42

قائمة الجداول

الجدول	العنوان	رقم الصفحة
(1.I)	أنواع النفايات حسب المعيار الذي يأخذه التصنيف	7
(1.II)	ملخص لمزايا وعيوب استراتجيات المعالجة المسبقة	24
(1.III)	مكونات الغاز الحيوي ونسبها بحسب الجمعية الألمانية للمياه والغاز	36
(2.III)	عدد وحدات الغاز الحيوي في دول مختلفة عام 2008	37
(1.IV)	ملخص دراسة حول تعزيز إنتاج الغاز الحيوي من OFMSWباستخدام المعالجة الحمضية المسبقة	45
(2.IV)	ملخص دراسة حول تعزيز إنتاج الغاز الحيوي من OFMSW بإستخدام المعالجة القلوية	46
(3.IV)	ملخص دراسة حول تعزيز إنتاج الغاز الحيوي من OFMSW بإستخدام المعالجة الحرارية المائية	47
(4.IV)	ملخص دراسة حول زيادة إنتاج الميثان من مخلفات الخضار والفاكهة ومخلفات سوق الزهور بإستخدام البثق (Extrusion)كمعالجة مسبقة	48
(5.IV)	ملخص دراسة حول التحلل المائي الإنزيمي ل OFMSW لتعزيز الهضم اللاهوائي	49
(6.IV)	ملخص دراسة حول اثار الهضم المشترك لروث الإبل ونفايات الصلبة البلدية على جودة انتاج الغاز الحيوي والميثان والاسمدة الحيوية	53
(7.IV)	ملخص دراسة حول تأثير الهضم المشترك لمخلفات المطبخ و روث الابل ومياه الصرف الصحي	54
(8.IV)	ملخص دراسة حول تأثير تعديل الاس الهيدروجيني على تحسين أداء توليد الغاز الحيوي من نفايات الطعام عن الطريق AD	56
(9.IV)	ملخص دراسة حول تأثير الاس الهيدروجيني الاولي على الهضم اللاهوائي المشترك لنفايات المطبخ وروث البقر	57
(10.IV)	ملخص دراسة حول تأثير درجة الحرارة على انتاج الغاز الحيوي	59
(11.IV)	ملخص دراسة حول تأثير HRT على الهضم اللاهوائي لقش القمح	61
(12.IV)	ملخص دراسة حول اثار OLR على أداء AD	63
(13.IV)	ملخص دراسة حول اثار OLRs وHRTs في الأنظمة Thermophilic-mesophilic على انتاج الميثان	64
(14.IV)	ملخص دراسة حول تأثير أنواع اللقاح على تحسين انتاج الميثان.	66
(15.IV)	ملخص دراسة حول تحسين (SC) و(C/N) و (F/I) على انتاج الغاز الحيوي من نفايات الطعام	68
(16.IV)	ملخص دراسة حول تأثير مكملات الزنك على انتاج الغاز الحيوي اثناء AD لمخلفات الطعام ومياه الصرف الصحي	70
(17.IV)	ملخص لدراسة حول تأثير العناصر النزرة على استقرار الهضم	71
(18.IV)	ملخص دراسة حول تعزيز انتاج الميثان عن طريق إضافة GAC في المفاعلات اللاهوائية	72
(19.IV)	ملخص دراسة حول تأثيرالكربون النشط المحتوي على النيكل AC-Ni على AD لمخلفات الطعام	73
(20.IV)	ملخص دراسة تأثير اكاسيد الحديد الموصلة على تسريع كوين الميثان من الاسيتات والبروبيونات	74

AD :Anaerobic digestion : الهضم اللاهوائي

Ac_Ni :Nickel-containing activated carbon الكربون النشط المحتوي على النيكل

BA :Bicarbonate alkalinityin قلوية البيكربونات

C/N :Carbon/nitrogen الكربون /النتروجين

DIET :Direct interspecies electron transfer نقل الالكترون المباشر بين الأنواع

F/I :Food/inoculum الغذاء/ اللقاح

GAC : Granuar activated carbon الكربون المنشط الحبيبي

HRT :Hudraulic retenion time وقت الاحتفاظ الهيدروليكي

IA :Intermediate alkalinity القلوية المتوسطة

OFMSW :Organic fraction of municipal solid wast جزء عضوي من نفايات صلبة بلدية

OLR :Organic loading rate معدل التحميل العضوي

OMS :Organisation mondilae de la sante : منظمة الصحة العالمية

SC :Solid content محتوى صلب

TA :Total alkalinity القلوية الكلية

TE :Trace element العناصر النزرة

VS :Volatil solids مادة صلبة متطايرة

VFA :volatile fatty acids الاحماض الدهنية المتطايرة

يعتمد الإقتصاد الجزائري بشكل كبير على تصدير الوقود الأحفوري، لذا ترجع الأزمة الأخيرة إلى إنخفاض مداخيل النفط بنسة 70% في أقل من عامين. مما جعل البلاد تفقد نصف إحتياجاتها، المقبوضات الخارجية والتسبب في عجز كبير في الميزان التجاري. لن يدوم إحتياطات الوقود الأحفوري إلى الأبد (حوالي 40 إلى 50 عاما)، ولذلك أصبحت الحاجة إلى إيجاد مصدر بديل ومتجدد للطاقة ذات أهمية متزايدة للتنمية المستدامة[1] .

تعتبر النفايات من المواضيع المهمة من جهة والأخطر من جهة أخرى، تظهر تقديرات الوكالة الوطنية للنفايات إلى أكثر من 11 مليون طن من النفايات يتم إنتاجها سنويا في عام 2014. وهذا الإنتاج يعرف تطورا كبيرا، كل هذه النفايات بالطبع لها آثار ضارة للغاية على البيئة وكذلك صحة الإنسان. المكونات الرئيسية للنفايات الناتجة هي: مخلفات المطبخ (العضوية) بمعدل متوسط 54.4% بلاستيك 16.88%، ورق9.75%، زجاج 1.16%، معادن 2.48% وغيرها 14.97%[1] . من بين العوامل المرتبطة بهذه الزيادة ما يلي: الزيادة السكانية، الزيادة معدلات التحضر، النمو الاقتصادي وتغير العادات الغذائية وأنماط الإستهلاك[2].

تنتج النفايات العضوية عن العديد من المصادر،كالصناعات الغذائية والزراعة والقمامة المنزلية وتتميز بإحتوائها على مواد قابلة للتخمر في الهواء أو في غياب الهواء، مما يجعلها مصدرا ملوثا للبيئة ومصدرا لغاز الميثان المسبب للإحتباس الحراري. وتتضح الصورة حول مدى الخطر الذي تمثله هذه النفايات من خلال الكميات المهولة التي ينتجها البشر سنويا.

يمكن أن يكون جمع النفايات العضوية لإستعادة الموارد مثل الغاز الحيوي ومحسنات التربة عن طريق عمليات الهضم اللاهوائي خيارا قابلا للتطبيق. الهضم اللاهوائي هو عملية بيولوجية متعددة المراحل تحدث في غياب الأكسجين، يحدث خلالها تحلل الركائز العضوية (أي الكربوهيدرات والبروتينات والدهون) إلى الهضم (مع إمكانات عالية للإستخدام الزراعي). وغاز حيوي بشكل أساسي، حيث يكون الميثان هو الغاز السائد. مع الإعتماد العالمي على الوقود الأحفوري المقدر بما يتجاوز 80% من إجمالي المتطلبات، فإن الغاز الحيوي المنتج من الهضم اللاهوائي يوفر مصدرا متعدد الإستخدامات لتوليد الطاقة الكهربائية وكوقود للمركبات.

ومع ذلك تتأثر عملية الهضم اللاهوائي بعدة عوامل ومتغيرات مثل (طبيعة الركائز وتراكم الاحماض الدهنية المتطايرة ودرجة الحموضة ودرجة الحرارة ووقت الإحتفاظ الهيدروليكي... إلخ)، ولذلك فإن التحكم في المعلمات التشغيلية والمتغيرات الرئيسية يمكن أن يحسن من كفاءة العملية وإنتاج الميثان المستقر.

ومن هنا كان هدفنا في هذا البحث هو دراسة تقنية الهضم اللاهوائي تعريفها، مراحلها والتعرف على مختلف العوامل والمتغيرات المؤثرة في العملية، وإجراء دراسات تحليلية تقدم إنعكاسا على تأثير هذه العوامل والمتغيرات على تقنية الهضم اللاهوائي ومناقشة نتائجها وتحديد العوامل والمتغيرات الأكثر أو الأقل دراسة حتى يمكن توجيه العمل المستقبلي في هذا الصدد لتقديم إستنتاجات تدعم إستخدام تقنية الهضم اللاهوائي. وعليه تم هندسة هذا البحث على النحو التالي:

الفصل الأول: عموميات حول النفايات.

الفصل الثاني: تقنية الهضم اللاهوائي.

الفصل الثالث: الغاز الحيوي.

الفصل الرابع: دراسة تحليلية لمختلف العوامل والمتغيرات المؤثرة على عملية الهضم اللاهوائي.

وإختتمنا عملنا هذا والذي نأمل أن يكون دعامة وسندا في مجال هذا البحث بخلاصة عامة ...

[01]Kheira, B. N., Dadamoussa, B., Bendraoua, A., Mel, M., & Labed, B. (2017). Effects of co-digestion of Camel Dung and municipal solid wastes on quality of biogas, methane and biofertilizer production. J Adv Res Fluid Mech Therm Sci, 40, 7-17.

[02] Benaissa, K., Dadamoussa, B., & Bendraoua, A. (2017). Biogas and CH4 quality and productivity by co-digesting dromedary dung with kitchen waste and sewage sludge water under mesophilic conditions| Benaissa. J Fundam Appl Sci, 9(3), 1701-17.

الفصل الأول

عموميات حول النفايات

I-1- مقدمة

النفايات هي جميع مخلفات عملية الإنتاج أو التحويل أو الإستهلاك، والتي يجب التخلص أو القضاء عليها من قبل صاحبها، حتى لا يضر المجتمع ويحافظ على البيئة.

يؤدي النمو السكاني والتطور الصناعي وتطور التكنولوجيا إلى زيادة انتاج أنواع مختلفة من النفايات المسؤولة عن تهديد خطير للإنسان والبيئة.

يمكن إعتبار النفايات طاقة متجددة لأنه طالما يوجد أشخاص ستكون هناك نفايات حتى لو ظل التدمير أو التقليل من الأهداف ذات الأولوية في معالجة النفايات، فمن المثير للإهتمام إنتاج الطاقة عندما يكون ذلك ممكنا. هناك طريقان رئيسان يسمحان بالطاقة: التخمير والحرق.

I-2- تعريف النفايات

I-2-1- تعريف النفايات حسب منظمة الصحة العالمية (OMS)

يقصد بالنفاية أو القمامة أو القاذورات وهي بعض الأشياء التي يصبح صاحبها لا يريدها في مكان ما وفي وقت ما، وأصبحت ليست لها أهمية أو قيمة، ويعرفها البعض بأنها مواد عديمة الفائدة ولا يحتاجها الإنسان ويجب التخلص منها ومن جهة نظر البيئة تعتبر خطرا إبتداءا من الوقت الذي تحدث علاقة بينها وبين البيئة [1].

I-2-2- تعريف النفايات حسب القانون الجزائري

كما نجد التعريف الوارد في المادة 3 من القانون المتعلق بتسيير النفايات ومراقبتها (19-01) المؤرخ في 12 – 12-2001، حيث يعرف النفايات كما يلي " كل البقايا الناتجة عن عمليات الإنتاج أو التحويل أو الإستعمال وبصفة أعم كل مادة أو منتوج وكل منقول يقوم المالك أو الحائز بالتخلص منه وإزالته " الشكل(I-1)[2] .

الشكل(I–1): تمثل النفايات الصلبة[3].

I–3– تصنيف النفايات

إن تصنيف النفايات يسمح لنا بالتعرف على النفايات وتحديد الطرق المثلى لمعالجتها، ولإحصاء كامل لأنواع النفايات يجب علينا إتباع تصنيف معين ويكمن المشكل في أنه يمكن لنوع محدد من النفايات أن يصنف إلى عدة تصنيفات وذلك حسب المعيار الذي يأخذه في تصنيف خاص.

I–3–1– التصنيف حسب القانون الجزائري

الإصدار رقم (19–01) المؤرخ في 27 رمضان 1422 الموافق لـ 12 ديسمبر2001، الذي يتعلق بتسيير النفايات ومراقبتها وإزالتها إلى:

– النفايات الخاصة بما فيها النفايات الخاصة الخطرة.

–النفايات المنزلية وما شابهها.

– النفايات الهامدة.[2]

I–3–2– تصنيف حسب الجمعية البرلمانية للإتحاد من أجل المتوسط

1–نفايات التغليف: مثل البلاستيك والورق وغيرها

2- النفايات السريرية: ويقصد بها النفايات الناتجة عن الرعاية الصحية وهي نفايات خطيرة كونها قد تحمل العدوى وجراثيم خطيرة.

3- النفايات الزراعية: وهي فضلات البساتين والحدائق وكل ما ينتج عن الأنشطة الزراعية وتشمل أيضا المخصبات والمبيدات.

4- النفايات الكهربائية الإلكترونية: وهي نفايات عصرية وبدأت في التزايد بكثرة في السنوات الأخيرة وهي عبارة عن أجهزة تالفة وتحتوي على مواد خطرة كالمعادن الثقيلة وقد تجد 60 مادة في الإلكترونيات المركبة، لأنها تعتمد في تصنيعها على العديد من المواد الأولية .

5- النفايات الصناعية: وهي مخلفات الصناعة كمخلفات التعدين والمعالجة ومنها عدة أصناف:

- نفايات سامة.

- نفايات كيميائية.

- نفايات صلبة صناعية.

- نفايات صلبة بلدية.

6 - نفايات المنازل الخطرة: وهي المواد التي تجمع من المنازل ونجد فيها مواد سامة أو قابلة للإشتعال مثل بقايا الطلاء ومواد التنظيف والزيوت والبطاريات والمبيدات الحشرية، والتي تحتاج إلى عناية كبيرة عند التخلص منها[4].

I- 3-2- معايير تصنيف النفايات حسب ما جاء في دراسة الباحثة (سعيدي،2012)

هناك أربعة معايير لتصنيف النفايات حسب طبيعتها وطرق معالجتها وسلوكها ومصدرها وفيما يلي جدول يلخص أنواع النفايات حسب كل معيار من المعايير المذكورة وقد أضفنا بعض ما يشمله كل نوع من النفايات الجدول (I-1).

الجدول (I-1): أنواع النفايات حسب المعيار الذي يأخذه التصنيف [5] .

المعيار	التصنيف	الأمثلة
طبيعة النفايات طبيعة فيزيائية	صلبة	بقايا طعام أثاث تالف
	سائلة	زيوت سيارة الصرف الصحي
	غازية	دخان السيارات ودخان المصانع
طرق المعالجة	هامدة	فضلات البناء وأكوام الاتربة
	منزلية	مخلفات المنازل و بقايا الطعام و اثاث تالف
	خاصة	نفايات المستشفيات
	خطرة	مركبات كيميائية
سلوك النفايات	هامدة	مخلفات الهدم والبناء
	سامة	مواد كيميائية
	قابلة للتخمر	مواد عضوية
المصدر	صناعية	مخلفات المصانع وغازات وسوائل
	نووية	فضلات ناتجة عن معالجة اليورانيوم وغيره
	حضرية	مخلفات المنازل والمستشفيات
	إشعاعية	نواتج التجارب النووية ونفايات طبية
	زراعية	أوراق الأشجار وأغصان ومبيدات ومخصبات

I-4 - خصائص النفايات

تتميز النفايات بأربعة معايير أساسية: الكثافة، محتوى الرطوبة، القيمة الحرارية، نسبة الكربون إلى الأزوت (C/N).

I-4- 1- الكثافة

وهي نسبة الحجم إلى الكتلة تبين لنا العلاقة بين كتلة النفاية والحجم الذي تشغله، وهي ذات تأثير كبير على حجم وسائل جمع وتخزين النفايات وتتغير الكثافة خلال كل مراحل المعالجة التي تتعرض لها النفايات بداية من مكان إنتاجها إلى مكان التخلص منها وتتعين الكثافة في كل من:

- ✓ سلة المهملات
- ✓ حاويات النفايات

✓ في حفر المفرغة.

I-4-2- درجة الرطوبة

تحتوي القمامة على كمية كافية من المياه تختلف بإختلاف الفصول والبيئة المحيطة. هذه المياه لها تأثير كبير على سرعة تحلل المواد التي تحتويها وعلى القيمة الحرارية للنفايات.

I-4-3- القيمة الحرارية

تعرف القدرة الحرارية في النفايات بكمية الحرارة المنبعثة من إحتراق وحدة كتلة من النفايات الخام وكقاعدة عامة فإنه بقدر ما يزداد محتوى الماء في النفاية بقدر ما تنخفض القدرة الحرارية الدنيا.

كما أن الرطوبة والقدرة الحرارية يعتبران عنصران رئيسيان لإختيار طريقة المعالجة الترميد أو التسميد.

وتنقسم القيمة الحرارية إلى نوعين هما:

أ- القيمة الحرارية الكبرى: تأخذ بعين الإعتبار كمية الحرارة تبخر المياه الواردة في النفايات أثناء الإحتراق

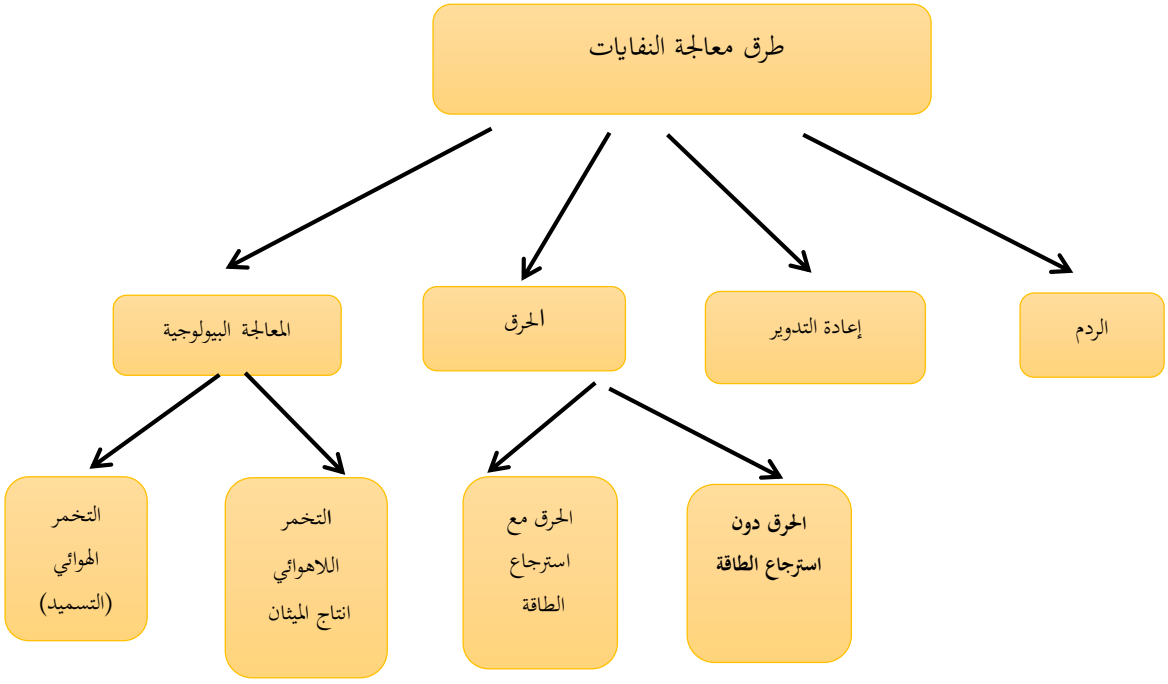
ب- القيمة الحرارية الصغرى: لاتأخذ بعين الإعتبار حرارة تبخر هذه المياه أثناء الإحتراق.

I-4-4- نسبة الكربون إلى الأزوت(C/N)

تم إختيار نسبة C/N كمعيار جودة للمنتجات التي تم الحصول عليها من خلال تحويل النفايات إلى سماد [6].

I-5- طرق معالجة النفايات

تعددت وإختلفت طرق معالجة النفايات ونلخص أهمها في المخطط التالي الشكل (I-2).



الشكل (I-2): مخطط يوضح مختلف أنواع معالجة النفايات.

I-5-1- الردم في مدافن أو مراكز تخزين النفايات

I-5-1-1- تعريف

مدفن النفاية هو وسيلة لتخزين النفايات "على الأرض". وقد تطور تصميم مدافن النفايات تدريجيا من الفتحات الملتوية للمحاجر القديمة التي كانت تملأ النفايات تدريجيا دون إحتياطات خاصة إلى مدافن النفايات التقنية الحديثة لدينا CET وهو كل مركز مهيأ ومشغل بطريقة تسمح بدفن النفايات دون الإضرار بالبيئة ولا صحة المواطنين حيث يتم طمر النفايات في حفر ترابية كبيرة مجهزة وتغطيتها بطبقة من التربة بهدف إمتصاص الرطوبة والتقليل من إنتشار الروائح والقوارض والحشرات وتستعمل المعدات الثقيلة لضغط هذه الطبقة إلى أقل سمك ممكن وتستمر هذه العملية بالتناوب بين طبقات من النفايات والتراب إلى غاية إمتلاء الحوض .[7]

I-5-1-2- أصناف مراكز الردم التقني

- ✓ الصنف1: وهي مراكز الردم للنفايات الخطيرة

- ✓ الصنف2: وهي مراكز الردم الموجهة لمعالجة النفايات المنزلية والنفايات المشابهة لها.
- ✓ الصنف 3: وهي مراكز الردم الموجهة لمعالجة النفايات الصناعية (النفايات الخاصة والنفايات الطبية وغيرها .....) [8].

I-5-2- الحرق (ترميد النفاية)

يستخدم الترميد كعلاج لمجموعة واسعة جدا من النفايات وهو أكسدة المواد القابلة للاحتراق التي تحتويها النفايات. والنفايات عموما مواد شديدة التباين. تتألف أساسا من المواد العضوية والمعادن والفلزات والمياه. وأثناء الترميد يولد غاز المداخن الذي سيحتوي على معظم طاقة الوقود المتاحة في شكل حرارة وستحترق المواد العضوية القابلة للإحتراق في النفايات عندما تصل درجة حرارة الإشتعال المطلوبة وتتلامس مع الأكسجين .

إن الهدف من ترميد النفايات هو معالجة النفايات على النحو الذي يقلل من حجمها وخطورتها في حين يتم إلتقاط أو تدمير المواد الضارة المحتملة التي يتم إطلاقها أثناء الترميد. كما يمكن أن توفر عمليات الترميد وسيلة لإعادة تدوير الطاقة والمعادن و/أو المحتوى الكيميائي للنفايات[9] .

I-5-2-1- أنواع عمليات الحرق

لقد تعددت أنواع الإحتراق حسب الغرض المرجو من ذلك. إلا أنه يمكن أن نميز طريقتين هما:

a- الحرق دون إسترجاع الطاقة

هذه الطريقة تتمثل في حرق النفايات في أفران خاصة مكيفة حسب ميزاتها (نسبة الرطوبة، الإستطاعة الحرارية ..) ونستطيع الإستفادة من هذه الطريقة من خلال المواد التي تتركها ممثلة في نفايات الفحم والحديد، والتي تمثل حوالي 10% من الحجم ومن 25إلى 30% من وزن النفاية المحترقة، وهي إما توجه نحو المفرغة أو إستعادة أجزاء منها.

b- الحرق مع إسترجاع الطاقة

نفس الإجراء السابق ولكن نضيف جهاز لإسترجاع الحرارة المنبعثة، من إحتراق القمامة يمكن إسترجاعها كبخار عن طريق مرور الدخان عبر أنابيب المسخنات، تستخدم هذه الطاقة من أجل التسخين الحضري وإنتاج الكهرباء وإستعمالات أخرى. [10]

I-5-2-2- الخطوات الرئيسية في عملية الترميد

a- التجفيف والتحلل

هنا يتطور المحتوى المتطاير (مثل الهيدروكربونات) عند درجات حرارة تتراوح بين 100و300 درجة مئوية. ولا تتطلب عملية التجفيف والتحلل عوامل مؤكسدة وتعتمد فقط على الحرارة المقدمة.

b- التحلل الحراري والتغويز

التحلل الحراري هو التحلل الإضافي للمواد العضوية في غياب عامل مؤكسد عند درجة حرارة 250-700 درجة مئوية تقريبا. تغويز المخلفات الكربونية هو تفاعل المخلفات مع بخار الماء وثاني أكسيد الكربون عند درجات حرارة تتراوح عادة بين 500-1000 درجة مئوية. وهكذا تنتقل المادة العضوية الصلبة إلى مرحلة الغاز وبالإضافة إلى درجة الحرارة يدعم الماء والبخار والأكسجين هذا التفاعل.

c- الأكسدة

تتأكسد الغازات القابلة للإحتراق التي نشأت في الخطوات السابقة وفقا لطريقة الترميد المختارة عند درجات حرارة غاز المداخن عموما بين 800 و1450درجة مئوية.[10]

I-5-3- إعادة التدوير

يشير مصطلح إعادة التدوير إلى إعادة معالجة النفايات غير العضوية في المنتجات، لذلك يتضمن التدوير إدارة المواد المطروحة ليست كنفاية بل كمصدر. وعملية التدوير يقصد بها مدى إمكانية الإستفادة من نفاية ما، المفروض أنها في طريقها إلى التخلص منها بأي وسيلة من وسائل التخلص المعروفة.[11]

I -5-3-1- المواد القابلة للتدوير

من بين النفايات الصلبة التي يمكن أن تسترجع:

- ✓ الورق المقوى: يستعمل لتغليف أو يعاد إستعماله كمواد أولية.
- ✓ الزجاج: القارورات يمكن أن يعاد إستعمالها بعد أن تنظف وتطهر إما بقايا الزجاج يمكن أن تصلح كمواد أولية لتصنيع الزجاج الجديد.

- ✓ البلاستيك: يمكن أن يعاد إنتاجه في شكل حبيبات كمادة أولية لإعادة الإستعمال.
- ✓ القماش: إعادة الإستعمال الألبسة المستعملة أو إعادة تثمينها في الصناعة كمادة أولية .[11]

I-5-4- المعالجة البيولوجية

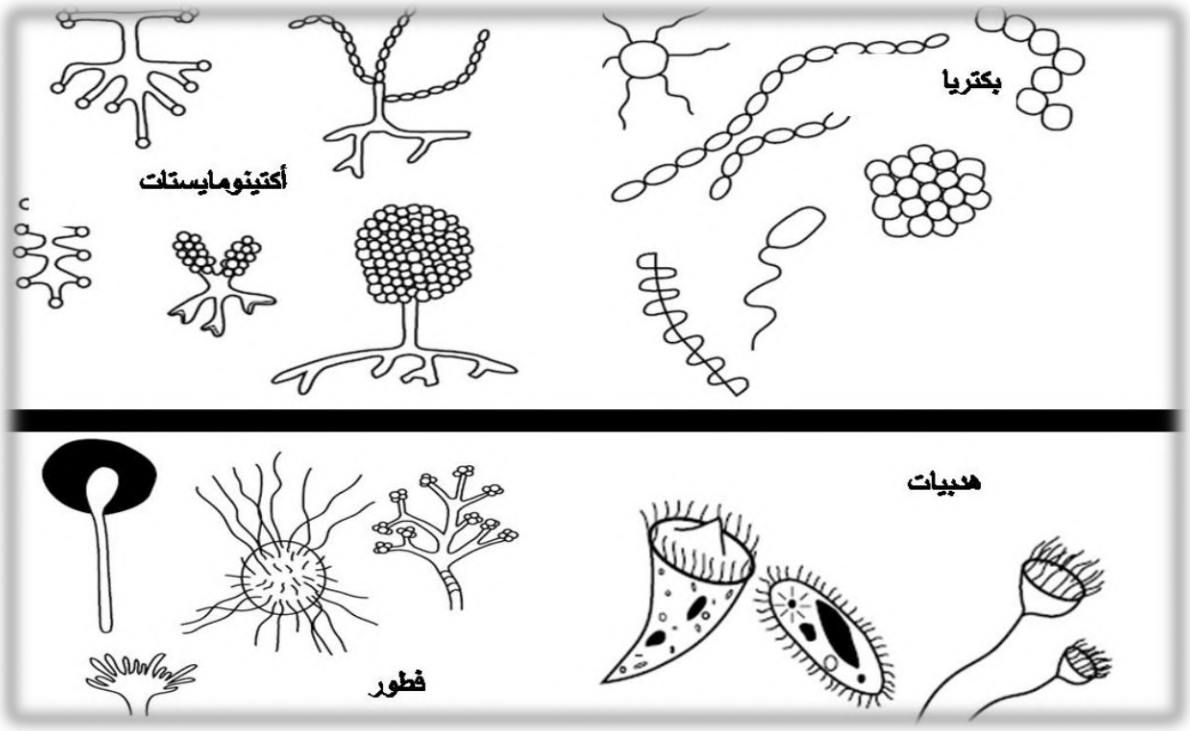
تستخدم المعالجة البيولوجية الكائنات الحية الدقيقة لتفكيك النفايات العضوية وثاني أكسيد الكربون والمواد غير العضوية البسيطة إلى مواد عضوية أبسط مثل الألديهيدات والأحماض. هناك العديد من العلاجات البيولوجية المستخدمة لمعالجة النفايات مثل العلاجات الهوائية والعلاجات اللاهوائية...[12].

I-5-4-1- التخمر الهوائي(التسميد)

تعرف عملية الأسمدة الهوائية بأنها عملية تحويل النفايات العضوية القابلة للتفكك البيولوجي بواسطة الأحياء الدقيقة الهوائية والمخيرة الموضحة الشكل(I-3). وضمن شروط وظروف معينة ومحددة إلى مادة معقمة وصحية وصالحة للإستخدامات الزراعية الأمنة تسمى بالسماد العضوي أو الكمبوست الغني بالمواد الدبالية .[12]

يمكن تمثيل التفاعل العام لتفكك المادة العضوية أثناء عملية التسميد بواسطة الأحياء الدقيقة الهوائية والمخيرة بالمعادلة التالية:

$$\text{مادة عضوية} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + ([N] + [S] + [P]) + \text{Energie}$$ [13].



الشكل(I–3): الأحياء الدقيقة الهوائية المفككة للمواد العضوية[13]..

I-5-4-2- التخمر اللاهوائي (إنتاج الميثان)

الهضم اللاهوائي هو عملية بيولوجية تسمح بإستعادة المادة العضوية عن طريق إنتاج طاقة متجددة هي الغاز الحيوي والهضم المستخدمة كأسمدة.

في غياب الأكسجين الهضم اللاهوائي، تتحلل المادة العضوية بفعل العمل المشترك لعدة أنواع من الكائنات الحية الدقيقة، وتؤدي سلسلة من ردود الفعل البيولوجية إلى تكوين الغاز الحيوي (المكون أساسا من الميثان) والهضم. ويمكن تحويل الغاز الحيوي إلى كهرباء وحرارة، كما يمكن تطبيق المادة الهضمية على الحقول الزراعية كأسمدة [14] الشكل(I-4).

الشكل(I–4) : وحدة إنتاج غاز الميثان (البيو غاز)[13].

[01] الدكتور احمد عبد الوهاب، قضايا النفايات في الوطن العربي، الدار العربية لمنشر والتوزيع، القاهرة، 1997،ص 27، شوهد في 2021/03/10.

[02] القانون الجزائري الإصدار رقم : 19-01 المتعلق بتسيير النفايات و مراقبتها وإزالتها المؤرخ في 27 رمضان الموافق ل 1442.

[04] الجمعية البرلمانية للإتحاد من أجل المتوسط.

[05] سعيدي. ن ; 2012. تسيير النفايات الحضرية في الجزائر بين الواقع والفاعلية المطلوبة. دراسة حالة الجزائر العاصمة. مذكرة لنيل شهادة الماجستير في العلوم الاقتصادية جامعة بومرداس.

[08]مفتشية البيئة: محاضرة حول إنشاء وتسيير المزابل والمراقبة، سوق أهراس، 1998، ص10.

[10]حدة فروحات,& محمد حمزة بن قرينة. واقع التسيير المستدام للنفايات دراسة حالة المؤسسة العمومية الولائية لتسيير مراكز الردم التقني بورقلة.

[11]أحمد عبد الوهاب، تكنولوجيا تدوير النفايات، الطبعة الثانية، دار العربية للنشر والتوزيع، الإسكندرية، 1998، ص 27، 109، 120 شوهد في 2021/3/15 .

[13] د. كوكب حسين حربا، المعالجة البيولوجية للنفايات العضوية، الفصل الثامن، ص 4، 6، 8، 34، 37، 39.

[03] https://www.google.dz/search?qlestd%C3%oA9chets+m%C3%A9nagers&espv-2&biw 1366&bih 667&source lnms&tbm isch&sa X&ved OahUKEwi3t6CN3bnNAhWM 7XQKHR36AYUQ AUIBIgB tbm-isch&q lestd%C3A9chets+solides&imger=aNGee FmpNZKbkM%3A,2016.

[06] Belaib, A.,& Touati, O.G.(2012). Etude de la gestion et de la valorisation par compostage des déchets organiques genres par le restaurant universitaire Aiche Oum Elmounminine.

[07] MLOUKI,I.,AISSAOUI,A.,& DAHOU, M.E.A.(2017). L'effet de prétraitement chimique alcalin par KOH sur la production du biogaz à partir des boues de le station de lagunage de la ville d'arar (doctoral dissertation, Université Ahmed Draia-ADRAR).

[09] DEROUICHE,S.,& BEN AMOR, M.(2015). Valorisation des déchets ménagers et assimilés dans la région d'oued Souf.

[12] Almansour, E. (2011). Bilans énergétiques et environnementaux de filières biogaz: Approche par filière-type (Doctoral dissertation, Bordeaux 1).

[14] René Molleta, (2009), La méthanisation, Edition Tec & Doc, p 3-4.

الفصل الثاني

الهضم الاسوائي

II-1- مقدمة

تنتج النفايات العضوية عن العديد من المصادر كالصناعات الغذائية والزراعية والمخلفات المنزلية، وتتميز بإحتوائها على مواد قابلة للتخمر في الهواء أو في غياب الهواء، مما يجعلها مصدرا ملوثا للبيئة. وتتضح الصورة حول مدى الخطر الذي تمثله هذه النفايات من خلال الكميات المهولة التي ينتجها البشر سنويا. وعادة ما يكون مصير هذه النفايات هو الإهمال أو الحرق، وهو ما يشكل عبئا إضافيا على البيئة بسبب الغازات التي تصدر منها خلال عملية الحرق، وفي إطار السعي لحل مشكلة هذه النفايات والحد من أضرارها قدر الإمكان وتثمين مكوناتها، عمدت العديد من الدول إلى تشييد محطات لإنتاج الغاز الحيوي من هذه النفايات باستخدام تقنية الهضم اللاهوائي، وهو عملية معقدة، متعددة المراحل بوساطة ميكروبية، يحدثها خلالها تحلل المادة العضوية، من خلال العمل المشترك لمجموعة متنوعة من الكائنات الحية الدقيقة من أجل التمثيل الغذائي اللاهوائي مما يؤدي إلى التحول للمادة العضوية وإنتاج الميثان (CH_4) وثاني أكسيد الكربون (CO_2).

II -2- الجانب التاريخي

تم الإبلاغ عن الإهتمام العلمي بالغازات الناتجة عن التحلل الحيوي للمواد العضوية لأول مرة في القرن السادس عشر بواسطة Stephen hale et Robert Boyle اللذان لاحظا أن غازا قابلا للإشتعال ينطلق من الجداول والبحيرات.

في عام 1808 إكتشفHumphry davy أن غاز الميثان الموجود في الغازات يتم إنتاجه بالقرب من روث الماشية [1].

تم بناء أول هاضم لا هوائي في عام 1859 في بومباي، الهند.

في سنة 1884 أعلن U.Gayon تلميذ لويس باستور، أثناء عرض عمله أن هذا الغاز الناتج عن التخمر هو مصدر طاقة قابلة للاستخدام للتدفئة والإضاءة.

في عام 1985 تم تطوير التكنولوجيا في إنجلترا، بحيث تم إستخدام خزان الصرف الصحي لإنتاج الغاز لإضاءة الطرق.

من خلال البحث العلمي، اكتسب الهضم اللاهوائي الإعتراف في ثلاثينيات القرن الماضي، وأدى هذا البحث إلى اكتشاف البكتيريا اللاهوائية.

تم إجراء المزيد من الأبحاث لدراسة الظروف التي يمكن أن تنمو وتتكاثر بها البكتريا المولدة للميثان.

تم تطوير هذا العمل خلال الحرب العالمية الثانية في ألمانيا وفي فرنسا في المزارع حيث قاموا بتطبيق الهضم اللاهوائي لنفايات الماشية لإنتاج السماد الطبيعي.

بعد أزمة النفط عام 1973م، تحول العالم إلى إنتاج الوقود الحيوي والغاز الحيوي للتخفيف من الإعتماد على الطاقة التقليدية والتي هي النفط والغاز الطبيعي.[2]

II-3- تعريف عملية الهضم اللاهوائي

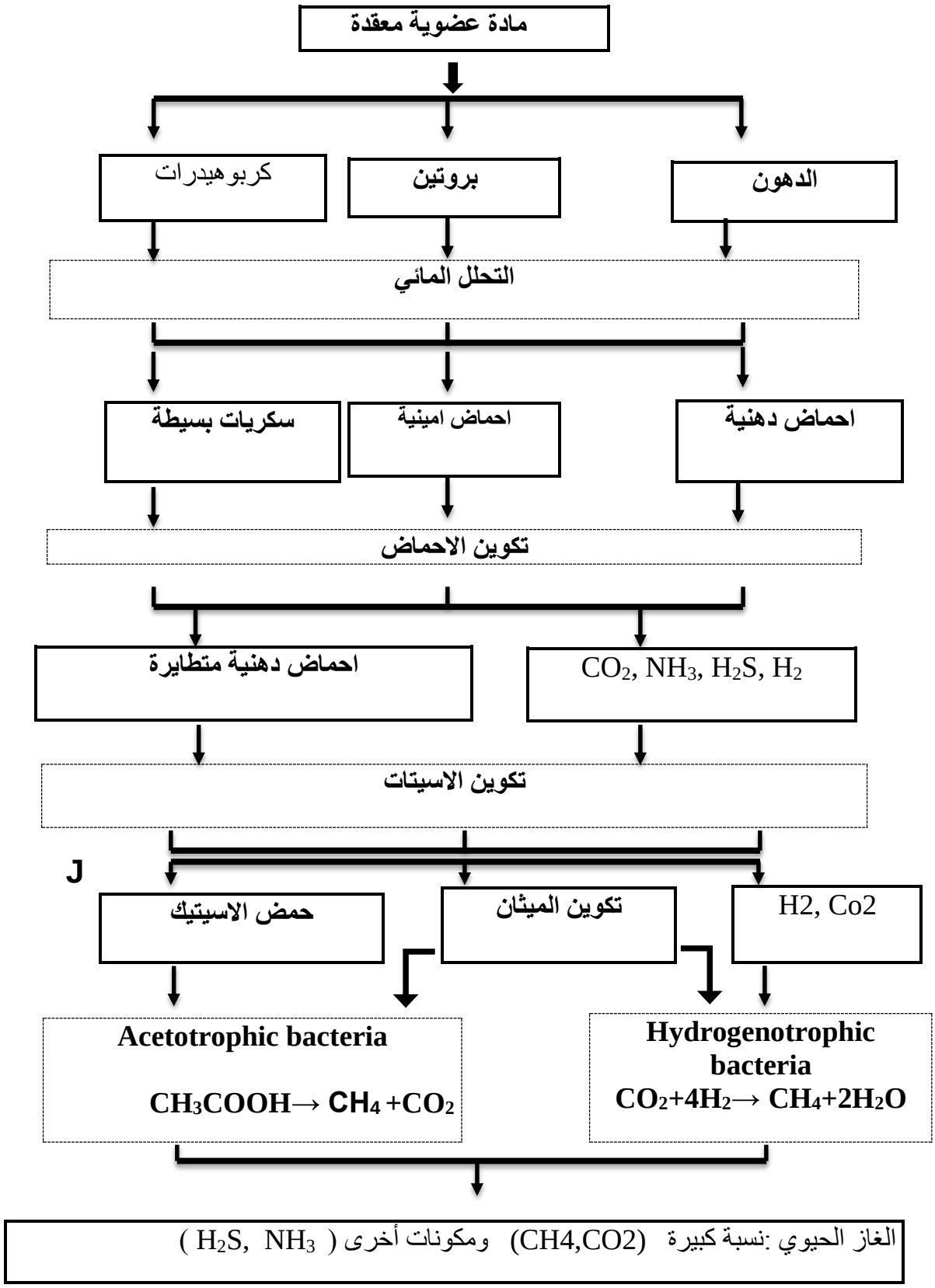
الهضم اللاهوائي هو عملية معقدة متعددة المراحل بوساطة ميكروبية، يحدث خلالها تحلل المادة العضوية، من خلال العمل المشترك لمجموعة متنوعة من الكائنات الحية الدقيقة. تحدث هذه العملية في غياب الأكسيجين، من أجل حدوث التمثيل الغذائي اللاهوائي مما يؤدي إلى التحول الحيوي للمادة العضوية وإنتاج الميثان وثاني أكسيد الكربون.

المنتجات الرئيسية الناتجة عن الهضم اللاهوائي هي الغاز الحيوي. والذي يمكن إستخدامه في مجموعة متنوعة من القطاعات (السيارات، التسرب في شبكة الغاز الطبيعي، والتوليد المشترك للحرارة والكهرباء، وما إلى ذلك)، في حين أن المادة المغذية) الهضم (التي تنتج أيضا من هذه العملية يمكن إستخدامها كمكيف للتربة أو كسماد لمعالجتها بشكل صحيح.

الهضم اللاهوائي هو تقنية فعالة نسبيا من حيث التكلفة لتوليد الطاقة المتجددة ومعالجة مجرى النفايات. [3]

II-4- مراحل عملية الهضم اللاهوائي

تتكون عملية من سلسلة من مراحل التمثيل الغذائي وهي: التحلل المائي، تكوين الحمض، تكوين الأسيتات، تكوين الميثان كما يوضح الشكل (II – 1).



الشكل $(II-1)$: يوضح مراحل عملية الهضم اللاهوائي للمواد العضوية المعقدة[4].

II-4-1- التحلل المائي

هو المرحلة الأولى من عملية الهضم اللاهوائي حيث يتم تحويل المركبات الجزيئية المعقدة مثل الكربوهيدرات والبروتينات والأحماض الدهنية إلى مركبات جزيئية أبسط وقابلة للذوبان مثل السكريات والأحماض الأمينية والأحماض الدهنية. تمثل المعادلة (1) رد الفعل الكلي في هذه المرحلة.

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

الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن التحلل المائي تطلق أنزيمات خارج الخلية والتي تسبب حدوث التحول. يعتبر التحلل المائي للمركبات العضوية المعقدة مثل المواد lingnocelluloses بطيئا جدا وهو خطوة تحديد المعدل أثناء عملية الهضم اللاهوائي.

II-4-2- تكوين الحمض وتكوين الأسيتات

في المرحلة الثانية لعملية الهضم اللاهوائي وهي تكوين الحمض، تقوم مجموعة كبيرة من البكتريا اللاهوائية بتحول منتجات التحلل المائي إلى أشكال أخرى لإستخدامها في المراحل اللاحقة. على سبيل المثال: يتم تحويل السكريات والأحماض الأمينية والأحماض الدهنية المتطايرة (VFA) والكحول وبعض المركبات غيرعضوية مثل: CO_2 وH_2، وH_2S NH_3 , تمثل المعادلات (2) و(3) و(4) التفاعلات في هذه المرحلة.

$$C_6H_{12}O_6 \leftrightarrow 2CH_3\,CH_2OH + 2CO_2 \quad (2)$$

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \leftrightarrow 2CH_3\,CH_2CooH + 2H_2O \quad (3)$$

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CH_3\,CooH \quad (4)$$

تكوين الأسيتات هو المرحلة الثالثة من مراحل الهضم اللاهوائي حيث تقوم بكتيريا الأسيتات بتحويل نواتج تكوين الحمض إلى أسيتات وهيدروجين وثاني أكسيد الكربون. ويتم تمثيل التفاعلات الكلية في هذه المرحلة بواسطة المعادلات (5) و(6) و(7).

$$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3\,CCOOH + CO_2 + 3H_2 \quad (5)$$

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

$$CH_3COO^- + 4H_2O \rightarrow 2HCO^-_3 + H^+ + 4H_2 \quad (7)$$

الأنواع المختلفة من VFA مثل حمض الاستيك والبروبيونيك والفورميك والبنتانويك هي المنتجات الوسيطة للمرحلتين الثانية والثالثة، تكوين الحمض وتكوين الأسينات من الهضم اللاهوائي.

هذه VFA مهمة أثناء تقييم أداء ورصد إستقرار عمليات الهضم اللاهوائي. عادة ما يكون تراكم VFA نتيجة عدم التوازن بين منتجي الأحماض في مراحل تكوين الحمض ومستهلكي الحمض في الطور الميثاني اللاحق.

يمكن أن تؤدي التركيزات العالية من VFA أيضا إلى إنخفاض الأس الهيدروجيني في المفاعلات وهذا أمر غير موالي لمولدات الميثانوجينات.

II-4-3- تكوين الميثان

تكوين الميثان هو المرحلة الأيضية النهائية لعملية الهضم اللاهوائي حيث يمكن تحقيق تدهور المواد العضوية وتكوين الغاز الحيوي بشكل رئيسي عن طريق الميثانوجينات acetotrophic methanogens وhydrogenotrophic methanogens عادة يتوفر الهيدروجين بكمية محدودة في أنظمة الهضم اللاهوائي، وبالتالي فإن غالبية الميثان تقريبا 70% مشتق من الأسيتات وأقل من 30% يتم إنتاجه بواسطة methanogens acetotrophic تحلل الأسيتات إلى ميثان وثاني أكسيد الكربون، تستخدمhydrogenotrophic methanogens ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين لإنتاج الميثان كما توضح المعادلات (8) و(9). ويمكن أيضا تكون الميثان من الإيثانول عن طريق أكسدة الركيزة كما توضح المعادلة (10)[4] .

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

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

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

II-5- النفايات والمواد العضوية المستخدمة في الهضم اللاهوائي

يتم إستخدام مجموعة متنوعة من المواد العضوية الموجود في النفايات البلدية والصناعية والمنزلية كمواد خام في الهضم اللاهوائي. تختلف تركيبة وخصائص المواد المستخدمة بشكل كبير وتؤثر بشكل كبير على أداء AD.

II-5-1- النفايات البلدية الصلبة والمنزلية

تم إدخال فصل الصدر للنفايات الصلبة البلدية أثناء جمعها وإستعادة الجزء القابل لتحلل البيولوجي. لذلك أصبح AD للنفايات الصلبة للبلدية ممكنا. إذ لم يتم فرز النفايات في وقت التجميع، فتكون المعالجة المسبقة الضرورية قبل عملية AD لإزالة بعض العناصر غير المناسبة للهضم مثل: المعادن الثقيلة بالإضافة إلى ذلك النفايات المنزلية تحتوي على مستويات عالية من المواد العضوية القابلة للذوبان والتي يمكن سهولة تحويلها إلى أحماض دهنية متطايرة في حالة الإنتاج المفرط للأحماض الدهنية المتطايرة في انخفاض الرقم الهيدروجيني وتثبيط عملية تكوين الميثان.

II-5-2- نفايات صناعة الأغذية

بالرغم من دور هذه النفايات في زيادة إنتاج الميثان لاحتوائها على نسبة دهون عالية، إلا أنها تسبب مشكلة الهضم اللاهوائي بسبب تثبيطها للنشاط الميكروبي المرتبط بوجود سلال طويلة من الأحماض الدهنية التي يصعب تحللها.

يتم هضم هذه المواد بشكل عام في وجود مواد أخرى لتقليل تركيزات الأحماض الدهنية المتطايرة والدهون في الهضم.

II-5-3- النفايات الزراعية ومحاصيل الطاقة

النفايات الزراعية تشكل مادة خام مثيرة للإهتمام للهضم اللاهوائي نظرا لإمكاناتها الميثانية وتكلفتها المنخفضة فيما يتعلق بمحاصيل الطاقة، تعتبر الذرة وعباد الشمس أكثر المحاصيل إستخداما في إنتاج الميثان ، وتجدر الإشارة إلى أن الهضم اللاهوائي لمحاصيل الطاقة هو أسلوب دقيق يتطلب إختيارا جيدا لأنواع المحاصيل التي تعد العامل الرئيسي الذي يحدد إنتاج الميثان L عملية الهضم.

II-5-4-المخلفات الحيوانية

تعتبر المخلفات الحيوانية من المواد الخام الأكثر استخداما في الهضم اللاهوائي نظرا لتوافره ومحتواه العالي من النيتروجين الملائم لتطوير الكائنات الحية الدقيقة التي تضمن التقدم السليم لعملية الهضم اللاهوائي. المخلفات الحيوانية بشكل عام، تتكون بشكل أساسي من الكربوهيدرات والبروتينات والدهون ولكنها تحتوي أيضا بشكل عام على محتويات عالية من المركبات الخشبية التي يصعب تحللها، علاوة على ذلك، تحتوي بعض النفايات من هذا النوع على تركيزات الأمونيا إلى قد تتجاوز عتبة تثبيط الهضم اللاهوائي، وبالتالي تمنع التقدم السليم لعملية الهضم اللاهوائي .

II-5-5- الحمأة الناتجة من محطات معالجة مياه الصّرف الصّحي AD

هو تقنية صديقة للبيئة من الناحية الإقتصادية والبيئية لمعالجة كميات ضخمة من الحماة حيث أن لديها القدرة على تقليل حمل المواد الصلبة الحيوية من الحمأة. يعمل الهضم اللاهوائي على تثبيت الحمأة وتقليل مسببات أمراض الكائنات الحية الدقيقة وإبطال نشاطها.

يحتوي الهضم اللاهوائي للحمأة على أهم إمكانات إنتاج الغاز الحيوي من بين جميع الأنواع الأخرى من الهضم اللاهوائي ، يعتمد هذا الإنتاج بشكل كبير على تكوين الحمأة [5].

II-6- العوامل والمتغيّرات التي تؤثر في عملية الهضم اللاهوائي

II-6-1- طبيعة الرّكائز nature of substrates

يحدد تكوين الركائز المستخدمة تكوين الغاز الحيوي. في الواقع، في الحالة النظرية حيث سيتم تحويل جميع الركائز إلى غاز حيوي، تؤدي الكربوهيدرات إلى إنتاج غاز حيوي يتكوّن من (50%) CH_4 و(50%) CO_2، بالنسبة للبروتينات من المتوقع عموما وجود غاز حيوي يتكون من حوالي (60%) CH_4 و(40%) CO_2.

يتم إنتاج الغاز الحيوي الذي يحتوي على (72%) من CH_4 و(28%) من CO_2 أثناء ل الهضم اللاهوائي لدهون. مع ذلك، وفي الممارسة العلمية، لوحظ أيضا إنتاج غير مهم لكبرتيد الهيدروجين (H_2S) والأمونيا (NH_3). كبريتيد الهيدروجين ضار بلمحركات الحرارية للمولدات المشتركة التي تحرق الغاز الحيوي وتسمح بإنتاج الكهرباء والحرارة. وبالتالي فإن إستخدام ركائز معينة مثل الريش من المسالخ، يؤدي إلى إنتاج كبير من H_2S.

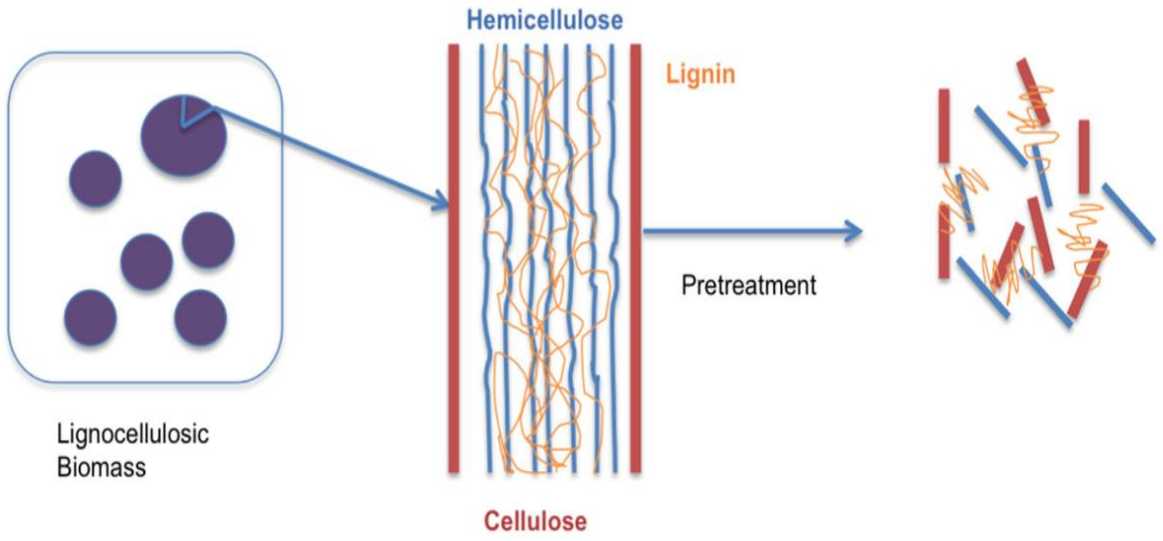
يؤدي التحلل المائي لليوريا والبروتينات من المواد العضوية إلى تكوين الأمونيا أثناء عملية الهضم اللاهوائي. هذا العنصر ضروري لتطوير الميكروبات ويسمح بتخزين جزء من الحموضة الناتجة عن تكوين VFA، من خلال التغيير من شكله الحر NH_3 إلى شكله المتأين NH_4^+. ومع ذلك، يمكن أن يؤدي التركيز العالي جدا من الأمونيا إلى تثبيط عملية الهضم اللاهوائي وبالتالي إلى إنخفاض أو حتى توقف إنتاج الغاز الحيوي.

يمكن أن تؤثر المكونات الأخرى المرتبطة بطبيعة الركائز المختلفة المستخدمة على عملية الهضم اللاهوائي ، في الواقع، تعتبر بعض المعادن مثل Cr، Zn، Fe، Ni،Co.

يمكن العثور عليها بكميات كبيرة في النفايات العضوية الصناعية أو الحمأة من محطات معالجة مياه الصرف الصحي ضرورية للنشاط الإنزيمي للعتائق الميثانية، وبالتالي يمكن أن يظهر تثبيط إنتاج الميثان في حالة حدوث نقص في بعض هذه المعادن الثقيلة، ولذلك ثبت أنّ خصائص الركيزة المستخدمة في الهضم اللاهوائي هو عامل مهم لاستعادة الطاقة لهذا الأخير .[6]

II-6-2- المعالجة المسبقة للركيزة

نظرا للهيكل الهرمي المعقد والطابع المتمرد للنفايات العضوية المعقدة مثل المواد Lignacellulosic الشكل (II – 2) فإن خطوات المعالجة المسبقة تمثل التحدي الأكثر أهمية لإستخدام الكتلة الحيوية وهي إلزامية من أجل تحقيق أفضل الشروط لإستغلال الكتلة الحيوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة. تنقسم المعالجات المسبقة للكتلة الحيوية عادة إلى أربع فئات: الميكانيكية والحرارية والكيميائية والبيولوجية ملخص لإيجابيات وسلبيات كل خيار من خيارات المعالجة المسبقة (في الجدول (II – 1) يجب أن تعتمد إختيار تقنية معينة على تحليل التكلفة والمنفعة الذي يأخذ في الإعتبار زيادة إنتاج الميثان المحتملة وتكاليف الطاقة وكذلك الخصائص الفيزيائية والكيميائية للركيزة، في الواقع تعد النسب المختلفة بين السليلوز والهيميسليلوز واللجنين عاملا مهما. على سبيل المثال، تظهر النفايات الزراعية نسب عالية من اللجنين مقارنة بنفايات الطعام، وبالتالي تتطلب خطوة معالجة مسبقة مختلفة وأكثر عدوانية.[7]



الشكل (II – 2) :تأثير المعالجة المسبقة على الكتلة الحيوية.[8] lignocellulosic

II-6-2-1- المعالجة الميكانيكية

وهي تقليل حجم الركيزة وتستخدم عدة طرق من عمليات الهدم لتطهير الجسيمات الصلبة، وزيادة مساحة السطح، وتقليل التبلور ودرجة عن طريق الطحن أو التقطيع أو تقنيات التفكك الميكانيكية الأخرى. ينتج عن حجم الجسيمات الأصغر إمكانية وصول أكبر إلى الركيزة بواسطة الكائنات الحية الدّقيقة اللاهوائية.

II-6-2-2- المعالجة الحرارية

يمكن تطبيق المعالجة الحرارية للكتلة الحيوية Lignacellulosic للنفايات العضوية قبل عملية الهضم اللاهوائي، تنتج درجات الحرارة المرتفعة ذوبان الجنين ويتحرر من هيكل السليلوز والهيميسليلوز قد يكون هذا الخيار مكلفا للغاية بسبب متطلبات الحرارة العالية، ومع ذلك في التطبيقات الصناعية يمكن تعويض التكاليف إذا تم إستخدام الغاز الحيوي المتولد كمصدر للحرارة.

II-6-2-3- المعالجة الكيمائية

تعد المعالجة الكيميائية المسبقة هي الأكثر إستخداما ففي إستغلال الكتلة الحيوية وتتحكم أساسا في إستخدام الأحماض أو القلويات.

II-6-2-4- المعالجة البيولوجية

تعتمد المعالجة البيولوجية المسبقة على إستغلال التمثيل الغذائي الميكرزبي مباشرة على الركيزة أو إضافة المنتجات الثانوية الميكروبية.[7]

الجدول $(II-1)$:ملخص لمزايا وعيوب استراتجيات المعالجة المسبقة.[4]

المعالجة المسبقة	المزايا	العيوب
الميكانيكة	• يؤدي تقليل حجم الجسيمات الى زيادة مساحة السطح المتاحة للكائنات الدقيقة مما يؤدي الى تحسين التحلل البيوجولي اللاهوائي . • يعزز الهضم السريع للنفايات العضوية القائمة على lignocellulosic	• قد تؤدي التخفيضات المفرطة في حجم الجسيمات الى انخفاض الاس الهيدروجيني مما يؤدي الى انخفاض انتاج الميثان • متطلبات عالية للطاقة وإمكانية حدوث تلوث الشوائب اثناء عملية تقليل حجم الجسيمات
حرارية	• تسريع ذوبان lignin في النفايات العضوية القائمة على lignocellulosic وتقصير وقت الاحتفاظ الهيدروليكي	• ارتفاع تكاليف التشغيل بسبب ارتفاع متطلبات الطاقة للتدفئة لتشغيل العملية • قد تؤدي درجات الحرارة المرتفعة الى تكوين روابط كيميائية
كيميائية	• المعالجة المسبقة الكيميائية تعزز إزالة lignin مما يعزز التلامس الأفضل للركائز والكائنات الحية الدقيقة • عند استخدامها على نطاق صغير ،فان المعالجة الكيميائية المسبقة لها تكاليف راسمالية منخفضة	• قد يؤدي استخدام المعالجة الكيميائية المسبقة الى تكوين منتجات مثبطة مثل المركبات الفينولية والاحماض الكربوكسيلية التي قد تمنع نمو الميثانوجينات • قد تؤدي المعالجة المسبقة للحمض الى تاكل المعدات التي قد يكون إصلاحه مكلفا للغاية • مطلب عالي التكلفة للمواد الكيميائية في انتاج الغاز الحيوي على نطاق واسع • قد تتطلب عملية الهضم الناتجة معالجة دقيقة بسبب المنتجات الثانوية المتكونة
بيولوجية	• يسهل إزالة lignin و hemicelluloses من النفايات العضوية القائمة على lignocellulosic مما يعزز الاتصال الأفضل للركائز والكائنات الحية الدقيقة	• قد تستغرق العملية عدة أسابيع الى شهور • بسبب الطبيعة الغير متجانسة للنفايات العضوية قد تكون هناك حاجة الى انزيمات محددة مختلفة .

• تتطلب بيئات معقمة	• بسبب انخفاض او عدم استخدام المواد الكيميائية ،هناك القليل من التاكل وتكوين المنتجات الثانوية • يمكن استخدامه في ظروف اكثر اعتدالا • قد يؤدي الى انتاج هضم امن باقل تكاليف التخلص • يعتبر صديقا للبيئة مع انخفاض تكاليف راس المال ومتطلبات الطاقة	

II-6-3- العناصر الغذائية

بعض العناصر مثل النتروجين والفسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والسيلنيوم والنيكل والزنك والألمنيوم والحديد، ضرورية لأداء العملية بشكل جيد لأنها ضرورية لنمو عدد كبير من الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن تدهور المركبات المختلفة الموجودة في النفايات العضوية. تمثل المغذيات الدقيقة الأساسية النيكل (Ni) والحديد (Fe) والزنك (Zn) لأنّ هذه الكينونات لبعض الكائنات الحية الدقيقة تلعب دورا مهما في الحفاظ على النشاط الأنزيمي. (Ni) مطلوب بسبب علاقته بالأنزيمات المساعدة مثل 430F، لأنه يعمل كعنصر مركزي، ويرتبط دور الحديد بنقل الألكترونات وتحويل Co_2 إلى 4CH. ثم العثور على تركيزات (Zn) في العتائق الميثانوجينية بترتيب 50-630 mg/l، وبالتالي من المتوقع أيضا أن يلعب الزنك دورا مهما، ومع ذلك تجدر الإشارة إلى أنه اعتمادا على التركيز ودرجة الحموضة وإمكانية الأكسدة والاختزال يمكن أن تنتج هذه المركبات تأثيرات مثبطة .[8]

II-6-4- الهضم المشترك

ظهر كبديل اقتصادي لتحسين عملية الهضم اللاهوائي ، فمثلا نفايات الطعام عبارة عن ركيزة قابلة للتحلل بسهولة تميل إلى تجميع كميات كبيرة من VFA، مما يؤدي إلى انخفاض pH، وكلها متغيرات ذات أهمية لأنها تؤثر على عملية انتاج الميثان، وبالتالي تعرض إنتاج الميثان للخطر.

يسمى هذا النوع من البدائل إلى الهضم المتزامن لإثنين أو أكثر من الركائز، مما يولد تأثيرات ناتجة عن إدخال ركائز مشتركة إلى العملية من أجل توفير متطلبات المغذيات المفقودة والجوانب الأخرى مثل قدرة التخزين المؤقت، بحيث يمكن زيادة إنتاج الغاز

الحيوي، من بين الركائز المشتركة الأكثر إستخداما في الهضم اللاهوائي ، حمأة الصرف الصّحي من محطات معالجة مياه الصرف الصحي والنفايات الخضراء ومخلفات الحيوانات. يصنف الأول على أنه ركيزة مشتركة جيدة بناء على تركيز الكربون العضوي الكلي، ووجود المغذيات الدقيقة والكلية [10].

II-6-5- الأس الهيدروجين **pH** والقلوية(**Alkalinity**) والاحماض الدهنية المتطايرة **VFA**)(

هذه المتغيرات لها أهمية كبيرة لأنها يمكن أن تمنع عملية . الهضم اللاهوائي إن الحفاظ على درجة حموضة المواد المتخمرة عند الحد الأمثل عاملا مهما في إنتاج الغاز الحيوي لأن البكتريا حساسة للتغيرات في pH. والمدى المناسب من درجات الحموضة يتراوح بين 6.6-7.4 وأفضل إنتاج للغاز يكون عند درجة حموضة 7.2-7. في حين يتوقف عند درجة حموضة أقل من 4.5 ويتم تعديل الحموضة عن طريق وقف التغذية لفترة معينة أو عن طريق إضافة هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) [11].

ترتبط القلوية إرتباطا وثيقا بالرقم الهيدروجيني وهي أحد متغيرات التحكم والمراقبة الرئيسية التي يمكن أن تشير إلى حالة العملية .لذلك تعديل القلوية الكلية TA وقلوية البيكربونات BA ومؤشرات القلوية مثل BA/TA وIA/TA القلوية المتوسطة /القلوية الجزيئية ،وفقا لمصدر اللقاح وخصائص الركيزة، تتراوح القيمة الموصى بها للقلوية بين 2000-4000 mg $CaCO_3$ /للنفايات النباتية .[9] L

الأحماض الدهنية المتطايرة مثل حمض الأسيتيك والبروبيونيك والفورميك هي الوسيط الرئيسي أثناء تحلل المادة العضوية في المرحلة الحمضية وتتحول إلى اسيتات ثم إلى ميثان وثاني أكسيد الكربون من خلال عمل البكتيريا الميثانوجينية .تشير نسبة حمض البروبيونيك/حمض الأستيك البالغة 1.4 أو تركيزات حمض الأستيك أعلى من 0.8 g/l إلى فشل الهضم اللاهوائي ، والذي يمكن إستخدامه للتحذير من عدم التوازن ويكون بمثابة متغير مراقبة لتحقيق ظروف الإستقرار.يشير تركيز البروبيونيك المرتفع إلى التحمض، مما يؤدي إلى إنخفاض الرقم الهيدروجيني وبالتالي زيادة ثاني أكسيد الكربون في الغاز الحيوي[9].

II-6-6- الأمونيا

تلعب الأمونيا دورا رئيسيا في أداء جهاز التخمير اثناء عملية الهضم اللاهوائي، في التركيزات المثلى تعتبر وجود الامونيا مهمة لنمو الميكروبات وتشكل $NH_4(HCO_3$) عند دمجها مع CO_2وH_2O مما يزيد من قدرة التخزين المؤقت ويحافظ على استقرار عملية الهضم اللاهوائي ،بتركيزات عالية بين 1500-7000 $mg\ NL^{-1}$، الأمونيا سامة للكائنات الدقيقة ويقال على نطاق واسع أنها تثبط الأنشطة المنتجة للميثان.[12]

II-6-7- درجة الحرارة

تعد درجة حرارة التشغيل داخل جهاز التحلل الحيوي أحد العوامل الرئيسية لعملية إنتاج الغاز الحيوي بشكل عام، يتم إختيار 3 نطاقات درجة حرارة الهضم اللاهوائي مع مزايا وقيود محددة:

- الهضم اللاهوائي عند درجات الحرارة المنخفضة (25^0c›) psychrophile: والذي غالبا ما يعزز نشاط الميثانوجين المحدود.
- الهضم اللاهوائي عند درجات الحرارة المعتدلة ($25-4^0c$) misophile: والذي يمثل النطاق الأمثل لإنتاج الغاز الحيوي.
- الهضم اللاهوائي عند درجات الحرارة العالية (45^0c) .thermeephile

في الواقع العمليات المحبة للحرارة أسرع، ولكنها أيضا أكثر عدم استقرار وأقل كفاءة من الناحية الاقتصادية.

المفاعلات البيولوجية التي تعمل في درجات حرارة تتراوح بين 25 و35 درجة مئوية هي الأكثر إستخداما على نطاق واسع لتحقيق قدر أكبر من الإستقرار ولتكون أكثر ملائمة للظروف الإستوائية في معظم البلدان النامية دون الحاجة إلى اللجوء إلى مصدر حرارة خارجي. في ظل هذه الظروف، يوصى عموما إتخاذ إجراءات بسيطة إلى حد ما لإدارة درجة الحرارة الداخلية للجهاز.

يتم توجيه الجهاز بشكل عام للاستفادة من أقصى قدر من اشعة الشمس. يمكن أيضا دفنها أو تغطيتها بالمخلفات النباتية المتاحة محليا لتجنب الإختلافات اليومية الكبيرة في درجة الحرارة التي تكون البكتيريا بإحساسه بشكل خاص لها [13].

II-6-8- النسبة CIN

يعتبر الكربون والنتروجين من العناصر الأساسية لتغذية الكائنات الحية الدقيقة. الكربون ضروري للبكتريا كمصدر للطاقة، والنتروجين كجزء من البنية الخلوية. تم تحديد نسب CIN الأكبر من 23/1 على أنها غير مناسبة للهضم الأمثل، وقد ثبت أن النسب الأقل من 10/1 مثبطة في دراسات الهضم اللاهوائي المحب للحرارة لنفايات الدواجن وغيرها من الركائز السليلوزية. من

أجل التشغيل الأمثل لمفاعل التحميل المستمر، تحتاج البكتريا إلى نسبة CIN مناسبة لعملية التمثيل الغذائي الخاصة بها، فإن النسبة CIN المثالية هي 30.

في الواقع تحتاج البكتريا إلى كربون أكثر بثلاثين مرة من النتروجين، إذا لم يتم الحفاظ على هذه النسبة، لوحظ وجود خلل في نمو البكتريا، لذلك فإن النسبة CIN المناسبة مهمة للحصول على أداء جيد للهضم اللاهوائي [14].

II -6-9- نسبة الركيزة الى اللقاح (S/I)

نسبة الركيزة إلى اللقاح المثلى (S/L) ضرورية للغاية لعملية الهضم اللاهوائي .ومع ذلك فان نسبة S/I تعتمد على خصائص المادة الأولية .يؤدي هضم مخلفات الطعام إلى تراكم VFA نظرا لقابليتها العالية للتحلل البيولوجي وتكوينها .من ناحية أخرى، فإن الركائز الأخرى لديها القدرة على تقليل VFA بسبب قدرتها على التخزين المؤقت .بشكل عام، تفضل النسبة S/L بين 2 و3 للمواد الصلبة المتطايرة VS للهضم اللاهوائي في حالة الهضم اللاهوائي المحب لدرجات الحرارة المتوسطة، ونسبة S/L أعلى في حالة الهضم اللاهوائي المحب لدرجات الحرارة [12].

II-6-10- اللقاح (Inoculum)

يعتبر اللقاح عاملا مهما لأنه المكون الذي يساهم في تكاثر الكائنات الحية الدقيقة في المفاعل. تعتمد جودته وأصله وتأقلمه إلى حد كبير على تطوير العملية، لذلك من المهم إختيار اللقاح المناسب وفقا لخصائص الركيزة المراد إستخدامها. يجب ألا يوفر اللقاح أكثر من 20% من إجمالي إنتاج الميثان للمفاعل ويجب أن يكون الرقم الهيدروجيني مثاليا بين 7 و8.5. [9].

II-6-11- معدل التّحميل العضوي (ORL)

معدل التجميل العضوي (OLR) هو محتوى المواد الصلبة المتطايرة التي تغذي المفاعل يوميا لكل متر مكعب من حجم الهاضم .ويمكن تحديده بواسطة المعادلة 1 :

$$OLR=Q*VS/V \quad .....(1)$$

حيث OLR هو معدل التحميل العضوي [$kg\ vs\ (m^3\ day)^{-1}$]، V هو الحجم [m^3] ، Q هو التدفق اليومي [kg/day] ،وvs هو المواد الصلبة المتطايرة] [$kgvs(kg)^{-1}$]

يعتبر معدل التحميل العضوي في المفاعل معلمة تحكم مهمة في الأنظمة المستمرة .تؤدي زيادة معدل التغذية إلى زيادة إنتاجية الغاز الحيوي .ومع ذلك، إذا كانت التغذية شديدة جدا، يحدث الحمل الزائد في المفاعل بسبب تراكم المواد المثبطة مثل VFA .في ظل وجود كميات كبيرة من التغذية، فإن البكتيريا المسؤولة عن مراحل التحلل المائي وتكوين الحمض تنتج كمية عالية من VFA في وقت قصير، مما يؤدي إلى تحمض الوسط ، مما يثبط عملية التحلل المائي، ومنع أداء البكتيريا الميثانوجينية التي لن تكون قادرة على تحويل الركائز التي تنتجها المراحل المبكرة وبالتالي يحدث انخفاض في إنتاج الغاز الحيوي.[15].

II-6-12- المحتوى الصلب

يزداد معدل إنتاج الغاز بزيادة تركيز المحتوى الصلب في محلول التخمير إلى حد معين تبعا إلى نوع الركيزة المستخدمة ويعتمد تحديد التركيز الأمثل على حجم الهاضم والموازنة بين الكلفة والعائد ودرجة الحرارة وسهولة سريان محلول التخمير من وإلى الهاضم ،وتركيز الأمونيا الناتج عن هضم الركيزة وتركيز VFA الناتجة .

إن الحفاظ على المحتوى الصلب بنسبة 8-10% يساعد على سريان المحلول ويحافظ على التوازن [16].

II-6-13- وقت الاحتفاظ الهيدروليكي Hydraulic Retention Time (HRT)

يمكن تعريف وقت الاستبقاء الهيدروليكي HRT على أنه الوقت اللازم لتحلل كامل المواد العضوية أو الوقت الذي تظل فيه المادة العضوية في جهاز التحلل الحيوي .

يعتمد وقت الإحتجاز الهيدروليكي على درجة حرارة العملية وتكوين الركيزة المراد هضمها ويمكن تحديده بواسطة المعادلة 2،حيث HRT هو وقت الاحتجاز الهيدروليكي)اليوم(، V هو الحجم (m^3) (، وQ هو التدفق اليومي)اليوم/) m^3

(2).....HRT=V/Q

عادة يتراوح HRT للكائنات الدقيقة المحبة لدرجات الحرارة المتوسطة(mesophilic) من 10 إلى 40 يوما، بينما بالنسبة للكائنات الدقيقة المحبة للحرارة (thermophilic) ، يكون الوقت اقصر ،14 يوما [15].

II-7 الهاضم (Digester)

II-7-1- تعريف

الهاضم هو العنصر الأساسي الضروري لإنتاج الميثان بالإضافة إلى الكائنات الحية الدقيقة، ويسمى أيضا المفاعل الحيوي أو المخمر. وهو عبارة عن خزان بسيط مغلف ومحكم الإغلاق، معزولا حراريا، مجهز بأجهزة تقليب وتسخين وتحكم متقنة أكثر أو أقل)درجة الحموضة والضغط ودرجة الحرارة(.أيضا في هذا الهاضم، تتناوب الأنواع البكتيرية المختلفة على التحلل الكيميائي والبيولوجي للنفايات العضوية وإنتاج الغاز الحيوي [17].

II-7-2- تصنيفات أنواع مختلفة من أجهزة الهضم

II-7-2-1- تصنيف حسب وضع التغذية

- الهاضم غير المستمر **Mode discontinu**

يتميز بالبناء البسيط، حيث يتكون الإجراء من ملء الهاضم بالمواد العضوية والسماح له بالهضم، يتم تفريغ الهضم ويمكن أن تبدأ العملية مرة أخرى. تعتبر هذه الأنظمة الريفية ذات البساطة التقنية الكبيرة مفيدة لمعالجة النفايات الصلبة مثل السماد الطبيعي أو المخلفات الزراعية أو النفايات المنزلية، لا يكون إنتاج الغاز الحيوي منتظما في بداية الدورة ويكون إنتاج الغاز الحيوي بطيئا ثم يتسارع، ويصل إلى أقصى معدل في منتصف عملية التحلل، وينخفض في نهاية الدورة عندما تبقى العناصر التي يصعب هضمها فقط في الهاضم.

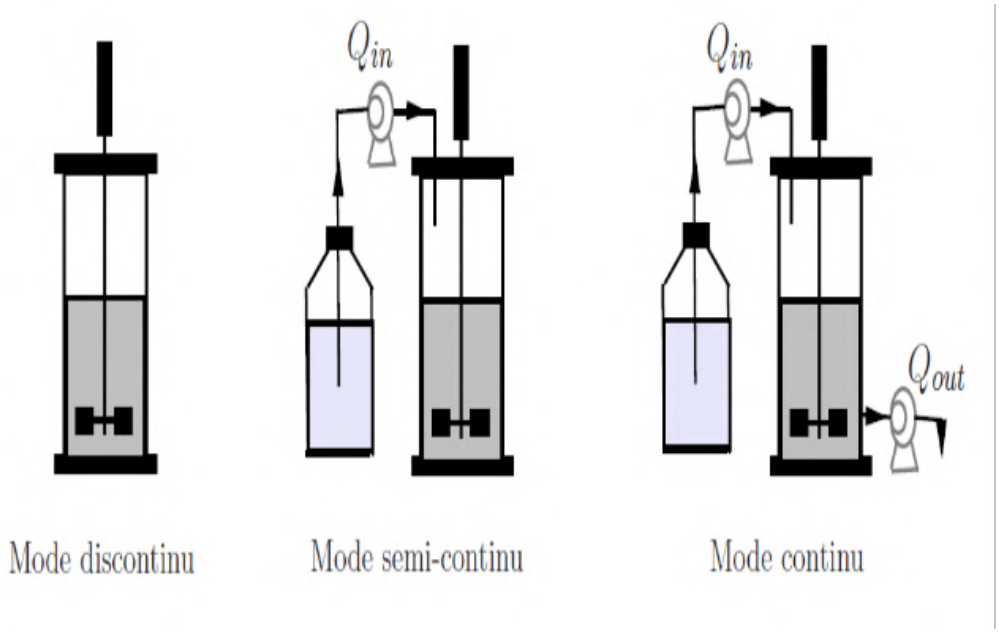
- الهاضم المستمر Mode semi-continu

في جهاز الهضم المستمر يتم هضم الركيزة التي يتم إدخالها بإستمرار ونقلها إما ميكانيكيا أو تحت ضغط المدخلات الجديدة إلى المخرج في شكل هضم، التشغيل المستمر تماما للمنشات الكبيرة. هناك ثلاثة أنواع رئيسية من أجهزة الهضم المستمر.

- نظام الخزّان العمودي.
- نظام الخزّان الأفقي.
- نظام الخزّانات المتعددة.

- الهاضم شبه المستمر **Mode continu**

يعمل الهاضم شبه المستمر مع مجموعة من الخصائص السابقة من أجل الإستفادة من مزايا وضعي الهضم (غير مستمر والمستمر) الشكل (II−3) .[17].



الشكل (II−3) :أوضاع تشغيل مختلفة لمفاعل حيوي [18].

II-7-2-2- التصنيف حسب نوع الرّكيزة

- صلب: محتوى المادة الجافة أعلى بنسبة 15%.
- شبه صلب: محتوى المادة الجافة بين 5% و15%.
- سائل: محتوى المادة الجافة أقل بنسبة 5%. [2].

II-7-2-3- التصنيف حسب عدد الخطوات

يسلط هذا التّصنيف الضوء على حقيقة أن التحلل المائي والتولد الحمضي منفصلان أم لا عن المرحلة التالية: تكوين الميثان.

- العمليات أحادية الخطوة

يتم جمع خطوات الهضم في نفس الغرفة، ويمكن إستخدامها بشكل مستمر أو على دفعات، ويتم تطبيقها بشكل أساسي على ركائز تصل إلى 40% MS.

- العملية المكونة من خطوتين

يتم فصل التحلل المائي والتحميض بوضوح عن المرحلة التالية من الهضم اللاهوائي. تكمن ميزة العمليات المكونة من خطوتين في حقيقة أن تحلل المادة الصلبة يستغرق بضعة أيام. يقلل فصل الطور هذا من خطر تسمم الخلايا الميثانية المرتبطة بوجود الأحماض الدهنية المتطايرة عندما لا تكتمل خطوة تكوين الحمض تماما [17].

II-8- مزايا وعيوب الهضم اللاهوائي

II-8-1- مزايا الهضم اللاهوائي

- يتم الحصول على مصدر طاقة محايدة كربونيا على شكل غاز حيوي.
- البقايا النهائية بعد الهضم غنية بالمواد المغذية ويمكن استخدامها في الزراعة كسماد.
- أكثر فعالية من حيث التكلفة من العمليات البيولوجية الأخرى لاستعادة الطاقة مع تأثير بيئي منخفض.

II-8-2- عيوب الهضم اللاهوائي

- وقت طويل لتثبيت البكتيريا داخل التفاعل.
- تتطلب المواد المعقدة معالجة مُسبقة.
- قد تكون المعالجة اللاحقة للنفايات العضوية الناتجة عن العملية ضرورية قبل تصريفها في البيئة.
- يلزم المراقبة المستمرة للمعلمات الرئيسية مثل الأس الهيدروجيني ودرجة الحرارة ومعدل التغذية وإنتاج المثبطات [19].

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

[02] Michel, M. U. R. A. T. (1981). Valorisation des déchets et sous-produits industriels. Masson, Paris.

[03] Lytras, G., Lytras, C., Mathioudakis, D., Papadopoulou, K., & Lyberatos, G. (2021). Food waste valorization based on anaerobic digestion. Waste and Biomass Valorization, 12, 1677-1697.

[04] Richard, E. N., Hilonga, A., Machunda, R. L., & Njau, K. N. (2019). A review on strategies to optimize metabolic stages of anaerobic digestion of municipal solid wastes towards enhanced resources recovery. Sustainable Environment Research, 29(1), 1-13.

[05] 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).

[06] Goux, X. (2015). Influence de différents facteurs opérationnels sur la structure des communautés microbiennes impliquées dans le processus de digestion anaérobie (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).

[07] Principi, P., König, **R., &** Cuomo, M. (2019). Anaerobic digestion of lignocellulosic substrates: benefits of pre-treatments. Current Sustainable/Renewable Energy Reports, 6(3), 61-70.

[08] Mozhiarasi, V., Weichgrebe, D., & Srinivasan, S. V. (2020). Enhancement of Methane Production from Vegetable, Fruit and Flower Market Wastes Using Extrusion as Pretreatment and Kinetic Modeling. Water, Air, & Soil Pollution, 231(3), 1-21.

[09] Casallas-Ojeda, M. R., Marmolejo-Rebellón, L. F., & Torres-Lozada, P. (2020). Identification of Factors and Variables that Influence the Anaerobic Digestion of Municipal Biowaste and Food Waste. Waste and Biomass Valorization, 1-16.

[10] Bouallagui, **H., Touhami, Y., Cheikh, R. B., &** Hamdi, M. (2005). Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. Process biochemistry, 40(3-4), 989-995.

[11] Al Afif, R., & Amon, T. (2007). Biogas production from olive pulp and cattle manure Effect of co-fermentation and enzymes on methane productivity. Journal for the Agricultural Sciences, 39, 12.

[12] Rawoof, S. A. A., Kumar, P. S., Vo, D. V. N., & Subramanian, S. (2020). Sequential production of hydrogen and methane by anaerobic digestion of organic wastes: a review. Environmental Chemistry Letters, 1-21.

[13] Benaissa, N. K. (2019). Production du méthane et du biofertiliseur: l'Energie verte des déchets: Valorisation énergétique des déchets organiques via la production du biogaz et du biofertiliseur: Biodigesteur de 15m3. Éditions universitaires européennes.

[14] Marache, L. (2001). Méthanisation des effluents et déchets organiques: état des connaissances sur le devenir pathogène (Doctoral dissertation).

[15] Kothari, R., Pandey, A. K., Kumar, S., Tyagi, V. V., & Tyagi, S. K. (2014). Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 39, 174-195.

[16] Varel, V. H., Isaacson, H. R., & Bryant, M. P. (1977). Thermophilic methane production from cattle waste. Applied and Environmental microbiology, 33(2), 298-307.

[17] Chofqi, A. (2004). Mise en évidence des mécanismes de contamination des eaux souterraines par les lixiviats d'une décharge incontrôlée (El Jadida-Maroc): Géologie, hydrogéologie, géoélectrique, géochimie et épidémiologie.

[18]Touami, O. (2015). Commande Impulsive des Systèmes Dynamiques: Application au Réacteur Biologique (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

[19] Náthia-Neves, G., Berni, M., Dragone, G., Mussatto, S. I., & Forster-Carneiro, T. (2018). Anaerobic digestion process: technological aspects and recent developments. International journal of environmental science and technology, 15(9), 2033-2046.

الفصل الثالث

الغاز الحيوي

III-1-المقدمة

مع نضوب الموارد الطبيعية للطاقة ومع استشعار خطر التلوث البيئي الناتج عن تلبية متطلبات الإنسان العصري والمتزايدة، بات من الضروري البحث بشكل جدي عن مصادر جديدة للطاقة أكثر صداقة للبيئة كالغاز الحيوي أمل المستقبل. لطاما إعتبرا النفايات العضوية مواد عديمة الفائدة ومصدر للتلوث البيئة يصعب التخلص منه، ولذلك فإن تحويل هذه النفايات إلى غاز عضوي من خلال التخمير اللاهوائي هو الحل المثالي بهدف التخلص منها بطريقة آمنة.

يتكون الغاز الحيوي الخام تقريبا 60% من الميثان و 29%من ثاني أكسيد الكربون وأجزاء قليلة من كبريتيد الهيدروجين و بخار الماء ،و جودته ليست عالية بما فيه الكفاية إذا كانت طاقته موجهة للإستخدام في مختلف نواحي الحياة فلذا تتم عملية التنقية للغاز من الملوثات.

III-2- تعريف ومكونات الغاز الحيوي

الغاز الحيوي عبارة عن خليط غازي قابل للإشتعال ينتج عن تخمير أي مواد عضوية حيوانية أو نباتية المصدر بمعزل عن الهواء وذلك بواسطة ميكروبات بكتيرية لا هوائية، وهو يتكون من غاز الميتان (55_75%) وغاز ثاني أكسيد الكربون (25_45%) و قليل من الهيدروجين و النيتروجين و أثار من كبريتيد الهيدروجين، نسب هذه الغازات موضحة في الجدول (III-1) . [1]

أهم مكونات الغاز الحيوي هو الميثان، حيث أنه كلما إزدادت نسبته ضمن المكونات 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 بإمكانية تشكيل أكاسيد الكبريت والنيتروجين المسؤولة عن تشكل الأمطار الحامضية فيجب بالتالي التخلص منها قبل حرقها في محرق إحتراق الغاز خاصة أنها من الغازات الأكالة أيضا. [2]

الجدول $(III-1)$: مكونات الغاز الحيوي ونسبها بحسب الجمعية الألمانية للمياه والغاز.[2]

المكون	مجال القيمة	القيمة المتوسطة
الميثانCH_4	%45-70	%60
ثنائي 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 (HN_3)	m/gm^3 0.01- 2.5	m/gm^3 0.7
كبريتيد الهيدروجين(H_2S)	m/gm^3 10 -30000	m/gm^3 500

III-3- إنتاج الغاز الحيوي في دول العالم والإتحاد الأوربي

لقد تطورت تكنولوجيا الغاز الحيوي بشكل كبير كما زاد عدد وحدات الغاز الحيوي بشكل كبير جدا وقد وصل هذا العدد إلى أربعة ملايين وحدة في الهند وسبعة وعشرون مليون وحدة في الصين وحدها وأغلبها يتراوح بين حجم $6-10\ m^3$. الجدول $(III-2)$[8]

الجدول(III – 2) : عدد وحدات الغاز الحيوي في دول مختلفة عام 2008.

الدول	المصانع
المجر	**2**
إيرلاندا	**5**
إيطاليا	**70**
ليتونيا	**2**
لوكسمبورغ	**15**
هولندا	**70**
الصين	**20000000**
روسيا	**70**
كازاخستان	**30**
الهند	**2500000**
النيبال	**145000**
فيتنام	**1800**
تركيا	**48**

III-4- خصائص الغاز الحيوي

الغاز الحيوي غاز لا لون له يشتعل دون أن يتصاعد منه دخان مكونا لهبا أزرق شديد الحرارة، والطاقة الناتجة من $1\ m^3$ من البيوغاز (65%) تكافئ $0.5\ m^3$ غاز طبيعي، 0.7 لتر بنزين،$0.6\ m^3$ غاز طبيعي و$0.6\ KW/h$ حيث تختلف كمية الطاقة الموجودة في الغاز الحيوي تبعا إلى محتواه من الميثان.[3]

في ظل نفس ظروف الحرارة والضغط وبحجم متساوٍ يكون الغاز الحيوي اخف من الهواء .وكثافته بالنسبة الى الهواء تساوي 0.7، أما استطاعته الحرارية إذا كان الغاز الحيوي يحتوي على 70% من HC_4 (ICP) يكون m/hWk^3 6.96و (SCP) يكون m/hWk^3 7.72. ويعود رائحة البيض الفاسد المنبعثة من الغاز الحيوي إلى وجود كمية ضئيلة من H_2S. [4]

III-5- تنقية الغاز الحيوي

يتم تنقية الغاز الحيوي عبر مرحلتين. مرحلة المعالجة التي يتم فيها التخلص من المركبات السامة والمسببة للتآكل(كبريتيد الهيدروجين, الماء أو المعادن) ومرحلة التنقية التي تهدف إلى زيادة نسب الميثان لتحسين الخصائص الطاقوية للخليط الغازي معتمدة على طريقة الإسترداد المختارة.

يحتوي الغاز الحيوي غير المعالج في المتوسط على 50 إلى 75٪ من الميثان وهو قليل جدا لإستخدامه كوقود أو حقنه في الشبكة التي تتطلب ما لا يقل عن 97٪ من الميثان. ولكن يمكنه تغذية محركات أو تركيبات توليد مشترك فإذن لإنتاج الغاز الحيوي بخصائص مشابهة لخصائص الغاز الطبيعي علينا الجمع بين خطوات المعالجة والتنقية.

III-5-1- التخلص من كبريتيد الهيدروجين

يأتي كبريتيد الهيدروجين الموجود في الغاز الحيوي من تحلل البروتينات والمركبات الأخرى المحتوية على الكبريت ويسبب هذا الأخير التآكل مما يستلزم التخلص منه للحفاظ على الضواغط وصهاريج التخزين ومعدات التقييم.

يتمثل أول محلول فيزيائي في غسل الغاز الحيوي بمذيب أي باستخدام قابلية ذوبان كبريتيد ثنائي الهيدروجين لحبسه في الطور السائل و يمكن إجراؤه بالماء (الحل الأبسط) أو بمتعدد إيثيلين جلايكول اين تكون قابلية ذوبان كبريتيد الهيدروجين أكبر فيتم أولا ضغط الغاز الحيوي لزيادة قابليته للذوبان ثم حقنه في قاع عمود يحتوي على المذيب، ومن ثمة إسترجاع الغاز الحيوي المنقى في أعلى العمود. بمجرد تشبع المذيب، يمكن تجديده إما عن طريق خفض الضغط أو بفقاعات الهواء في الداخل، ويمكننا أيضا زيادة قابلية الذوبان في الغازات بإضافة الصودا إلى ماء الغسيل فتتفاعل مع كبريتيد ثنائي الهيدروجين وتنتج كبريتات الصوديوم في هذه الحالة يكون جزء من الإمتصاص كيميائيا.[5]

تعد الغرابيل الجزيئية والأغشية عملية أخرى للتنقية بطريقة الفيزيائية. هذه المناخل الجزيئية هي مركبات بثقب صغيرة تسمح بالفصل الإنتقائي للمركبات ومن أكثرها إستعمالا الليمون والكربون النشط حيث يتم الفصل المحدد للمركبات المحاصرة بواسطة دورات الضغط وهذا ما يعرف ب "**الإمتزاز** المتأرجح المضغوط" (**ASP**) أما الأغشية فهي قابلة للإختراق إلى حد ما للمركبات المختلفة أين يتم التمييز بين التنقية بالضغط العالي مع الطور الغازي على جانبي الغشاء والتنقية بالضغط المنخفض حيث يحدث الإمتزاز في سائل.

تسمح هذه الطرق الفيزيائية والكيميائية فقط بإزالة H_2S من الغاز الحيوي، ولكن لا تحولها إلى منتج قابل للتقييم على عكس الاختزال الحديدي الذي يحول كبريتيد الهيدروجين إلى كبريت، فيتم أولا إذابة H_2S في الماء لتكوين أيونات الكبريت ثم تتفاعل هذه الأيونات مع مركبات الحديد (الكرات ، ورقائق الخشب المغطاة بجزيئات الحديد) فتتأكسد في الكبريت بعد ذلك يسمح الأكسجين الموجود في الوسط بإعادة توليد مركبات الحديد ومن ثمة إستعادة الكبريت.

III-5-2- إزالة مركبات الهالوجين العضوي والمعادن الثقيلة والسيلوكسانات

يمكن أن يحتوي الغاز الحيوي لمدافن النفايات على تركيزات عالية من الهالوجينات العضوية التي يمكن إزالتها بكفاءة عن طريق الكربون النشط المرتبط بعملية ASP:

تمر الجزيئات الصغيرة مثل HC_4 , N_2, CO_2 وO_2 عبر مرشح الكربون بينما تظل الجزيئات الكبيرة محاصرة ويساعد الكربون المنشط أيضا على إلتقاط المعادن الثقيلة التي قد تكون موجودة في الغاز الحيوي. السيلوكسانات هي فئة من مركبات السيليكون العضوية و إذا كانت موجودة في الغاز الحيوي، فسوف تتأكسد إلى سيليكات أثناء الإحتراق وقد تتلف المكونات المختلفة للآلات (الشعلات ، الصمامات ، إلخ) لذلك تتم إزالتها من الغاز الحيوي عن طريق الإمتزاز في وسط سائل[5]

III-5-3- التخلص من بخار الماء

يمنع بخار الماء من تقييم الغاز الحيوي على عدة مستويات حين يتفاعل مع H_2S ويشكل حمض أكال ولكن يمكنه أن يتكثف أو حتى يتجمد إذا تم ضغط الغاز للتخزين، فإذن لابد من تجفيف الغاز الحيوي والقيام بذلك بالتكثيف عن طريق تبريد الأنابيب التي تنقل الغاز الحيوي أو عن طريق مزيل الرطوبة متبوعا بفاصل ثنائي الطور.يجب أن يكون محتوى الماء منخفضا جدا

مثلا من أجل الحقن في شبكة الغاز يفضل الإتجاه نحو طرق كالمبردة الإمتزاز على الجلايكول أو أيضا الغرابيل الجزيئية والأغشية والتي تسمح جليا بخفض تركيزات بخار الماء.[5]

III-5-4- التخلص من ثاني أكسيد الكربون

يجب أن يحتوي الغاز الحيوي على أكثر من 96٪ من الميثان لإستخدامه كوقود أو حقنه في شبكة غاز المدينة، لهذا يجب التخلص من ثاني أكسيد الكربون الموجود فيه بإستعمال تقنيات غسل الغاز الحيوي المذكورة سابقا ،ونظرا لقابلية ذوبان ثاني أكسيد الكربون التي تفوق كثيرا قابلية ذوبان غاز الميثان فانه يمكن أن تتشكل فقاعات الغاز الحيوي من خلال حمام مذيب لإحتجاز ثاني أكسيد الكربون بإستعمال مذيبات كالماء أو البولي إيثيلين جلايكول أو الماء الذي أضيف إليه هيدروكسيد الصوديوم ،وقد تحصل هايز وآخرون بطريقة الغسيل بالماء هاته على غاز حيوي يحتوي على 93 ٪ من الميثان .ولقد تمت إعادة إستخدام عمليتهم فيما بعد من قبل العديد من المؤلفين فقد درسوا بشكل أكثر تحديدا وحدة الإمتزاز من أجل تحديد المعايير المؤثرة في التخلص من ثاني أكسيد الكربون إنطلاقا من نموذج عمود الإمتزاز عند التوازن وتمكنوا من إثبات وجود علاقة بين معامل تحويل الكتلة ومعدل تدفق الغاز الحيوي. من جهة أخرى أظهر آخرون أن غسل الغاز الحيوي عن طريق التهوية الدقيقة للمرحلة السائلة لا يثبط البكتيريا المولدة للميثان، مع توفير نتائج جيدة (يحتوي الغاز الحيوي على 90٪ من الميثان) كما أن الغرابيل الجزيئية وتقنيات الأغشية تسمح أيضا بإزالة ثاني أكسيد الكربون من الغاز الحيوي ومع عمليتهم لإزالة كبريتيد الهيدروجين حصل هايز وأخرون على غاز حيوي يحتوي على 94٪ ميثان. [5]

III-6 - إستعادة الغاز الحيوي

و هو يتمثل في استخدام الغاز الحيوي، بالإضافة إلى قيمته في مجال الطاقة، لهما أثر اجابي مزدوج على البيئة كمعالجة للنفايات والنفايات السائلة العضوية وذلك للحد من خطر المناخ العالمي، ويمكن تحسين الغاز الحيوي بعدة طرق، تبعا لأنواع الرواسب ونوعية الميثان وثرائه والفرص المحلية والسياسات المنفذة.

III-6-1- إستعادة الحرارة

و هو يتمثل في إستخدام الغاز الحيوي كمصدر للطاقة الحرارية كبديل، على سبيل المثال البروبان أو الغاز الطبيعي أو زيت الوقود وهي الطريقة الأكثر شيوعا وأكفا وأفضل طريقة للتقييم، وتسمح طريقة الإستعادة هذه بإستعادة الطاقة القصوى الواردة في الغاز الحيوي .بالنسبة للإستخدام الحراري في المزارع تقتصر تنقية الغاز الحيوي عموما على إزالة الملوثات، وذلك مثلا بالتحول إلى الفحم المنشط مما سيحد من خطر تأكسد الأنابيب.[6]

III -6-2- توليد الكهرباء من الغاز الحيوي

بإمكاننا إنتاج كمية كبيرة من الكهرباء عندما يكون هنالك حجم هائل من الغاز الحيوي ، وفي الواقع أن هذا التقييم يتطلب شراء وحدة للتوليد المشترك تعمل بالغاز الحيوي، وقد تتكون هذه الوحدة من مرجل للغاز الحيوي مقترن بتوربين بخاري أو محرك غازي. و يمكن إستخدام الكهرباء المنتجة مباشرة من أجل ضمان تهوية المباني، الإنارة وتشغيل مختلف المعدات (المضخات....) ، وحينما تسمح شبكات توزيع الكهرباء بذلك يمكن تزويد الشبكة بالطاقة الفائضة المنتجة. إن تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية ضارا على المردودية الإجمالية الطاقوية للغاز الحيوي، الطاقة الكهربائية تتغير على حسب أنواع الكتلة الحية المستعملة إعتمادا على قدرتها في توليد الغاز الحيوي.**[6]**

III -6-3- الإنتاج المشترك للحرارة والكهرباء معا

الغاز الحيوي يمكنه تغدية محرك حراري متصل بمولد كهربائي ينتج الكهرباء و طاقة حرارية مسترجعة من غازات العادم [6].

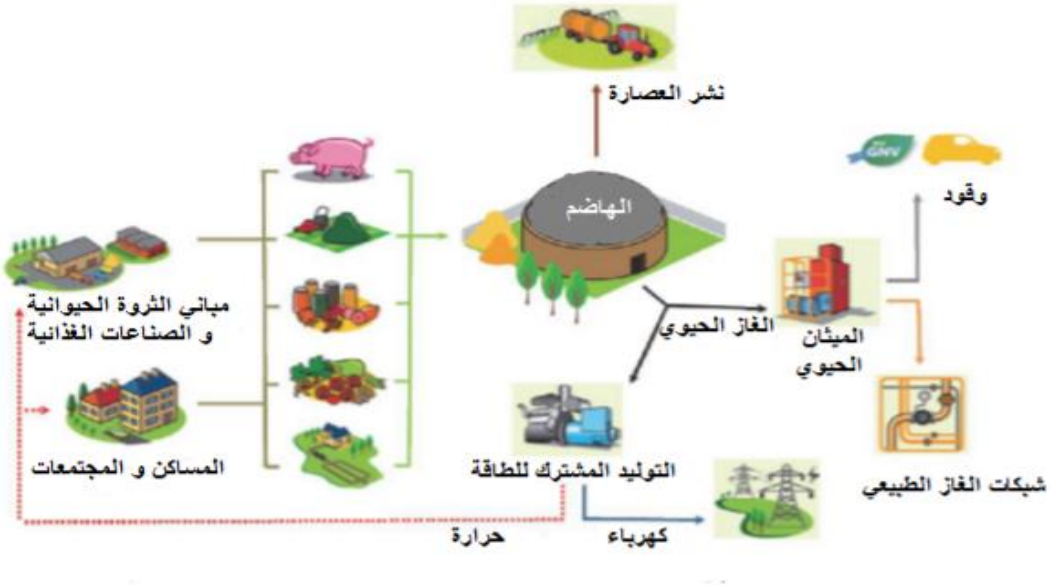
III -6-4- إستخدام الوقود في المركبات أو في شبكة الغاز الطبيعي

بمجرد تنقيته يصبح من الممكن إستخدام الغاز الحيوي باعتباره مكافئا للغاز الطبيعي، أما كوقود لمركبات الغاز الطبيعي أو عن طريق حقنه في نظام لتوزيع الغاز الطبيعي. وهذا النوع من الإستخدام ينطوي على درجة من النقاء أعلى بكثير من التطبيقات السابقة الشكل $(III-1)$.

بالإضافة إلى إزالة التلوث، يجب إزالة ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء من الغاز الحيوي وعلاوة على ذلك يجب أن تكون نسبة الميثان مساوية لنسبة الغاز الطبيعي المسوق 96 من أجل ضمان قيمة جذابة للسعرات الحرارية.

وتتحد التركيزات المسموح بها لمختلف مكونات الغاز الحيوي بواسطة مصنعي المحركات ومشغلي نظام التوزيع، حسب طريقة الإسترداد المتوخاة ويمكن أن تنتج 20 ألف طن من النفايات كمية من الوقود تسمح لـ2000 سيارة بالسير لمسافة 10000 كلم في السنة، وذلك لأن الكيلوغرام الواحد من النفايات يقابل الإستهلاك من الوقود لرحلة قدرها 1كم بالسيارة.

إن إستعادة الغاز الحيوي الذي تنتجه مدافن القمامة أمر أكثر إثارة لإهتمام لأن غاز الميثان أكثر قوة من غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج للإحتراق.[6]



الشكل $(III-1)$ **:** رسم تخطيطي لمصادر وإستخدامات الغاز الحيوي.[7]

III-7- مميزات إستخدام الغاز الحيوي [3]

1 – يستخدم للتخلص من النفايات الزراعية والصناعية بشكل آمن.

2 – يحل مشكلة إمدادات الطاقة حيث أنه 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 – يستخدم غاز الميثان لأغراض الطهي وكوقود رخيص للسيارات.

7 – تستخدم البقايا المستنفدة من الخليط الداخل في إنتاج الغاز كسماد عضوي جيد.

8 – يستخدم غاز الميثان لإنتاج الميثانول والذي يستخدم في صناعات عديدة.

[2]- أسامة ، ع.(2014).دراسة العوامل المؤثرة على مردود مفاعل لانتاج الغاز الحيوي من مخلفات منزل ريفي في محافظة طرطوس .(أطروحة ماجستير،جامعة تشرين).

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

[1]-Gaffour, H., & Ferdjellah, K. (2017). *Effet du traitement chimique et aérobie sur le rendement de PBM (Potentiel Biochimique Méthanogène) des déchets organiques du restaurant universitaire* (Doctoral dissertation, Université Ahmed Draia-ADRAR).

[4]-Almansour, E. (2011). *Bilans énergétiques et environnementaux de filières biogaz: Approche par filière-type* (Doctoral dissertation, Bordeaux 1).

[5]-Hess, J. (2007). Modélisation de la qualité du biogaz produit par un fermenteur méthanogène et stratégie de régulation en vue de sa valorisation (Doctoral dissertation, Université Nice Sophia Antipolis).

[6]-MLOUKI, I., AISSAOUI, A., & DAHOU, M. E. A. (2017). *L'effet de prétraitement chimique alcalin par KOH sur la production du biogaz à partir des boues de la station de lagunage de la ville d'Adrar* (Doctoral dissertation, Université Ahmed Draia-ADRAR).

[7]-BENLENSAR, L., ABDOUNE, Z., & KALLOUM, S. (2017). *Méthanisation des déchets organiques de restaurant de la résidence universitaire de l'université Africaine ADRAR* (Doctoral dissertation, Université Ahmed Draia-ADRAR).

[8]-Chen, Y., Yang, G., Sweeney, S., & Feng, Y. (2010). Household biogas use in rural China: A study of opportunities and constraints. *Renewable and sustainable energy reviews*, *14*(1), 545-549.

الفصل الرابع

الدراسة التحليلية للعوامل والمتغيرات المؤثرة على عملية الهضم اللاهوائي للنفايات العضوية

IV-1- مقدمة

تتضمن عملية الهضم اللاهوائي إنتاج الغاز الحيوي الذي يتألف من الميثان وثاني أكسيد الكربون ومقدار ضئيل من الغازات الملوثة يمكن أن يستخدم مباشرة كوقود والمادة المغذية التي تنتج أيضا من هذه العملية يمكن إستخدامها كسماد. تتأثر عملية الهضم اللاهوائي بعوامل ومتغيرات مختلفة مرتبطة بالظروف البيئية والركيزة والتلقيح.

يقدم هذا الفصل تحليلا على تأثير وتحديد القيم المثلى لهذه العوامل والمتغيرات على عملية الهضم اللاهوائي وتحديد العوامل والمتغيرات الأكثر و/ أو الأقل دراسة حتى يمكن توجيه العمل المستقبلي في هذا الصدد.

IV – 2- المعالجة المسبقة للركيزة

IV-2-1- تحليل دراسات سابقة

➢ **الدراسة التحليلية رقم 1**

Enhancement of biogaz production from organic fraction of municipal solid waste using acide pretreatment (2020) [1]

الهدف من الدراسة هو فهم فعالية المعالجة الحمضية المسبقة على إذابة المادة العضوية الموجودة في OFMSW.

الجدول $(IV-1)$: ملخص دراسة حول تعزيز إنتاج الغاز الحيوي من OFMSWباستخدام المعالجة الحمضية المسبقة.

اسم المؤلف	Arpita Dasgupta et al
اسم المجلة	SN Applied sciences(2020) 2 : 1437
المعالجة المسبقة	المعالجة المسبقة الحمضية بإستخدام حمض قوي HCl وحمض ضعيف CH_3COOH
الركيزة(Substrat)	OFMSW
اللقاح(Inoculum)	روث البقر
الهاضم	غير مستمر
درجة الحرارة	37°C
pH	6-8
HRT	30 يوم
النتيجة	أدت المعالجة المسبقة ل OFMSWب HCl و CH_3COOH إلى تقصير وقت الهضم وزيادة إنتاج الغاز الحيوي بنسبة 28.6%-13.2%و 16%-8.2% على التوالي.

➢ **دراسة تحليلية رقم 2**

Enhancement of biogaz prodution from organic fraction of municipal solid waste using alkali pretreatment (2019) [2]

الهدف من الدراسة هو التحلل المائي للمواد العضوية المعقدة الموجودة في OFMSW نتيجة للمعالجة المسبقة القلوية وما يترتب على ذلك من زيادة في كفاءة الهضم اللاهوائي من حيث إنتاج الميثان.

الجدول $(2-IV)$: ملخص دراسة حول تعزيز إنتاج الغاز الحيوي من OFMSW بإستخدام المعالجة القلوية.

إسم المؤلف	Arpita Dasgupta
إسم المجلة	Journal of Material Cycles and Waste Management
المعالجة المسبقة	المعالجة القلوية المسبقة باستخدام(NaOH,5M)
الركيزة (Substrate)	OFMSW
اللقاح(Inoculum)	روث البقر
الهاضم	الغير مستمر
درجة الحرارة	37°C
pH	6-8
HRT	30 يوم
النتيجة	أدت المعالجة المسبقة ل OFMSW ب NaOH إلى تقصير وقت الهضم و زيادة إنتاج الغاز الحيوي بنسبة 19.6%-34.8%

➢ **دراسة تحليلية رقم 3**

Enhancement of biogaz production from organic fraction of municipal solid waste using hydrothermal pretreatment (2019) [3]

الهدف من الدراسة هو فهم أثار المعالجة الحرارية المائية على الهضم اللاهوائي فيما يتعلق بإنتاجية الغاز الحيوي.

الجدول $(3-IV)$: ملخص دراسة حول تعزيز إنتاج الغاز الحيوي من OFMSW بإستخدام المعالجة الحرارية المائية.

إسم المؤلف	Arpita Dasgupta et al
إسم المجلة	Bioresource Technology Reports 7(2019) 100281
المعالجة المسبقة	المعالجة الحرارية المائية المسبقة عند 100,120,140,160, 80 درجة مئوية على فترات تسخين تبلغ 0 و15 و30 و60 و120 دقيقة
الركيزة (Substrate)	OFMSW
اللقاح(Inoculum)	روث البقر
الهاضم	الغير مستمر
درجة الحرارة	37°C
pH	5.62-7.58
HRT	30 يوم
النتيجة	أدت المعالجة الحرارية المائية ل OFMSW إتقصير وقت الهضم و زيادة إنتاج الغاز الحيوي بنسبة 3% و32% .

➢ **دراسة تحليلية رقم 4**

Enhanc ement of methane production from vegetable ,fruit and flower market wastes using Extrusion as pretreatment and kinetic modeling (2020) [4]

الهدف من الدراسة

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو التحقيق في تأثير البثق(Extrusion) على إنتاج الميثان من نفايات الخضار والفواكه والزهور.

الجدول $(4-IV)$: ملخص دراسة حول زيادة إنتاج الميثان من مخلفات الخضار والفاكهة ومخلفات سوق الزهور بإستخدام البثق (Extrusion)كمعالجة مسبقة.

إسم المؤلف	Velusamy mohiarasi et al
إسم المجلة	Water Air soil pollut (2020) 213 :126S
المعالجة المسبقة	المعالجة الميكانيكية المسبقة البثق (Extrusion)
الركيزة (Substrat)	نفايات سوق الخضار والفاكهة والزهور
اللقاح(Inoculum)	/
الهاضم	الغير مستمر
درجة الحرارة	37°C
pH	7.03-7.26
HRT	30يوم
النتيجة	أدت المعالجة المسبقة إلى تقصير وقت الهضم زيادة إنتاج الميثان لنفايات سوق الفواكه بنسبة 31% ونفايات سوق الخضار والزهور % 35.5 و42.3 % على التوالي .

➢ **دراسة تحليلية رقم 5**

Enzymatic pre-hydrolysis of organic fraction of municipal solid waste to enhance anaerobic digestion (2019) [5]

هدفت هذه الدراسة إلى التحقيق في تطبيق الخلائط الإنزيمية التي تم الحصول عليها من تخمير Aspergillus niger على نخالة القمح و OFMSW من أجل المعالجة المسبقة ل OFMSW وتم تقييم أثار المعالجة الإنزيمية المسبقة على الهضم اللاهوائي ل OFMSW من خلال تحديد إمكانات الميثان الحيوي.

الجدول $(IV-5)$: ملخص دراسة حول التحلل المائي الإنزيمي ل OFMSW لتعزيز الهضم اللاهوائي.

إسم المؤلف	Najwa Malik et al
إسم المجلة	Biomass and Bioenergy127(2019)105826
المعالجة المسبقة	المعالجة الإنزيمية المسبقة
الركيزة (Substrat)	OFMSW
اللقاح(Inoculum)	الحماة النشطة
الهاضم	الغير مستمر
درجة الحرارة	37°C
pH	/
HRT	50يوم
النتيجة	تم الحصول على إنتاجية الميثان الحيوي من OFMSW المعالجة مسبقا بكوكتيلات WBو OFMSW اعلى 3.6و3.2 مرة على التوالي من OFMSW الخام بالإضافة إلى تقصير وقت الهضم

IV – 2 –2– مناقشة وتحليل الدراسات السابقة

تتكون النفايات العضوية من مواد معقدة، من الصعب تحللها حيويا لان هياكلها الكيميائية تقاوم الهجوم الميكروبي أثناء الهضم اللاهوائي نتيجة لذلك يصبح التحلل المائي للمادة العضوية إلى مركبات قابلة للذوبان خطوة تحد من معدل إنتاج الميثان.

الأنواع المختلفة للمعالجة المسبقة للركيزة تزيد من انتاج الغاز الحيوي، وتشمل هذه الطرق الميكانيكية والحرارية والكيميائية والبيولوجية[6] .

أشار العديد من الباحثين إلى أن المعالجة المسبقة الكيميائية التي تقوم أساسا على إستخدام الأحماض والقلويات فعالة في زيادة إنتاج الغاز الحيوي. وقد قيمت دراسة مثل تلك التي أجراها Arpita Dasgupta et al .[1] الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 1 ،تأثير إضافة CH_3COOH و HCl عند (pH 1-6) لتحسين عملية الهضم اللاهوائي حيث أظهرت النتائج أن أقصى إنتاج للغاز الحيوي بعد المعالجة المسبقة ل HCl عند pH=3 و CH_3COOH عند pH=1 تشير هذه النتائج إلى أن الجرعات العالية تؤدي إلى تثبيط نشاط الميثانوجينات أثناء الهضم اللاهوائي .

هذه النتائج قابلة للمقارنة مع دراسة أخرى ل Arpita Dasgupta.[2] الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 2 ،الذي أشار إلى أن المعالجة المسبقة الكيميائية القلوية أيضا فعالة في عملية الهضم اللاهوائي حيث قيمت الدراسة أثار إضافة NaOH عند (pH 8-13) لتعزيز إنتاج الغاز الحيوي حيث أظهرت النتائج أن أقصى إنتاج للغاز الحيوي بعد المعالجة المسبقة ب NaOH كان عند pH=10 تشير هذه النتيجة إلى أن الحالات الشديدة مثل المعالجة عند pH=11 أو أعلى في الواقع له إثار ضارة على إنتاج الغاز الحيوي.

تتضمن بعض عيوب المعالجات الكيميائية المسبقة تكوين منتجات مثبطة مثل الأحماض الكربوكسيلية الذي يمكن أن تمنع نمو البكتيريا الميثانوجينية. علاوة على ذلك، قد يكون هناك حاجة إلى كميات أكبر من المواد الكيميائية في إنتاج الغاز الحيوي على نطاق واسع مما قد يزيد من تكاليف التشغيل. نتيجة لذلك، يفضل إستخدام المواد الكيميائية، وخاصة القلويات، لإجراء تعديلات مؤقتة على درجة الحموضة أثناء عملية الهضم اللاهوائي لمواجهة تراكمات VFA والحفاظ على إستقرار العملية .

المعالجة الحرارية المسبقة هي واحدة من اكثر الطرق استخداما وقد تم تطبيقها على نطاق واسع بنجاح مثل دراسة Arpita Dasgupta et al. [3]الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 3 حيث درس تأثير درجة حرارة المعالجة المسبقة 80°C-160°C ومدة التسخين 30-60 دقيقة على انتاج الغاز الحيوي وتبين ان اقصى انتاج للغاز الحيوي تم الحصول عليه عند 140°C لمدة 30 دقيقة . اي ان درجات الحرارة المرتفعة واوقات التعرض الطويلة تؤدي الى انخفاض الكفاءة وتثبيط العملية .قد يكون هذا الخيار مكلفا للغاية بسبب متطلبات الحرارة العالية .ومع ذلك ،في التطبيقات الصناعية ،يمكن تعويض التكاليف اذا تم إستخدام الغاز الحيوي المتولد كمصدر لحرارة المعالجة .

الهدف من الطرق الميكانيكية هو تقليل حجم الجسيمات من اجل زيادة مساحة السطح لتسهيل وتسريع التدهور .تم استخدام المعالجة المسبقة بالبثق (Extrusion) وهو نوع من أنواع المعالجة الميكانيكية المسبقة من قبل Velusamy Mozhiarasi et al.[4] الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 4 لنفايات الخضار والفواكه والزهور حيث زادت عملية البثق بشكل ملحوظ إنتاجية الميثان لهذه المخلفات بنسبة 31 % و 35.5% و42.3% على التوالي مقارنة بالنفايات الخام .يظهر انتاج الميثان المعزز التي تم الحصول عليه التأثير الإيجابي للبثق على انتاج الميثان والذي يمكن ان يكون نتيجة للتحلل المائي المعزز الناتج عن المعالجة المسبقة .

المعالجة الميكانيكية المسبقة لها عيوب متطلبات الطاقة العالية ،خاصة عند معالجة النفايات العضوية القائمة على lignocellulosic .

تم استخدام المعالجة البيولوجية المسبقة لتبسيط المركبات المعقدة، بحيث يمكن للكائنات الدقيقة المشاركة في الهضم اللاهوائي استيعابها بسهولة اكبر .يشمل هذا النوع من المعالجة المسبقة المعالجة الانزيمية .

وقد اكدت الدراسات مثل تلك التي أجرتها Najwa Malik et al. [5] الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 5 ان المعالجة الانزيمية لنفايات OFMSW باستخدام كوكتيلات WB و OFMSW زادت من انتاج الغاز الحيوي بحوالي 3.6و3.2 مرة من نفايات الخام على التوالي.

تشير هذه النتائج الى ان الخلائط الانزيمية المحضرة WB و OFMSW من تخمير Aspergillus niger مسؤولة عن تحريض الانزيمات المسؤولة عن تحفيز التحلل المائي للركيزة وبالتالي زيادة انتاج الميثان .

تتضمن بعض مزايا المعالجات البيولوجية المسبقة قابلية اقل للتاكل وتشكيل منتجات اقل ضررا بسبب عدم وجود مواد كيميائية .ومع ذلك ،فان عمليات ماقبل المعالجة البيولوجية بطيئة للغاية وتتطلب العديد من الانزيمات المحددة بسبب التركيب الغير متجانس للمواد العضوية .

يمكن ان نستنتج ان كل من المعالجات المسبقة الميكانيكية والحرارية والكيميائية والبيولوجية ثبتت فعاليتها في زيادة انتاج الميثان وتقصير وقت الهضم من خلال تعزيز مرحلة التحلل المائي لعملية الهضم اللاهوائي ، وبالتالي يمكن اختيار نوع المعالجة وفقا لمتطلبات الطاقة والتاثيرات الجانبية لكل معالجة .

IV-3-الهضم المشترك

IV-3-1 تحليل دراسات السابقة

- ✓ **<u>دراسة تحليلية رقم1</u>**

Effects ofCo-digestion of Camel Dung and Municipal Solid Wastes On Quality Of Biogaz ,Methane and Biofertilizer Production(2017)[7]

تقدم هذه الدراسة تقييما لتجربة على نطاق معمل لجودة انتاج الغاز الحيوي والاسمدة الحيوية من الهضم المشترك لنفايات الصلبة البلدية وروث الإبل.

الجدول $(6-IV)$: ملخص دراسة حول اثار الهضم المشترك لروث الإبل ونفايات الصلبة البلدية على جودة انتاج الغاز الحيوي والميثان والاسمدة الحيوية.

إسم المؤلف	Benaissa Nawel khaira
إسم المجلة	Journal of Advanced Research in fluid Mechanics and thermal Sciences Volume 40 ,Issue 1(2017)7-17
الركائز المشتركة (Co-substrats)	النفايات الصلبة البلدية وروث الابل
الهاضم	الغير مستمر
pH	7.0-8.1
درجة الحرارة	40°C
C/N	25.8 :1
ORL	0.6KG per Day
زمن الاحتفاظ الهيدروليكي	35يوما
النتيجة	أظهرت النتائج المتحصل عليها **ان انتاج الميثان من النفايات الصلبة البلدية مع روث الابل اعلى (57.3%) مقارنة بالهضم الأحادي لروث الابل (45.6%).**

✓ **دراسة تحليلية رقم 2**

Biogaz and ch4 quality and productivity by co-digesting dromedary dung with kitchen waste and sewage sludge water under mesophilic conditions (2017)[8]

تقدم هذه الدراسة تقييما لتجربة على نطاق معمل لجودة انتاج الغاز الحيوي والاسمدة الحيوية من ثلاث ركائز مختلفة نفايات المطبخ ومياه الصرف الصحي وروث الإبل.

الجدول $(7-IV)$: ملخص دراسة حول تأثير الهضم المشترك ل مخلفات المطبخ و روث الابل ومياه الصرف الصحي.

إسم المؤلف	K.Benaissa et al
إسم المجلة	Journal of Foundamental and Applied Sciences
الركائز المشتركة (Co-Substrats)	روث الابل ونفايات المطبخ ومياه الصرف الصحي
الهاضم	الغير مستمر
pH	5-7.4
درجة الحرارة	31°C-35°C
النسبة C/N	27 :1
ORL	/
HRT	30يوما
النتيجة	أظهرت النتائج المتحصل عليها ان الركائز الثلاثة المشتركة انتجت اعلى محتوى من الميثان (64.51%) .

IV-3-2 مناقشة وتحليل الدراسات السابقة

الهضم اللاهوائي المتزامن بين اثنين او أكثر من الركائز او ما يسمى بالهضم المشترك اظهر إمكانية تحقيق انتاج اعلى للغاز الحيوي. هذه الاستراتيجية مفيدة على الهضم الأحادي بسبب عدة عوامل مثل تحسين النسبة C/N توازن المغذيات ,تعزيز قدرة التخزين المؤقت وتخفيف المركبات السامة وتحقيق التأثير المشترك الإيجابي للنشاط الميكروبي وبالتالي زيادة إنتاجية الميثان الحيوي مقارنة بالهضم الأحادي[9].في دراسة K.Benaissa . [7]الملخصة في الدراسة التحليلية 1، ركزت على تأثير الهضم المشترك للنفايات الصلبة البلدية وروث الابل على جودة انتاج الغاز الحيوي اشارت الدراسة التجريبية الى ان انتاج الميثان من النفايات الصلبة البلدية مع روث الابل اعلى (57.3%) مقارنة بالهضم الأحادي لروث الابل (45.6%).

تكشف هذه الأرقام عن القابلية العالية للتحلل البيولوجي للنفايات الصلبة البلدية ب روث الابل .ومع ذلك ,فان النفايات الصلبة البلدية تحتوي على مواد معقدة ضخمة من الصعب تحللها مما يجعل عملية الهضم صعبة ,لذلك فان عملية الهضم المشترك للركائز الغنية بالنتروجين مثل روث الابل يمكن ان تكمل بعضها البعض وبالتالي تقليل التأثير المثبط .تحسنت النسبة C/N الى قيمة مثلى 25.8 :1 فمن الواضح ان الهضم اللاهوائي ل روث الابل والنفايات الصلبة البلدية قدم ظروفا افضل للكائنات الحية الدقيقة المشاركة في عملية الهضم اللاهوائي .وفي دراسة أخرى لهاK . Benaissa. [8] الملخصة في الدراسة 2 ،لتحقق من اثار الهضم المشترك لروث الابل ونفايات المطبخ وحماة مياه الصرف الصحي أظهرت النتائج المتحصل عليها ان الركائز الثلاثة المشتركة انتجت اعلى محتوى من الميثان (64.51%) حيث تأكد هذه النتائج العناصر الغذائية المتوازنة في المواد الأولية والتدهور العالي للمواد العضوية نتيجة الهضم المشترك .

الهضم المشترك بالإضافة الى انه يحسن استقرار عملية الهضم اللاهوائي ،فانه يوفر فرصة لاعادة تدوير مجموعة متنوعة من النفايات بالاضافة الى انه فعال من حيث التكلفة للتغلب على المشاكل مثل نقص المغذيات التي تقلل من أداء العملية.

IV-3- الاس الهيدروجيني pH

IV-3-1-تحليل الدراسات السابقة

❖ دراسة تحليلية رقم 1

Enhancing biogaz generation performance from food wastes by hig-solide thermophilic anaerobic digestion :Effect of PH adjustment (2015)[10]

تهدف هذه الدراسة الى التحقيق في تأثير تعديل الاس الهيدروجيني على توليد الغاز الحيوي من مخلفات الطعام اثناء عملية الهضم اللاهوائي .

الجدول $(IV-8)$: ملخص دراسة حول تأثير تعديل الاس الهيدروجيني على تحسين أداء توليد الغاز الحيوي من نفايات الطعام عن الطريق الهضم اللاهوائي.

إسم المؤلف	Lili Yang et al
إسم المجلة	International Biodeterioration & Biodegradation 105(2015) 153-159
الركيزة(substrates)	مخلفات الطعام
اللقاح(Inoculum)	الحماة اللاهوائية
الهاضم	الغير مستمر
pH	تم اجراء التجارب على اربع دفعات مع درجة حموضة أولية مختلفة على النحو التالي : كانت الدفعة 1 المجموعة الضابطة (B1) وتم ضبط الدفعة 2,3,4 (B2 B3 B4) على 9 -8 -7 على التوالي.
درجة الحرارة	50°C
HRT	24 يوم
النتيجة	وصلت المجموعة ذات pH=8 الى الحد الأقصى لإنتاج الميثان والذي كان اعلى 7.57 مرة من مجموعة pH غير المتحكم فيها

❖ **دراسة تحليلية رقم 2**

Effect of initial PH on anaerobic co-digestion of Kitchen Waste and cow manure(2015)[11]

هدفت هذه الدراسة الى التعرف على تأثيرات خمس قيم أولية مختلفة للاس الهيدروجيني على الهضم المشترك لمخلفات المطبخ وروث البقر من اجل الحصول على بيئة هضم اكثر استقرارا واقصى انتاج للميثان.

الجدول $(IV-9)$: ملخص دراسة حول تأثير الاس الهيدروجيني الاولي على الهضم اللاهوائي المشترك لنفايات المطبخ وروث البقر.

إسم المؤلف	Ningning Zahi
إسم المجلة	Waste Management (2015)
عنوان المقال	Effect of initial PH on anaerobic co-digestion of Kitchen Waste and cow manure
الركائز المشتركة (Co-Substrates)	مخلفات المطبخ وروث البقر
اللقاح(Inoculum)	الحماة اللاهوائية
الهاضم	الغير مستمر
pH	تم اجراء التجارب على 6 دفعات مع درجة حموضة أولية مختلفة 6 -6.5 -7- 7.5 -8 ودرجة حموضة أولية غير مضبوطة (CK)
درجة الحرارة	35°C
HRT	45 يوم
النتيجة	تم الحصول على اقصى إمكانات انتاج الميثان(8579ml) عندما كان pH الاولي 7.5

IV-3-2- مناقشة وتحليل الدراسات السابقة

الرقم الهيدروجيني احد اهم العوامل لاستقرار نظام الهضم اللاهوائي. والتي يمكن ان تؤثر على نشاط الكائنات الدقيقة الحمضية و الميثانية .في مرحلة مبكرة من عملية الهضم اللاهوائي ,يتم تحويل المواد العضوية القابلة للذوبان الى احماض دهنية 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 اللاهوائي . تعد البكتيريا المولدة للاسيتات والبكتيريا المولدة للميثان اكثر صعوبة في التكيف مع تغيرات الاس الهيدروجيني من الكائنات الحية الدقيقة الأخرى .وذلك لان البكتيريا المولدة للاسيتات تنتج احماض عضوية متطايرة يتم تحويلها الى حمض اسيتيك وهيدروجين وثاني أكسيد الكربون ،مما يؤدي الى تحمض البيئة التي تؤثر بشكل سلبي على نشاط البكتيريا المولدة للميثان .لتحقيق استقرار العملية وزيادة انتاج الغاز الحيوي تم التحكم في pH والتي غالبا ما يكون عن طريق إضافة NaOH لتعزيز انتاج الغاز الحيوي بشكل فعال [12] .

في دراسة Lili Yang et al.[10] الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 1 ،تم التحقق من تأثير تعديل pH على انتاج الغاز الحيوي من نفايات الطعام من خلال الهضم اللاهوائي عالي المواد الصلبة ،حيث تم التحقق من اثار 3 قيم أولية مختلفة للpH (B4) (B3) (B2) تم ضبطها على 9 -8 -7 على التوالي ودرجة حموضة أولية غير مضبوطة (B1) اشارت النتائج الى زيادة انتاج الميثان لمجموعات الاس الهيدروجيني 7و8و9 ووصلت المجموعة ذات الاس الهيدروجيني 8 الى الحد الأقصى لإنتاج الميثان والذي كان اعلى 7.57 مرة من مجموعة الاس الهيدروجيني غير المتحكم فيها . كانت هذه النتائج مماثلة لدراسة Ningning Zhai et al.[11]الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 2 حيث درس التحقق من اثار 5 قيم pH أولية مختلفة 6 و6.5 و7 و7.5 و8 ودرجة حموضة أولية غير مضبوطة (CK)على الهضم المشترك ل نفايات الطعام وروث البقر .اظهرت النتائج فشل (CK) والهضم عند pH الاولي 6 . وتم الحصول على اقصى إمكانات انتاج الميثان عندما كان pH=7.5 والذي يوصى به للهضم المشترك، وبالتالي قيم pH الأولية المناسبة عززت بالتأكيد انتاج الميثان.

IV-4 -درجة الحرارة

IV-4-1-تحليل الدراسات السابقة

- **دراسة تحليلية رقم 1**

Kinetic study on the effect of temperature on biogaz production using a lab scale batch reactor (2015) [13]

تهدف هذه الدراسة الى معرفة تأثير درجة الحرارة على انتاج الغاز الحيوي من مخلفات الطعام بشكل تجريبي في جهاز الهضم اللاهوائي.

الجدول$(IV-10)$: ملخص دراسة حول تأثير درجة الحرارة على انتاج الغاز الحيوي.

إسم المؤلف	B.Deepanraj et al
إسم المجلة	Ecotoxicology and Environmental safety
الركيزة(substrats)	مخلفات الطعام
اللقاح(Inoculum)	روث البقر
الهاضم	المفاعل الغير مستمر
pH	7
درجة الحرارة	50°C 60°Cتم الحفاظ على كل المفاعلات بدرجات حرارة مختلفة 30°C 40°C درجة مئوية
HRT	30 يوم
النتيجة	أظهرت النتائج ان المفاعل بدرجة حرارة 50C° حققت اقصى انتاج تراكمي للغاز الحيوي(7556ml)

IV-4-2-مناقشة وتحليل الدراسة السابقة

تسبب درجات الحرارة تأثيرات كبيرة على المجتمعات الميكروبية وتتدخل في استقرار عملية الهضم اللاهوائي . تم تطبيق الهضم اللاهوائي عند درجات حرارة منخفضة و AD عند درجات حرارة معتدلة و AD عند درجات حرارة عالية .

في دراسة B.Deepanraj et al.[13] تم انتاج الغاز الحيوي من مخلفات الطعام من خلال الهضم اللاهوائي في 21 مفاعلا دفعيا على نطاق درجات حرارة مختلفة 30°C ,40°C,50°C ,60°C أظهرت النتائج ان انتاج الغاز الحيوي يزيد مع زيادة درجة الحرارة حتى 50°C ثم ينخفض .

تشير هذه النتائج الى ان نشاط بكتيريا الميثانوجين المستخدمة في هذه الدراسة يعتمد على درجة حرارة العملية، وبالتالي فان درجة الحرارة العالية 50°C تكون اكثر فعالية في انتاج الغاز الحيوي من درجات الحرارة المتوسطة، ويمكن تفسير انخفاض انتاج الميثان عند 60°C الى مستويات الامونيا المثبطة عند درجات الحرارة العالية.

ومع ذلك فان هذه النتيجة لا تعني ان درجة الحرارة الأعلى هي الأكثر مثالية لان استخدام درجات الحرارة المرتفعة يتطلب تكاليف طاقة اعلى وزيادة التحكم في العملية لتحقيق درجة حرارة موحدة.

من الدراسات السابقة تمت ملاحظة ان درجات الحرارة المتوسطة يعتبر الأكثر استخداما في أجهزة الهضم اللاهوائي لتكوين الغاز الحيوي، لأنها تسمح بالحصول على هضم جيد بتكاليف طاقة اقل، علاوة على ذلك توفر درجات الحرارة المتوسطة استقرارا اعلى للعملية وحساسية اقل للتغيرات البيئية.

IV-5-وقت الاحتفاظ الهيدروليكي HRT

IV-5-1- تحليل الدراسات السابقة

- **دراسة تحليلية رقم 1**

Effect of hydraulic Retention Time On Anaerobic Digestion of Wheat Straw in the Semicontinuous Continuous Stirred-Tank Reactors (2017) [14]

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو التعرف على تأثير وقت الاستبقاء الهيدروليكي (HRT) على الهضم اللاهوائي لقش القمح على انتاج الغاز الحيوي.

الجدول $(IV-11)$: ملخص دراسة حول تأثير HRT على الهضم اللاهوائي لقش القمح.

إسم المؤلف	Xiao-shuang shi et al
إسم المجلة	Biomed Research International
الركيزة (Substrat)	قش القمح
اللقاح(Inoculum)	الحماة اللاهوائية
الهاضم	الغير مستمر
pH	5.8-7.4
درجة الحرارة	35°C
وقت الاحتفاظ الهيدروليكي	تم اجراء التجارب في 3 مفاعلات CSTR عند HRT 20و40و60 يوما
النتيجة	كان متوسط محتويات الميثان مع HRT 20و40و60 يوما 22.4% و36.9% و42.4% على التوالي.

IV-5-2- مناقشة وتحليل الدراسة السابقة

وقت الاحتفاظ الهيدروليكي HRT هو عامل تشغيل مهم للمفاعلات اللاهوائية التي يمكن ان تؤثر على انتاج الغاز الحيوي، حيث يعتمد على طبيعة وتركيب الركائز المستخدمة للتغذية ودرجة الحرارة , يوصى باستخدام HRT لفترات طويلة من اجل تسهيل التأقلم البيولوجي مع المركبات السامة وزيادة التحلل ,وبالتالي تعزيز انتاج الغاز الحيوي [15] .

في دراسة Xiao-shuang shi et al.[14] الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 1 للتحقيق من تأثير HRT 20و40و60 يوما على الهضم اللاهوائي لقش القمح باستخدام 3 مفاعلات.

اظهرت النتائج ان HRT يمكن ان يؤثر على انتاج الغاز الحيوي ومحتوى الميثان وقيم PHو VFA حيث كان متوسط محتويات الميثان مع HRT 20و40و60 يوما 22.4% و36.9% و42.4% ,وكانت قيم PH مع HRT لمدة 40و60 يوم في النطاق المقبول 6.3-7.4 بينما كان 5.8 مع HRT لمدة 20 يوم ,وكان VFA السائد في المفاعل مع HRT لمدة 20 يوم هو البروبيونات وفي المقابل كان الاسيتات هو السائد في المفاعل مع HRT لمدة 40و 60 يوما .يمكن تفسير كل هذه النتائج الا انه من المعتقد ان البروبيونات يسبب تثبيطا اكبر لنشاط الميثانوجينات من VFA الأخرى نظرا لحقيقة ان مسار التحلل البيولوجي للبروبيونات يتضمن تفاعلات انزيمية غير عادية ومعقدة .

على الرغم من ان زيادة وقت الاحتفاظ الهيدروليكي يؤدي الى زيادة انتاج الميثان ،وكفاءة إزالة الملوثات ،فان وقت الاحتفاظ الهيدروليكي الأطول يؤدي الى زيادة تكاليف التشغيل .لذلك ، من الضروري استخدام وقت احتفاظ هيدروليكي لتحقيق اقصى قدر من الأرباح .

IV-6-معدل التحميل العضوي OLR

IV-6-1 تحليل الدراسات السابقة

- **<u>دراسة تحليلية رقم 1</u>**

Effects of organic loading rate and temperature fluctuation on the microbial community and performance of anaerobic digestion of food waste (2020) [16]

تم اجراء التخمير اللاهوائي لمخلفات الطعام باستخدام مفاعل حراري يعمل بالطاقة الشمسية لاستكشاف تأثيرات معدل التحميل العضوي (OLR) على أداء المفاعل.

الجدول$(IV-12)$: ملخص دراسة حول اثار OLR على أداء AD.

اسم المؤلف	Qin yu et al
اسم المجلة	Environmental Science and pollution Research
الركيزة (Substrat)	مخلفات الطعام
اللقاح (Inoculum)	الحماة
الهاضم	مفاعلات التشغيل شبه المستمرة تعمل بالطاقة الشمسية
درجة الحرارة	37°C
PH	6.52
OLR	تم تقييم اربع قيم Kg/m3Day vs 2.0-4.0-6.0- OLRS(7.0
وقت الإحتفاظ الهيدروليكي	60يوم
النتيجة	أظهرت النتائج ان افضل إنتاج للميثان تم تحقيقه عندما كان OLRل 6.0 vs Kg/ m^3 Day

- **<u>دراسة تحليلية رقم 2</u>**

Anaerobic digestion of food waste to methane at various organic loading rates (OLRs) and hydraulic retention times(2015)[17].

في هذه الدراسة تم تقييم الهضم اللاهوائي لمخلفات الطعام في ظل أنظمة مختلفة OLRs وHRTs ودرجات الحرارة (المعتدلة والعالية).

الجدول $(IV-13)$: ملخص دراسة حول اثار OLRs وHRTs في الأنظمة Thermophilic-mesophilic على انتاج الميثان.

إسم المجلة	Environmental Engineering Research 21 (1) 69-73
إسم المؤلف	Gopalakrishnan Kumar
الركيزة(Substrat)	مخلفات الطعام
اللقاح (Inoculum)	الحماة اللاهوائية
الهاضم	مفاعلات خزان التحريك المستمر
درجة الحرارة	تم تقييم نطاقين لدرجة الحرارة (المعتدلة والعالية)
pH	/
OLR	OLRs(1-1.66-2.08-3.33-4.58-5.5-6.1Kg COD/m^3-d)
HRT	HRTs(18-20-24-30 Day)
النتيجة	أظهرت النتائج ان زيادة معدل OLR أدى الى زيادة أداء انتاج الميثان في كل من mesophilic and thermophilic ranges وبلغت إنتاجية الميثان الذروة عند OLR 6.1 وHRT 24 يوم في كلتا الحالتين.

IV-6-2-مناقشة وتحليل النتائج

معدل التحميل العضوي هو متغير اخر من المتغيرات في عملية AD والذي يؤثر على الميثانوجينات وبالتالي انتاج الغاز الحيوي.

على الرغم من انه من المتوقع ان يؤدي الحمل العضوي المرتفع الى زيادة انتاج الميثان الا انه من الناحية العلمية ليس صحيح تماما ،حيث انه يمكن ان يسبب مشاكل في التثبيط.

يمكن ان تؤدي معدلات التحميل العالية جدا الى تحمض لارجعة فيه وفشل العملية .الركائز التي يمكن تحللها بسهولة وذات قدرة تخزين منخفضة ستتراكم VFA مما يؤدي الى انخفاض درجة الحموضة وتثبيط البكتيريا المولدة للميثان عند زيادة معدل التحميل.[18]

بعض المؤلفين مثل Gopalakrishnan Kumar et al .[16] الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 1 قام بتقييم مشترك لتأثير الحمل العضوي ودرجة الحرارة (المعتدلة والعالية).(على الهضم اللاهوائي لمخلفات الطعام .

تم استخدام الاحمال العضوية التالية في دراستهم 6.1, 5.5, 4.58, 3.33, 2.08, 1.66, 1 . $KgCOD/m^3-d$

وجد ان مع زيادة OLR تزيد من انتاج الميثان في كل من أنظمة درجة الحرارة (المعتدلة والعالية) وتم تحقيق إنتاجية ميثان افضل عند النطاقات العالية بسبب التحلل المائي الفعال لمخلفات الطعام في درجات الحرارة المرتفعة .

وفي دراسة Qin Yu et al.[17] الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 2 ،تم اجراء الهضم اللاهوائي باستخدام مفاعل حراري يعمل بالطاقة الشمسية لاستكشاف تأثيرات (OLRs : 2.0 , 4.0, (6.0 , 7.0 Kg/(m3 day) على أداء المفاعل.

أظهرت النتائج ان افضل انتاج للميثان تم تحقيقه عندما كان OLR 6.0 Kg(m3 day)VS ولم تعمل بثبات عند القيم الأقل من 6.0Kg(m3 Day)VS وهذا ما يوضح ان البكتيريا المولدة للميثان كانت تعاني من الجوع لان الطلب على العناصر الغذائية كانت اعلى من إضافة المواد عند OLR 2.0,4.0 Kg(m3 Day)VS, ومع ذلك عند زيادة OLR الى 7.0Kg(m^3 Day)VS انخفض انتاج الميثان لان في الظروف العالية للغاية من OLR يكون معدل التحلل المائي /انتاج الحمض اعلى بكثير من معدل انتاج الميثان مما يؤدي الى تراكم VFA والانخفاض المفاجئ في درجة الحموضة مما يثبط نشاط الميثانوجينات .

IV-7-اللقاح (inoculum)

IV-7-1- تحليل الدراسات السابقة

- **دراسة تحليلية رقم 1**

Methane production from anaerobic co-digestion of sludge with fruit and vegetable wastes :effect of mixing ratio and inoculum type(2020)[19]

الهدف من هذه الدراسة هو تعزيز انتاج غاز الميثان من الهضم اللاهوائي المشترك للحماة الأولية مع مخلفات الفاكهة والخضروات باستخدام أنواع مختلفة من اللقاحات.

الجدول $(IV-14)$: ملخص دراسة حول تأثير أنواع اللقاح على تحسين انتاج الميثان.

إسم المجلة	Biomass Conversion and Biorefinery
إسم المؤلف	Mahmoud Elsayed
الركيزة(Substrat)	الحماة الأولية ومخلفات الفاكهة والخضروات
اللقاح(Inoculum)	تم إستخدام ثلاثة أنواع من اللقاح لفحص اللقاح الأمثل لاكبر انتاج للميثان (روث البقر والحماة المنشطة والحماة الفائضة)
الهاضم	المفاعلات الغير مستمرة
درجة الحرارة	37°C
pH	7-7.2
HRT	30يوم
النتيجة	انتاج الميثان باستخدام الحماة المنشطة كلقاح اعلى 2.56 مرة من روث البقر ,و 1.18 مرة اكثر من استخدام الحماة الزائدة كلقاح

IV-7-2-مناقشة وتحليل الدراسة

يعتبر اللقاح عاملا مهما في تشغيل مفاعلات AD لأنه يساهم في زيادة في الكائنات الحية الدقيقة في المفاعل ,حيث يتم تحسين انتاج الغاز الحيوي والهضم باستخدام اللقاح المناسب.

في دراسة Mahmoud Elsayed et al.[19] الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 1 تمت دراسة الهضم اللاهوائي المشترك لمخلفات الخضر والفواكه والحماة الأولية باستخدام ثلاثة أنواع من اللقاح لفحص اللقاح الأمثل لأكبر انتاج للميثان 1 روث البقر 2 الحماة المنشطة 3 الحماة الفائضة.

أظهرت النتائج ان انتاج الميثان من الحماة المنشطة كلقاح اعلى 2.52 مرة و1.18 مرة من استخدام روث البقر والحماة الفائضة كلقاح على التوالي ,وهذا ما يرافقه إزالة اعلى لVS الذي كان مرتبطا بإنتاج الميثان بالإضافة الى قيم pH المستقرة التي توفر بيئة ملائمة للبكتيريا المولدة للميثان لإنتاج ميثان مرتفع.

الحماة المنشطة هي اكثر اللقاحات نشاطا نظرا لاحتوائها على عدد كبير من البكتيريا المنشطة المولدة للاسيتات والميثانوجينات .

IV-8-المحتوى الصلب SC ،نسبة الغذاء /اللقاح F/I، نسبة الكربون /النتروجين C/N

IV-8-1 تحليل الدراسات السابقة

- **دراسة تحليلية رقم 1**

Optimization of solid content ,carbon/nitrogen ratio and food/incoulum ratio for biogas production from food waste(2016)[20]

كانت الأهداف من هذه الدراسة (1) تحسين شروط انتاج الميثان من نفايات الطعام (2) فحص الأهمية النسبية لثلاثة عوامل في انتاج الميثان من مخلفات الطعام المعلمات المختارة هي المحتوى الصلب (SC) نسبة الغذاء / اللقاح (F/I) نسبة الكربون/النتروجين (C/N).

الجدول $(IV-15)$: ملخص دراسة حول تحسين (SC) و(C/N) و (F/I) على انتاج الغاز الحيوي من نفايات الطعام.

إسم المؤلف	Filiz Dadaser-celik
إسم المجلة	Waste Management & Research
الركيزة(Substrat)	مخلفات الطعام
اللقاح (Inoculum)	تم الحصول على اللقاح من مفاعل الميثانوجين لمصنع Pakamaya Yeast Factory في ازمير
الهاضم	المفاعلات الغير مستمرة
HRT	24 يوم
المحتوى الصلب	تم اختيار ثلاث مستويات 4% 8% 12 %
نسبة الغذاء/اللقاح	تم اختيار ثلاث مستويات vs1 vs0.5 vs0.3
النسبة C/N	28 32 36
النتيجة	في هذه الدراسة كانت SC هي اهم معلمة تؤثر على عملية الهضم وتم الحصول على اعلى متوسط انتاج تراكمي للميثان عند SC بنسبة C/N , 4 من 28 وf/I من 0.3

IV-8-2-مناقشة وتحليل الدراسة

تعتبر النسبة C/N والمحتوى الصلب SC ونسبة الغذاء /اللقاح F/I المثلى ضرورية للغاية للهضم اللاهوائي .

ركزت معظم الدراسات على فهم دور المعلمة الفردية في انتاج الغاز الحيوي ،وكانت الدراسات التي فحصت الأهمية النسبية للعديد من المعلمات ومستوياتها المثلى نادرة .

وفقا ل Filiz Dadaser-celik et al.[19] الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 1 درسو تأثير ثلاث معلمات على انتاج الميثان المحتوى الصلب SC,نسبة الكربون الى النتروجين C/N ونسبة الغذاء/اللقاح F/I وتم اختيار ثلاث مستويات لكل معلمة .

في هذه الدراسة وجد ان اهم عامل هي SC حيث تم الحصول على اعلى متوسط انتاج تراكمي للميثان عند SC بنسبة 4% مقارنة مع 8% و12% أي ان انتاج الميثان يقل مع زيادة SC ويمكن تفسير ذلك ان تنقل الميثانوجينات داخل الركيزة يتأثر تدريجيا بزيادة SC .

كما تم الحصول على اعلى متوسط انتاج تراكمي للميثان عند F/I 0.3 VS مقارنة ب 0.5 vs و1vs أي ان عند النسبة F/I الأعلى يكون هناك انتاج اقل للميثان ,وانخفاض سعة التخزين المؤقت للمفاعلات مما يسهل تحمض النظام وبالتالي يمنع عملية AD.

بالإضافة الى اعلى متوسط انتاج تراكمي للميثان تم الحصول عليه عند نسبة C/N 28 مقارنة ب 32و36 أي ان إذا كانت النسبة C/N العالية فان عملية انتاج الميثان تستهلك النتروجين بسرعة مما يؤدي الى انخفاض انتاج الميثان.

IV-9- الإضافات

IV-9-1-تحليل الدراسات السابقة

- **دراسة تحليلية رقم 1**

Effect of zinc supplementation on Biogas production and short/long chain Fatty Acids Accumulation During Anaerobic Co-digestion of Food Waste and Domestic Wastewater(2018)[21]

الهدف من الدراسة هو تكميل ZN^{2+} بتركيزات مختلفة مع هضم مشترك لخليط من مخلفات الطعام ومياه الصرف الصحي لمعرفة المزيد من وجود التأثيرات التحفيزية /المثبطة لهذا العنصر الدقيق على انتاج الغاز الحيوي.

الجدول $(IV-16)$: ملخص دراسة حول تأثير مكملات الزنك على انتاج الغاز الحيوي اثناء AD لمخلفات الطعام ومياه الصرف الصحي.

إسم المؤلف	Pak Chuen Chan et al
إسم المجلة	Waste and Biomass Valorization
الركيزة(Substrat)	نفايات الطعام ومياه الصرف الصحي
اللقاح(Inoculum)	الحماة النشطة
الهاضم	الغير مستمر
الإضافات	مكملات الزنك المقدمة على شكل $ZnCl_2$ بتركيزات مختلفة 50 ,70,100 mg/l Zn^{2+}
pH	7.6
درجة الحرارة	37C°
HRT	140 يوم
النتيجة	أدت مكملات الزنك المؤثرة ب 100mg/l Zn^{2+} الى انخفاض تراكم VFA أي تحسين تحويل المواد العضوية الى ميثان

- **دراسة تحليلية رقم 2**

Performance and kinetic evaluation of a semi-continuously fed anaerobic digester treating food waste :effect of trace elements on the digester recovery and stability(2014) [22]

هو التحقق من تأثير إضافة العناصر النزرة TEs(Ni ,Fe,Co) على استعادة الأنظمة اللاهوائية غير المستقرة التي تعالج كمخلفات للطعام .

الجدول $(IV-17)$: ملخص لدراسة حول تأثير العناصر النزرة على استقرار الهضم.

إسم المؤلف	Quanyuan Wei et al
إسم المجلة	Q . Wei et al
الركيزة(Substrat)	مخلفات الطعام
اللقاح(Inoculum)	الحماة اللاهوائية
الهاضم	مفاعلات التشغيل شبه مستمرة
الإضافات	العناصر النزرة TE Fe ,Co ,Ni
pH	7
درجة الحرارة	37C°
OLR	تم تشغيل أجهزة الهضم بOLRs تتراوح من 1.0 الى 5.0g VS L^{-1} d^{-1}
HRT	460يوم
النتيجة	أدت إضافة TEsتدريجيا الى تقليل تثبيط VFA والحفاظ على استقرار العملية وسمحت بعمليات تحميل عضوي اعلى .

- **دراسة تحليلية رقم 3**

Enrichment of specific electro-active microorganisms and enhancement of methane production by adding granular activated carbon in anaerobic reactors (2016) [23]

كان الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو اختبار ما إذا كان يمكن تحقيق النقل المباشر للإلكترون DIET بين البكتيريا عبر الكربون النشط الحبيبي GAC وتحسين انتاج الغاز الحيوي.

الجدول$(IV-18)$: ملخص دراسة حول تعزيز انتاج الميثان عن طريق إضافة GAC في المفاعلات اللاهوائية.

إسم المؤلف	Jung-yeol lee et al
إسم المجلة	Bioresource Technology 205(2016) 205-212
الركيزة(Substrat)	مياه الصرف الصناعي
اللقاح(Inoculum)	الحماة اللاهوائية
الهاضم	المفاعل الغير مستمرة
الإضافات	مكملات الكربون المنشط الحبيبي GAC
pH	7.2
درجة الحرارة	35°C
HRT	45 يوم
النتيجة	مكملات GAC في المفاعل سهلت DIET بين الكائنات الحية الدقيقة المتميزة وبالتالي تحسين الميثان حيث زاد معدل انتاج الميثان في المفاعل المكمل ب GAC بمقدار 1.8 مرة مقارنة بالمفاعل الذي لا يحتوي على GAC

- **دراسة تحليلية رقم4**

Effect of Nickel-containing Activated Carbon on Food Waste Anaerobic Digestion (2018)[24]

الهدف من الدراسة:

كان الهدف من هذه الدراسة هو تقييم التطبيق المحتمل لمادة الكربون النشط المحتوي على النيكل AC-NI في AD لمخلفات الطعام.

الجدول $(IV-19)$: ملخص دراسة حول تأثير الكربون النشط المحتوي على النيكل AC-Ni على AD لمخلفات الطعام.

إسم المؤلف	Jae Hac Ko et al
إسم المجلة	Accepted Manuscript
الركيزة(Substrat)	مخلفات الطعام
اللقاح(Inoculum)	الحماة اللاهوائية
الهاضم	المفاعل الغير مستمر
الإضافات	الكربون النشط AC والنيكل NI والكربون النشط المحتوي على النيكلAC-NI
pH	8
درجة الحرارة	35°C
HRT	36 يوم
النتيجة	كشفت النتائج ان AC-NI تم إثبات انه يقصر طور تأخر الميثانوجين وتعزيز معدل انتاج الميثان.

- **دراسة تحليلية رقم 5**

Conductive iron oxides accelerate thermophilic methanogenesis from acetate and propionate (2014)[25]

تحققت هذه الدراسة مما اذا كان تحلل الاسيتات والبروبيونات عن طريق المجتمعات الميكروبية المشتقة من AD المحب للحرارة معزز بمكملات اكاسيد الحديد الموصلة (أكسيد الحديد الاسود).

الجدول $(IV-20)$: ملخص دراسة تأثير اكاسيد الحديد الموصلة على تسريع تكوين الميثان من الاسيتات

إسم المؤلف	Chihaya Yamada et al
إسم المجلة	Journal of Bioscience and Bioengineering
الركيزة(Substrat)	الاسيتات والبروبيونات
اللقاح(Inoculum)	الحماة اللاهوائية
الإضافات	مكملات اكاسيد الحديد الموصلة(أكسيد الحديد الأسود)
pH	7.2
درجة الحرارة	55°C
HRT	80 يوم
النتيجة	في هذه الدراسة أوضحت ان امداد جسيمات الحديد الموصلة قد أدى الى تسريع تكوين الميثان في المجتمعات المولدة للميثان.

IV-9-2-مناقشة وتحليل الدراسة السابقة

يمكن تحقيق النشاط الميكروبي المحسن وإنتاج الطاقة الحيوية باستخدام المضافات الكيميائية والبيولوجية والمعدنية ,لأنها توفر العناصر الغذائية لنمو الميكروبات وتسهل نقل الالكترون بين الخلايا وتحسن أنشطة الانزيمات ونمو الميثانوجينات وبالتالي استقرار عملية AD .

تساهم إضافة المواد الكيميائية مثل الكاتيونات المعدنية والمغذيات الدقيقة في زيادة عدد الميكروبات وبالتالي زيادة انتاج الغاز الحيوي[26] .

درس Pak chuen chan et al.[20] الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 1 ،تأثير مكملات الزنك عند تركيزات مختلفة على انتاج الغاز الحيوي وتراكم VFAs اثناء الهضم اللاهوائي لمخلفات الطعام ومياه الصرف الصحي .

أظهرت النتائج انه مع زيادة مكملات الزنك زادت إنتاجية الميثان بنسبة 30-65% مقارنة بالتحكم بدون مكملات الزنك ,أي ارتفاع تحويل المادة العضوية الى ميثان لان هذا العنصر الدقيق ضروري للعديد من الانزيمات المشاركة في التفاعلات اللاهوائية .

Quanyuan Wei et al.[21] الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 2 ، وجدو أيضا ان إضافة Fe ,Ce,Ni في AD لمخلفات الطعام أدت الى تقليل تثبيط VFAs وزيادة انتاج الميثان واستقرار عملية AD.

تشير هده النتائج الى ان النقص في المغذيات الدقيقة في معظم الركائز هو احد العوامل المساهمة في تراكمات ومثبطات VFAs .

تم اقتراح فائدة مواد الكربون الموصلة نظرا للمسام الموجودة على اسطحها يمكن ان تخدم اغراضا متعددة مثل امتصاص المركبات العضوية السامة التي قد تمنع النشاط الميكروبي داخل AD ويوفر GACمساحة عالية للتوصيل الميكروبي وتعزيز النقل المباشر للإلكترون بين الأنواع DIETفي عملية AD [5].

في دراسة اجراها Jung-yeol Lee.[22] الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 3 ،الذي تحقق من تاثير GAC على الهضم اللاهوائي لمياه الصرف الصناعي.

اظهر المفاعل المجهز ب GAC معدل انتاج ميثان اعلى 1.8 مرة من المفاعل بدون GAC.

Jae Hac Ko et al.[23] الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 4 ، اجرى تجارب لاستنباط تأثيرات الكربون النشط المحتوي على النيكل AC-Ni على الهضم اللاهوائي لنفايات الطعام حيث تم اثبات ان AC-Ni يقصر مرحلة تأخر الميثانوجين ويعزز زيادة انتاج الميثان .

تؤكد هذه النتائج ان مواد الكربون الموصلة يمكن ان تزيد من انتاج الميثان من خلال تسهيل DIET وامتصاص المواد السامة التي تمنع تكوين الميثان .

تشير العديد من الدراسات الى تأثير اكاسيد المعادن على انتاج الميثان مثل أكسيد الحديد الموصلة في دراسة chihaya Yamada et al.[24] الملخصة في الدراسة التحليلية رقم 5 ،للتحقق ما اذا كان تحلل الاسيتات والبروبيونات بواسطة المجتمعات الميكروبية المشتقة من هضم لاهوائي محب للحرارة قد تم تعزيزه عن طريق مكملات اكاسيد الحديد الموصلة (أكسيد الحديد الأسود) حيث تبين ان امداد جسيمات الحديد الموصلة قد أدى الى تسريع تكوين الميثان وهدا ما يشير الى ان مكملات أكسيد الحديد الأسود زادت من معدل التحلل الميثانوجيني للاسيتات والبروبيونات عن طريق تحفيز التركيب الكهربائي بين البكتيريا المؤكسدة للاسيتات والبروبيونات.

[01] Dasgupta, A., & Chandel, M. K. (2020). Enhancement of biogas production from organic fraction of municipal solid waste using acid pretreatment. Journal of SN Applied Sciences (2020) 2:1437.

[02] Dasgupta, A., & Chandel, M. K. (2020). Enhancement of biogas production from organic fraction of municipal solid waste using alkali pretreatment. Journal of Material Cycles and Waste Management, 1-11.

[03] Dasgupta, A., & Chandel, M. K. (2019). Enhancement of biogas production from organic fraction of municipal solid waste using hydrothermal pretreatment. Bioresource Technology Reports, 7, 100281.

[04] Mozhiarasi, V., Weichgrebe, D., & Srinivasan, S. V. (2020). Enhancement of Methane Production from Vegetable, Fruit and Flower Market Wastes Using Extrusion as Pretreatment and Kinetic Modeling. Water, Air, & Soil Pollution, 231(3), 1-21.

[05] Mlaik, N., Khoufi, S., Hamza, M., Masmoudi, M. A., & Sayadi, S. (2019). Enzymatic pre-hydrolysis of organic fraction of municipal solid waste to enhance anaerobic digestion. Biomass and Bioenergy, 127, 105286.

[06] Principi, P., König, R., & Cuomo, M. (2019). Anaerobic digestion of lignocellulosic substrates: benefits of pre-treatments. Current Sustainable/Renewable Energy Reports, 6(3), 61-70.

[07] Kheira, B. N., Dadamoussa, B., Bendraoua, A., Mel, M., & Labed, B. (2017). Effects of co-digestion of Camel Dung and municipal solid wastes on quality of biogas, methane and biofertilizer production. J Adv Res Fluid Mech Therm Sci, 40, 7-17.

[08] Benaissa, K., Dadamoussa, B., & Bendraoua, A. (2017). Biogas and CH4 quality and productivity by co-digesting dromedary dung with kitchen waste and sewage sludge water under mesophilic conditions| Benaissa. J Fundam Appl Sci, 9(3), 1701-17.

[09] Bouallagui, H., Touhami, Y., Cheikh, R. B., & Hamdi, M. (2005). Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. Process biochemistry, 40(3-4), 989-995.

[10] Yang, L., Huang, Y., Zhao, M., Huang, Z., Miao, H., Xu, Z., & Ruan, W. (2015). Enhancing biogas generation performance from food wastes by high-solids thermophilic anaerobic digestion: Effect of pH adjustment. International Biodeterioration & Biodegradation, 105, 153-159.

[11] Zhai, N., Zhang, T., Yin, D., Yang, G., Wang, X., Ren, G., & Feng, Y. (2015). Effect of initial pH on anaerobic co-digestion of kitchen waste and cow manure. Waste management, 38, 126-131.

[12] Montañés, R., Pérez, M., & Solera, R. (2014). Anaerobic mesophilic co-digestion of sewage sludge and sugar beet pulp lixiviation in batch reactors: Effect of pH control. Chemical Engineering Journal, 255, 492-499.

[13] Deepanraj, B., Sivasubramanian, V., & Jayaraj, S. (2015). Kinetic study on the effect of temperature on biogas production using a lab scale batch reactor. Ecotoxicology and Environmental Safety, 121, 100-104.

[14] Shi, X. S., Dong, J. J., Yu, J. H., Yin, H., Hu, S. M., Huang, S. X., & Yuan, X. Z. (2017). Effect of hydraulic retention time on anaerobic digestion of wheat straw in the semicontinuous continuous stirred-tank reactors. BioMed research international, 2017.

[15] Rawoof, S. A. A., Kumar, P. S., Vo, D. V. N., & Subramanian, S. (2020). Sequential production of hydrogen and methane by anaerobic digestion of organic wastes: a review. Environmental Chemistry Letters, 1-21.

[16] Yu, Q., Feng, L., & Zhen, X. (2021). Effects of organic loading rate and temperature fluctuation on the microbial community and performance of anaerobic digestion of food waste. Environmental Science and Pollution Research, 28(11), 13176-13187.

[17] Kumar, G., Sivagurunathan, P., Park, J. H., & Kim, S. H. (2016). Anaerobic digestion of food waste to methane at various organic loading rates (OLRs) and hydraulic retention times (HRTs): Thermophilic vs. mesophilic regimes. Environmental Engineering Research, 21(1), 69-73.

[18] Methane production from anaerobic co-digestion of sludge with fruit and vegetable wastes: effect of mixing ratio and inoculum type.

[19] Dadaser-Celik, F., Azgin, S. T., & Yildiz, Y. S. (2016). Optimization of solid content, carbon/nitrogen ratio and food/inoculum ratio for biogas production from food waste. Waste Management & Research, 34(12), 1241-1248.

[20] Chan, P. C., de Toledo, R. A., Iu, H. I., & Shim, H. (2019). Effect of zinc supplementation on biogas production and short/long chain fatty acids accumulation during anaerobic co-digestion of food waste and domestic wastewater. Waste and Biomass Valorization, 10(12), 3885-3895.

[21] Wei, Q., Zhang, W., Guo, J., Wu, S., Tan, T., Wang, F., & Dong, R. (2014). Performance and kinetic evaluation of a semi-continuously fed anaerobic digester treating food waste: effect of trace elements on the digester recovery and stability. Chemosphere, 117, 477-485.

[22] Lee, J. Y., Lee, S. H., & Park, H. D. (2016). Enrichment of specific electro-active microorganisms and enhancement of methane production by adding granular activated carbon in anaerobic reactors. Bioresource technology, 205, 205-212.

[23] Ko, J. H., Wang, N., Yuan, T., Lü, F., He, P., & Xu, Q. (2018). Effect of nickel-containing activated carbon on food waste anaerobic digestion. Bioresource technology, 266, 516-523.

[24] Yamada, C., Kato, S., Ueno, Y., Ishii, M., & Igarashi, Y. (2015). Conductive iron oxides accelerate Thermophilic methanogenesis from acetate and propionate. Journal of bioscience and bioengineering, 119(6), 678-682.

[25] **Yang, Q., Wu, B., Yao, F., He, L., Chen, F., Ma, Y., ... &** Li, X. (2019). Biogas production from anaerobic co-digestion of waste activated sludge: co-substrates and influencing parameters. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 18(4), 771-793.

.

- ✓ في سياق حماية البيئة، تلعب معالجة النفايات دورا مهما للغاية في حمايتها. يبقى الهضم اللاهوائي من العمليات المستخدمة في معالجة هذه النفايات من أجل ثباتها من جهة وإنتاج الطاقة المتجددة على شكل غاز حيوي من جهة أخرى.

- ✓ تسمح تقنية الهضم اللاهوائي باستخدام المخلفات القابلة للتحلل لإنتاج الطاقة عن طريق تحطيم المادة العضوية من خلال سلسلة من التفاعلات الكيميائية الحيوية ,تعد هذه التقنية واعدة لإنتاج الطاقة لأنها تتيح الحصول على عوائد عالية من H_2 وCH_4 والتي يمكن استخدامها كوقود في محركات الاحتراق وتسمح بالحصول على طاقة نظيفة ,مما يقلل من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري .
- ✓ يمكن استخدام تقنيات مختلفة للمعالجة المسبقة للنفايات العضوية (ميكانيكية كيميائية حرارية وبيولوجية) ,تعمل تقنيات المعالجة المسبقة هذه على تحسين مرحلة التحلل المائي لمواد الأولية لتحسين إمكانية الوصول للميكروبات وتقصير وقت الهضم وبالتالي تلعب تحسين مرحلة التحلل المائي الى جانب وقت الهضم دورا رئيسيا في انتاج الغاز الحيوي ،يجب مراعاة التأثير في نسبة التكلفة الى فائدة المعالجة المسبقة المطبقة وموازنتها مع الواقع المحلي الذي غالبا ما يدعم إعادة اختيار المعالجة المسبقة المناسبة بحافز محلي.
- ✓ الهضم المشترك لاثنين او أكثر من الركائز العضوية ثبت انه فعال في تعزيز انتاج الطاقة الحيوية مقارنة بالهضم الأحادي بالإضافة الى انه حل جذاب لحماية البيئة من خلال زيادة رسكلة النفايات العضوية الصلبة.
- ✓ تتمتع استخدامات TE وGAC بمزايا مراجعة تثبيط VFA لتحسين استقرار العملية وتعزيز أنشطة الانزيمات وتعزيز نمو الميثانوجينات ,ستساعد مثل هذه الدراسات على تحسين أنظمة الهضم اللاهوائي لتعظيم استعادة الموارد .
- ✓ يعد التحكم المناسب في معلمات عملية الهضم اللاهوائي ذا أهمية قصوى لنجاح عملية الهضم اللاهوائي نظرا لان درجة الحرارة و PH و HRT وOLR وc/n تؤثر بشكل كبير على سلوك الكائنات الحية الدقيقة .

- ✓ في حين ان درجة الحرارة (معتدلة وعالية) هي احد المتغيرات التي تمت دراستها على نطاق واسع ,فقد تم اجراء عدد محدود من الدراسات في ظل ظروف منخفضة,وهو امر مهم للدراسة خاصة في الأماكن التي تندر فيها الموارد اللازمة لتوفير درجة الحرارة المعتدلة .
- ✓ تقدم غالبية الدراسات تقييمات تركز على معلمة واحدة وتتجاهل التفاعلات التي قد توجد بين متغيرين او أكثر، لذلك يوصى بتقييم متغيرات معا لتحديد ما إذا كان هناك تفاعل بينهما وتحديد القيم المثلى لكل متغير.
- ✓ يعد تطبيق معدات أفضل وتعديل ظروف التشغيل والمعلمات لتحسين العملية امرا ضروريا لتحقيق أفضل النتائج.

المخص:

تنتج النفايات العضوية عن العديد من المصادر، وعادة ما يكون مصير هذه النفايات الإهمال او الحرق مما يؤدي الى مشاكل بيئية وصحية، علاوة على ذلك، تعتبر عملية الهضم اللاهوائي الطريقة المناسبة لمعالجة واستعادة هذه المواد العضوية لإنتاج منتجات عالية القيمة مثل غاز الحيوي والسماد، ومع ذلك تتأثر عملية الهضم اللاهوائي بعوامل ومتغيرات مرتبطة بالظروف البيئية، وطبيعة الركائز. يهدف هذا العمل الى تقديم تحليلا لتأثير مختلف العوامل والمتغيرات وتحديد قيمها المثلي ومعرفة أيها الأكثر او الأقل دراسة. فقد تبين من خلال الدراسات التحليلية ان تطبيق معدات أفضل وتعديل ظروف التشغيل والمعلمات لتحسين العملية امرا ضروريا لتحقيق أفضل النتائج، ومن بين العوامل والمتغيرات الأكثر دراسة درجة الحرارة في (النطاقات المعتدلة والعالية)، ودرجة الحموضة، في حين ان تقييم ظروف درجة الحرارة المنخفضة، لم يتم دراستها بشكل كبير، بالإضافة الى ذلك قامت دراسات قليليه بتقييم أداء متزامن لمتغيرات وعوامل مختلفة وهو امر مهم للدراسة.

الكلمات المفتاحية: الغاز الحيوي ، الميثان، الهضم اللاهوائي، النفايات العضوية، العوامل والمتغيرات.

Abstract

Organic wastes come from many sources, and the fate of these wastes is usually neglect or incineration, resulting in environmental and health problems. In addition, anaerobic digestion is the appropriate method to process and recover these organic materials to produce high added value products such as biogas and fertilizers. However, the anaerobic digestion process is affected by factors and variables related to environmental conditions and the nature of the substrates. This work aims to provide an analysis of the influence of various factors and variables, to determine their optimal values, and to discover them more or less studied. It has been shown by analytical studies that the application of better equipment and the modification of operating conditions and parameters to improve the process is necessary to obtain the best results from the variables such as figure, fact and temperature (mesophilic and thermophilic ranges) and pH, while the evaluation of low-temperature conditions has not been studied extensively. In addition, a few studies have evaluated the performance of simulations most important for the study.

Keywords: biogas, methane, anaerobic digestion, organic waste, factors and variables.