الدليل الإرشادي الخاص بالحمأة البلدية الناتجة عن محطات معالجة مياه الصرف الصحي

2021

الصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي
Arab Fund for Economic and Social Development

الجمعية الكويتية لحماية البيئة
Kuwait Environment Protection Society

الدليل الإرشادي الخاص بالحمأة البلدية الناتجة عن محطات معالجة مياه الصرف الصحي

2021

الصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي
Arab Fund for Economic and Social Development

الجمعية الكويتية لحماية البيئة
Kuwait Environment Protection Society

المحتويات

	مقدمة.	8
	الهدف من الدليل.	9
	بعض التعاريف الهامة.	9
	الفصـــل الاول	**13**
1	معلومات عامة عن حمأة محطات معالجة مياه الصرف.	14
1-1	تعريف حمأة محطات معالجة مياه الصرف. Definition of wastewater treatment plant sludge	14
2-1	كمية وخصائص الحمأة. Quantity and Characteristics of Sludge	14
2	خيارات معالجة الحماة. Sludge Treatment Alternatives	18
1-2	تكثيف الحماة. Sludge thickening	19
1-1-2	التكثيف بالثقالة. Gravity thickener	19
2-1-2	تكثيف الحمأة بالتطويف. DAF	20
3-1-2	تكثيف الحمأة بالطرد المركزي، البرميل الدوار مع حلزون	21
—	المكثف النابذ. Centrifuge thickening	21
—	طريقة البرميل الدوار مع حلزون أو المكثف	21
4-1-2	تكثيف الحمأة بواسطة السير المكثف. Gravity belt thickening .	23
5-1-2	مكثف البرميل الدوار. RDT. Rotary drum thickening	23
2-2	تثبيت الحمأة ونزع الماء. Sludge stabilization/ dewatering	24
1-2-2	الهضم اللاهوائي للحماة. Anaerobic digestion	24
2-2-2	أنواع الهواضم اللاهوائية وطرق المزج.	27
1-2-2-2	الهاضم الأسطواني.	27
2-2-2-2	الهاضم اللاهوائي بشكل البيضة.	28
2-2-2	الهضم الهوائي للحماة. Aerobic digestion	29
3-2-2	التثبيت بالكلس. Lime stabilization	31
4-2-2	الإسماد. Composting	31
5-2-2	تكييف الحمأة. Sludge conditioning	33

2-2-6	نزع الماء من الحمأة. Sludge dewatering	**33**
1-6-2-2	نزع الماء من الحمأة ميكانيكيا. Mechanical Sludge dewatering	**33**
1-1-6-2-2	المرشح الانفراغي. Vacuum filtration	**33**
1-2-6-2-2	الحزام الراشح الضاغط. Belt filter press	**35**
1-3-6-2-2	المكبس المرشح. Filter press	**36**
1-4-6-2-2	نزع الماء بالطرد المركزي. Centrifuge dewatering.	**37**
2-6-2-2	نزع الماء من الحمأة بالتبخير الطبيعي. Natural evaporation.	**38**
1-2-6-2-2	مفترشات التجفيف الرملية التقليدية. (أحواض التجفيف الرملية) Conventional drying bed	**38**
2-2-6-2-2	أحواض التجفيف المرصوفة.	**40**
3-2-6-2-2	برك تجفيف الحمأة.	**40**
4-2-6-2-2	أسرة التجفيف بمساعدة الانفراغ. Vacuum-Assisted Drying Beds	**40**
5-2-6-2-2	أسرة تجفيف الحمأة بالطاقة الشمسية (البيوت الزجاجية). Solar Drying Beds	**41**
6-2-6-2-2	أكياس. Geotube	**42**
3-2	التجفيف والترميد باستعمال الحرارة. Heat drying and incineration	**42**
1-3-2	التجفيف غير المباشر للحمأة. Indirect Dryers	**42**
2-3-2	ترميد الحمأة. Sludge incineration .	**43**
1-2-3-2	الفرن متعدد الطبقات. (multiple hearth incineration)	**43**
2-2-3-2	ترميد الحمأة في الفرن ذي السرير المتميع. Fluidized Bed incineration	**43**
3-2-3-2	الترميد بالأشعة تحت الحمراء. Electric Infrared Incinerators	**44**
4-2-3-2	الانبعاثات الصادرة عن حرق الحمأة.	**44**
5-2-3-2	المواصفات القياسية لنوعية الغازات المنطلقة من حرق الحمأة.	**44**

47	**الفصل الثاني.**	
47	الاستخدام الزراعي لحمأة مياه الصرف البلدية.	
48	مقدمة.	
48	تطبيق الحماة على الأراضي.	3
49	محتويات حمأة مياه الصرف البلدية.	1-3
50	تقييم المخاطر. Risk assessment	2-3
50	العوامل الممرضة في حمأة مياه الصرف البلدية. Pathogens	3-3
51	ماهي العوامل الممرضة؟	1-3-3
51	المعالجات المقترحة لتقليل مسببات الأمراض في الحمأة. Pathogen reduction.	2-3-3
52	الحقن والحراثة العميقة.	4-3
52	التحاليل المخبرية المطلوب إجراؤها على حمأة مياه الصرف البلدية.	5-3
53	موقع أخذ العينات.	6-3
54	تكرار مراقبة التلوث والعناصر الممرضة في الحمأة المطبقة. Frequency of Monitoring for Pollutants, Pathogen	7-3
54	عينات الحمأة وتكرار أخذ العينات.	1-7-3
54	عينات التربة في موقع التطبيق وتكرار اخذ العينات.	8-3
54	اخذ العينات في المناطق المطلوب استصلاحها او اعادة تأهيلها	1-8-3
55	التحاليل المخبرية المطلوبة للتربة. Analytical Requirements For Soil Samples	2-8-3
55	متطلبات استعمال الحمأة على الأراضي / التصريح.	9-3
56	شروط اختيار موقع تطبيق الحمأة.	10-3
57	تطبيق الحمأة في الأراضي القاحلة. Arid lands	11-3
57	شروط الموقع ومسافات الفصل. Siting and Site Restrictions	12-3
57	شروط الحصاد والرعي بعد استعمال الحمأة.	13-3
58	المراقبة المطلوبة قبل وأثناء التطبيق. Monitoring Requirements	14-3
58	نقل الحمأة. Conveyance Methods	15-3
59	تخزين الحمأة. Sludge storage	16-3

17-3	احتياج المحاصيل من المواد المغذية المساندة.	59
18-3	الحدود المسموحة للتلوث في حمأة مياه الصرف المطبقة على الأراضي.	60
1-18-3	العناصر النزرة والمعادن الثقيلة. Trace Elements and Heavy Metals	60
19-3	المركبات العضوية السامة في الحمأة ونسبة تحميل الحمأة على الاراضي. Toxic organic compounds	62
20-3	طرق تطبيق الحمأة.	62
1-20-3	تطبيق الحمأة السائلة.	63
2-20-3	تطبيق الحمأة منزوعة الماء على الأراضي.	64
3-20-3	استصلاح الأراضي وتحسين نوعيتها.	65
1-3-20-3	التطبيق على الأرض المضطربة. Disturbed land	65
21-3	مواصفات الحمأة المطلوبة للتطبيق.	65
22-3	التخلص من الحمأة في المطامر (الردم السطحي). Landfill sludge disposal	65
1-22-3	الشروط المطلوبة لطمر الحمأة.	66
2-22-3	طمر الحمأة إذا لم يكن هناك سوق للمنتج أو لم يتم تصنيفها.	69
3-22-3	طمر الحمأة إذا كانت غير مناسبة للتطبيق على الأراضي.	69
23-3	القضايا الحساسة في تطبيق الحمأة والاحتياطات	70
	References / المراجع	71

فهرس الجداول

جدول (1-2-1)	خصائص أنواع الحمأة في مختلف مراحل المعالجة	15
جدول (2-2-1)	النسبة المئوية للمواد الصلبة في مختلف أنواع الحمأة	15
جدول (3-2-1)	يعطي إنتاج الحمأة في منطقة الاتحاد الأوروبي وكمية استعمال الحمأة في الزراعة	16
جدول (4-2-1)	يبين كميات نموذجية للحمأة	17
جدول (1-1-1-2)	أهم معايير التصميم العملية للمكثف بالثقالة	20
جدول (2-1-1-2)	يوضح مختلف حالات التحميل لمكثف DAF	21
جدول (3-1-1-2)	يعطي أداء المكثف الحلزوني	22
جدول (1-2-2-2)	أهم الضوابط لتصميم الهاضم اللاهوائي النظامي وذي المعدل العالي	25
جدول (2-2-2-2)	النسب المئوية حجماً لمكونات الغاز الحيوي	26
جدول (1-2-2-2)	يعطي أهم ضوابط التصميم للهواضم الهوائية	30
جدول (2-2-2-2)	يعطي الحجم الموصى به في الهاضم الهوائي لكل شخص مكافئ	30
جدول (1-4-2-2)	يوضح معايير تصميم عملية إسماد الحمأة	31
جدول (1-1-1-6-2-2)	أداء مرشح انفراغي لحمأة بلدية مكيفة بكلور الحديد أو الكلس	34
جدول (1-2-1-6-2-2)	يعطي أداء الحزام الراشح الضاغط لأنواع مختلفة من الحمأة	36
جدول (1-3-1-6-2-2)	أهم ضوابط تصميم المكبس المرشح	36
جدول (1-4-1-6-2-2)	يعطي كمية البوليمرات اللازمة لمرشح الطرد المركزي والحزام الراشح الضاغط	37
جدول (1-4-2-6-2-2)	أداء حوض تجفيف الحمأة بالانفراغ	41
جدول (1-5-2-3-2)	الحدود المسموح بها لمعدلات الانبعاثات من حرق النفايات الخطرة	45
جدول (1-3)	أنواع المعالجة المطلوبة حسب الاستخدام	49
جدول (2-3)	حساب عام للحماة المطبقة (وزن جاف) لأنواع مختلفة من الاراضي	49
جدول (1-3-3)	مستوى العوامل الممرضة النموذجية في الحمأة بعد التكثيف وبعد التثبيت اللاهوائي	51
جدول (1-1-3-3)	الحدود القصوى للعوامل الممرضة في الحمأة المعدة للزراعة	51

جدول (3-7-1-1)	تكرار واجراء التجارب المخبرية لمراقبة التلوث والعوامل الممرضة	**54**
جدول (3-8-2-1)	التحاليل المطلوبة لعينات ارض الموقع قبل تطبيق الحماة	**55**
جدول (3-17-1)	معدل استهلاك المغذيات المساندة من قبل بعض المحاصيل	**60**
جدول (3-17-2)	معدل تحول مركبات النتروجين إلى الحالة المعدنية	**60**
جدول (3-18-1-1)	تركيز المعادن الثقيلة في الحمأة، ونسبة تحميل الحمأة على الأراضي	**61**
جدول (3-18-2-1)	تركيز الملوثات العضوية في الحمأة ونسبة تحميل الحمأة على الأراضي	**62**
جدول (3-20-1-1)	كمية الأمونيا المتاحة للنبات من الحمأة حسب نوع التطبيق وPH	**64**
جدول (3-22-1-1)	تركيز المعادن الثقيلة والمركبات العضوية الخطرة في الحمأة المصرفة إلى المطامر (الردم السطحي)	**67**
جدول (3-22-1-2)	تركيز المعادن الثقيلة والمركبات العضوية الخطرة في رشاحة الحمأة المصرفة إلى المطامر	**68**
جدول (1)	الكشف الأولي على موقع تطبيق الحمأة	**74**

مقدمة

الحمأة المعالجة الناتجة عن محطات مياه الصرف المنزلي، يمكن أن يكون لها خصائص زراعية قيّمة، فإضافة الحمأة إلى التربة يمكن أن يكون مفيد للنبات والتربة.

- تحتوي حمأة مياه مجاري على تراكيز مفيدة من النيتروجين والفوسفور والمواد العضوية فهي تحسن النبات ويمكن أن تكون ذات فائدة خاصة للأراضي العشبية.
- وتحّسن الحمأة التربة بزيادة قدرتها على حجز الماء وخاصة عند تطبيق الحمأة منزوعة الماء على الارض حيث يؤدي ذلك إلى تحسين بنية التربة ويحّول التربة الثقيلة إلى أرض بذار جيدة.
- كما أنها تقلل من حتّ وتعرية التربة.

لذلك، كان من المنطقي تشجيع تطبيق الحمأة في الزراعة شريطة استخدامها بشكل صحيح ويجب أن لا يضعف ذلك من جودة التربة وجودة وسلامة المنتجات الزراعية.

هناك فوائد كبيرة من تطبيق الحمأة المعالجة على التربة، وهناك أيضا مخاطر صحية وزراعية وبيئية، حيث يتم إضافة الملوثات ومسببات الأمراض إلى التربة مع المواد العضوية والمواد المغذية والمعادن الثقيلة وبقايا الهرمونات والأدوية وألياف البلاستيك التي تؤثر على صحة الإنسان والحيوان ونوعية التربة ونمو النبات والكائنات الحية في التربة ونوعية المياه السطحية والجوفية سلبًا إذا لم يتم استخدام الحمأة على الأراضي بطريقة سليمة من الناحية الزراعية والصحية والبيئية.

فبعض المعادن الثقيلة الموجودة في الحمأة قد تكون سامة للنباتات وأيضًا للإنسان، من خلال تواجدها في المحاصيل وتراكمها، ولذلك يجب وضع قيم حدية إلزامية لهذه العناصر في التربة وحظر استخدامها عندما يتجاوز تركيز هذه المعادن في التربة هذه القيم الحدّية.

إما عن طريق تحديد الكميات القصوى لكميات الحمأة المستخدمة سنويًا والتأكد من أن:

لا يتم تجاوز القيم الحدّية لتركيز المعادن الثقيلة في الحمأة المستخدمة [14].

أو بالسعي لضمان عدم تجاوز القيم المحددة لكميات المعادن الثقيلة التي يمكن إضافتها إلى التربة على أساس متوسط 10 سنوات. [14][22]

وبالإضافة إلى ذلك فيمكن للنيتروجين N والفوسفور P الموجودة في الحمأة (كما هو الحال في أي مصدر للأسمدة) أن يصل إلى المياه الجوفية والمياه السطحية إذا تم تطبيق الحمأة بشكل مفرط أو بشكل غير صحيح.

ويتم معالجة هذه المخاطر من خلال البرامج التنظيمية والقرارات الصادرة عن الدولة.

وفي هذا الدليل نتناول موضوع الحمأة البلدية الناتجة عن معالجة مخلفات المنازل والأنشطة التجارية كالفنادق والمدارس والمطاعم وغيرها، دون التطرق للحمأة الصناعية.

الهدف من الدليل

يهدف هذا الدليل الارشادي إلى تزويد منتجي الحمأة، وكذلك مطبقيها على الأراضي، بتوجيهات كافية للامتثال الكامل لجميع متطلبات قرارات حماية البيئة.

كما تم إعداد هذا الدليل أولاً لتوفير فهم عام للمبادئ الأساسية، بما في ذلك تعاريف حمأة المجاري، وطرق معالجتها وضوابط تطبيقها على الأراضي, وبيان من هم ومدى مسؤولية مطبقي الحمأة على الأراضي.

كما يهدف هذا الدليل إلى دعم الطرق العلمية للاستفادة من الحمأة البلدية، وتطوير أساليب النقل والمعالجة والتخلص الآمن من هذا النوع من المخلفات، بالإضافة إلى تسهيل تطبيق معايير الصحة والسلامة المهنية المرتبطة بنقل الحمأة وأساليب التعامل معها، وأيضا زيادة الوعي حول كيفية الاستفادة من الحمأة البلدية بدل طمرها وعدم الاستفادة منها.

- يناقش الفصل الأول معلومات هامة عن الحمأة وأنوعها وطرق معالجتها والملوثات الموجودة فيها والحدود المتوقعة من كل طريقة في المعالجة. لأن عملية الاستفادة من الحمأة تعتمد على نوعيتها والظروف التي يتم فيها تطبيقها.

- ويناقش الفصل الثاني الاشتراطات الخاصة بتطبيق الحماة على الأراضي وخصوصا الأراضي الزراعية أو التخلص النهائي منها اخذين بالاعتبار قرارات حماية البيئة المعمول بها وخاصة القرار رقم 6 لعام 1917 الصادر عن الهيئة العامة للبيئة في دولة الكويت واللوائح المتعلقة بهذا المجال.

بعض التعاريف الهامة

- **الجهات الرقابية:**

الوزارات والمؤسسات الرسمية في الدولة التي تراقب عناصر البيئة والصحة والسلامة العامة بموجب القوانين والأنظمة والتعليمات سارية المفعول.

- **مياه الصرف Waste water:**

هي المياه التي تصدر عن التجمعات السكنية والصرف الصناعي والتجاري والهطول المطري والعواصف المطرية ومزارع تربية الحيوانات والمياه الراشحة إلى أنابيب المجاري العامة وغيره، وتحوي مياه الصرف على 99% إلى 99.6% مياه أما البقية فهي مواد معلقة ومواد ذائبة [14].

- **معدل تحميل الملوثات السنوي:**

هو الحد الأقصى لمقدار الملوث الذي يمكن تطبيقه على مساحة من الأرض خلال فترة 365 يوما.

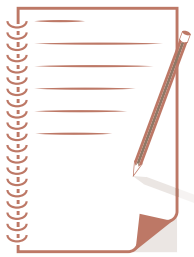
- **تطبيق الحمأة على الأراضي Sludge land application:**

يُعرَّف (تطبيق) استعمال الحمأة على الأراضي بأنه عملية رش الحمأة السائلة أو ريها أو حقنها [1] أو نشرها[9], ويشمل ذلك أي مادة مشتقة من الحمأة (على سبيل المثال الحمأة الخاضعة لعملية الإسماد

(الكومبوست) الحمأة المهضومة المجففة وايضا الحمأة السائلة والحمأة المهضومة المكثفة..الخ، إن كان ذلك على سطح الأرض أو أسفلها من أجل تحسين خصائص التربة وتحسين بنيتها. كما يتم استخدام الحمأة كسماد من أجل المحاصيل الغذائية وغير الغذائية، كالورود وغيره من الزراعات. [9]

ويتم تطبيق الحمأة بشكل شائع على الأراضي، بما في ذلك المراعي وملاعب الغولف والغابات ومواقع استصلاح الأراضي والمواقع العامة مثل الحدائق العامة والمروج وجوانب الطرق السريعة وملاعب الغولف والحدائق المنزلية.

وكذلك تستعمل الحمأة في الأراضي التي تقع قرب معامل الاسمنت، المناجم، حيث تكون ركيزة التربة قد اختفت أو تغيرت، فيمكن من خلال التطبيق الحفاظ على الغطاء النباتي أو إعادة تأسيس الغطاء النباتي الأساسي، ويتم ذلك عادة بتطبيق الحمأة مرة واحدة ومن ثم يتم زراعتها.



ملاحظة 1: الحمأة الناتجة عن حفر امهوف او خزانات التحلل Septic Tank تحتوي على خصائص مفيدة كمحسنات للتربة ويمكن تطبيقها على الأرض أيضاً، إلا أن خصائصها الفيزيائية تختلف عن خصائص حمأة مياه الصرف الناتجة عن محطات المعالجة على الرغم من أنها تأتي نتيجة الصرف المنزلي [9].

ملاحظة 2: التخلص من الحمأة على سطح الأرض هي طريقة معروفة وتستخدم للتخلص من حمأة مياه الصرف، حيث يتم وضع الحمأة على الأرض، والطريقة تشبه استخدام وتطبيق الحمأة على الأراضي, والفرق الرئيسي بين الاثنين هو أنه في حالة التخلص على السطح تكون الغاية لغرض التخلص النهائي من الحمأة دون اعتبار لخصائص تحسين التربة [9].

- **العناصر النزرة والمعادن الثقيلة Trace Elements and Heavy Metals**

هي عناصر مغذية ضرورية لنمو النبات بتراكيز منخفضة، ولكن يمكن أن تكون كل هذه العناصر سامة للإنسان أو الحيوانات أو النباتات بتركيزات عالية. تتضمن الأخطار المحتملة المرتبطة بتراكم Accumulation المعادن الثقيلة في التربة وقدرتها على التسبب في السمية النباتية (أي ضرر للنباتات) أو زيادة تركيز المواد الخطرة المحتملة في السلسلة الغذائية.

- العناصر النزرة:

تشمل الألومنيوم(Al)، والبريليوم(Be)، والكوبالت(Co)، والفلورايد (F)، والحديد(Fe)، والليثيوم(Li)، والمنغنيز(Mn)، والموليبديوم(Mo)، والسيلينيوم (SE)، والقصدير(Sn)، تيتانيوم(Ti)، Tungsten (W),(V) Vanadium ،FAO]22.

- المعادن الثقيلة:

هي مجموعة خاصة من العناصر النزرة التي ثبت أنها تخلق مخاطر صحية عند امتصاصها بواسطة النباتات. وضمن هذه المجموعة يمكن تضمين الزرنيخ (As)، والكادميوم (Cd)، والكروم (Cr)، والنحاس (Cu)، والرصاص (Pb)، والزئبق (Hg)، والزنك (Zn)، وتسمى المعادن ثقيلة لأن كثافتها في شكلها المعدني أكبر من 4 غ/سم^3. [FAO22]

وسندعو مجازا المجموعتين بالمعادن الثقيلة

- **الكائنات الممرضة Pathogens**

هي الكائنات الحية المسببة للأمراض، وتشمل البكتيريا والفيروسات والبروتوزوا والديدان الطفيلية، ويمكن لمسببات الأمراض أن تشكل خطراً على الصحة العامة إذا تم نقلها إلى المحاصيل الغذائية التي تزرع في الأراضي التي يتم فيها استعمال الحمأة كمخصب، وخصوصا عند هطول الامطار وجريان المياه السطحية من مواقع الاستعمال، وقد يتم نقل الحمأة بعيدًا عن موقع الاستعمال بواسطة الحشرات والقوارض والطيور [17].

- **العناصر المغذية Nutrients**

هي العناصر اللازمة لنمو النبات والتي تتوفر في الحمأة. وتشمل هذه العناصر N و P و K والكالسيوم (Ca) والمغنيسيوم (Mg) والصوديوم (Na) Sg Bg Cug Feg Mng Mog Zng. ويمكن أن تتباين التراكيز في الحمأة تباينا كبيرًا، لذلك ينبغي تحليل الحمأة التي يراد تطبيقها على الأراضي.

- **محاصيل الأعلاف** Feed crops animals: محاصيل يتم إنتاجها بشكل أساسي لاستهلاك الحيوانات.
- **محاصيل الألياف** Fiber crops: مثل الكتان والقطن.
- **المحاصيل الغذائية** Food crops: محاصيل يستهلكها البشر. وتشمل على سبيل المثال لا الحصر الفواكه والخضروات والتبغ.
- **نظام تجميع المادة الراشحة** Leachate collection system: عبارة عن نظام أو جهاز يتم تثبيته مباشرة فوق بطانة المطمر تم تصميمه وصنعه وصيانته وتشغيله لجمع وإزالة العصارة من وحدة حمأة مياه الصرف الصحي. [EPA 503]

الفصل الأول

معلومات عامة عن حمأة محطات معالجة مياه الصرف

1-1. تعريف حمأة محطات معالجة مياه الصرف:
Definition of wastewater treatment plant sludge

هي المواد الصلبة والمواد الصلبة العضوية الناتجة عن العمليات الفيزيائية الأولية أو المعالجة الثانوية (الثنائية) أو المعالجة الثلاثية، إن كانت من الصرف البلدي أو كانت من الصرف الصحي عموما[3,1]. والمعالجة تناول تصغير حجم الحمأة وتحويل عناصرها إلى عناصر أكثر استقراراً لتقليل تكاليف التعامل معها حيث قد تصل تكاليف معالجة الحمأة إلى 50% من تكلفة تشغيل محطة المعالجة، وهي من المشاكل الكبيرة التي تحدد نجاح محطة المعالجة.

(تتراوح كمية المواد الصلبة الكلية الناتجة بين 0.25% إلى 12% وزنا وذلك حسب طريقة المعالجة والأحمال في مياه الصرف) [1].

1-2. كمية وخصائص الحمأة:
Quantity and Characteristics of Sludge

كمية ونوع الحمأة تعتمد على نوع مياه الصرف وطريقة المعالجة المتبعة، ففي إحصائية عريضة (12750 محطة معالجة) لكمية الحمأة الجافة للشخص الواحد في دولة كالولايات المتحدة وجد أن الشخص يعطي 21 كغ/عام (57.5غرام/يوم) مواد صلبة عضوية (Federal) (biosolids USA) Register وفي دراسة أخرى (إدارة الحمأة ir.Sveenstra) أو من EPA يعطى الشخص كمية من 30-40 ليترا حمأة في العام بتركيز من 5-10% .

ملاحظة: الوزن النوعي للحمأة وسطياً (1.02 - 1.05) وللمواد الصلبة في الحمأة (1.2 - 1.45) والمواد الصلبة للحمأة مع مواد كيمائية (1.28 - 1.9), كما تبلغ كثافة الحمأة الجافة (1300 - 1500) كغ/م^3.

ودراسة خصائص الحمأة تتضمن المواد الصلبة الكلية, المواد الصلبة العضوية (قابلة للتطاير) والمغذيات وPH، الكائنات الممرضة، المعادن، المواد العضوية الكيميائية، والملوثات الخطرة.

- تحوي الحمأة من أحواض الترسيب الأولي على نسبة (3-7)% مواد صلبة فيها (60-80)% مواد عضوية وهي ذات لون رمادي موحل طيني متوسط الخشونة ذات رائحة كريهة وهي بحاجة لمعالجة لهضم المواد العضوية. الجدول (1-2-1) يعطي أنواع الحمأة من مختلف مراحل المعالجة المختلفة، والجدول (1-2-2) النسبة المئوية للمواد الصلبة في مختلف أنواع الحمأة.

- الحمأة الناتجة من أحواض الترسيب الثنائية بنية اللون ورائحتها تشبه رائحة الأرض، فإذا كان اللون غامقاً فيعني أن الحمأة متعفنة (septic condition) وتتألف الحمأة الثانوية (75-90%) مواد عضوية من كائنات دقيقة microorganisms ومواد قابلة للتحلل البطيء. الجدول (1-2-3) من [4] يعطي إنتاج الحمأة في منطقة الاتحاد الأوروبي وكمية استعمال الحمأة في الزراعة. فيما يبين الجدول (1-2-4) من (7) كميات نموذجية للحمأة ونوعها (للاستئناس).

الجدول (1-2-1) خصائص أنواع الحمأة في مختلف مراحل المعالجة*

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

المصدر EPA,WEF and ASCE ,(1991)

الجدول(1-2-2) النسبة المئوية للمواد الصلبة في مختلف أنواع الحمأة [5]

نوع الحمأة	النسبة المئوية للمواد الصلبة في الحمأة	
	حمأة مهضومة	حمأة غير مهضومة
حمأة منفصلة من الترسيب الأولى • غير مكثفة • مكثفة	5.5 – 2.5 10 - 5	10 – 6 -
من المرشح البيولوجي • غير مكثفة • مكثفة	6 – 3 9 - 7	8 – 6 -
من الحمأة المنشطة • غير مكثفة • مكثفة	1.2 – 0.5 3.3 - 2.5	3 – 2 -
حمأة مشتركة ترسيب أولى ومرشحات بيولوجية • غير مكثفة • مكثفة	6 – 3 9 - 7	10 – 6 -
ترسيب أولي وحمأة منشطة • غير مكثفة • مكثفة	4.8 – 2.6 9 - 4.6	7 – 3 -

ملاحظة: في الهضم اللاهوائي يكون تركيز المواد الصلبة أكبر من الهضم الهوائي ويصل إلى أكثر من ضعف ونصف إلى ضعفين.

الجدول (1-2-3) إنتاج الحمأة في منطقة الاتحاد الأوروبي وكمية استعمال الحمأة في الزراعة [4]*

الدولة	السنة	كمية إنتاج الحمأة (طن)*	الزراعة	
			طن	النسبة
النمسا	2006	252.800	38.400	16
بلجيكا				
منطقة بروكسيل	2006	2.967	0	0
المنطقة الفلمنكية	2006	101.913	0	0
منطقة والون	2007	31.380	10.927	35
الدنمارك	2002	140.021	82.029	59
فينلندا	2005	147.000	4.200	3
فرنسا	2007	1.125.000	787.500	70
ألمانيا	2007	2.056.488	592.552	29
اليونان	2006	125.977	56.4	1>
أيرلندا	2003	42.147	26.743	63
إيطاليا	2006	1.070.080	189.554	18
لوكسمبورغ	2005	8.200	3.780	46
هولندا	2003	550.000	34	1>
البرتغال	2006	401.000	225.300	56
أسبانيا	2006	1.064.972	687.037	65
السويد	2006	210.000	30.000	14
بريطانيا	2006	1.544.919	1.050.526	68
المجموع الفرعي (EU15)		8.874.862	3.728.638	42
بلغاريا	2006	29.987	11.856	40
قبرص	2006	7.586	3.116	41
الشيك	2007	231.000	59.983	26
أستونيا	2005	26.800	3.316	12
هنغاريا	2006	128.380	32.813	26
لاتفيا	2006	23.942	8.936	37
لثوانيا	2007	76.450	24.716	32
مالطا		Nd	Nd	Nd
بولندا	2006	523.674	88.501	17
رومانيا	2006	137.145	0	0
سلوفاكيا	2006	54.780	33.630	62
سلوفينيا	2007	21.139	18	1>
المجموع الفرعي (EU12)		1.260.883	266.885	21
المجموع		10.135.745	3.995.523	39

كان قياسات الحمأة بالجدول أعلاه تم حسابها على أساس طن مواد صلبة جافة (TDS = Ton by Seid)

الجدول(1-2-4) من [7] يبين كميات نموذجية للحمأة ونوعها

العملية	Typical Quantity of Sludge / كمية الحمأة			الرطوبة(٪)	الوزن النوعي للمادة الصلبة في الحمأة	الوزن النوعي للحمأة
	l/1000m3 من مياه الصرف	طن لكل 1000 متر مكعب من مياه الصرف	لتر لكل 1000 شخص			
ترسيب ابتدائي:						
مهضوم	2,950	47.32	1100	95	1,4	1.02
Digested & dewatered, sand beds مهضومة ومزال عنها الماء بالترشيح الرملي	-	3.55	161	d 60	-	-
أحواض ترشيح حجرية	45	12.00	280	92.5	1.33	1.00
ترسيب كيميائي	5,120	83.28	1940	92.5	1.93	1.03
مزال عنه الماء بالمرشح الانفراغي	-	22.71	546	e 72.5	-	-
ترسيب ابتدائي وحمأة منشطة:						
غير مهضومة	6,900	110.72	2600	96	-	1.02
غير مهضومة ومزال عنها الماء بالمرشح الانفراغي	1,480	22.14	566	80	-	0.95
مهضوم في حوض مستقل	2,700	44.17	1020	94	-	1.03
مهضوم ومزال عنها الماء بالمرشح الرملي	-	6,62	510	f 60	-	-
مهضوم ومزال عنها الماء بالمرشح الانفراغي	-	13.25	331	80	-	0.95
الحمأة المنشطة: b						
حمأة رطبة	19,400	283.9	7300	98.5	1.25	1.005
مزال عنها الماء بالمرشح الانفراغي	-	21,28	538	80	-	0.95
مجففة حرارياً	-	4.43/ 1.17	85	4	-	1.25
أحواض تعفن مهضومة	900	-	340	90	1.4	1.4

Wastewater flow of 100 gpcd (378.5 1/person d) and 300 mg/ L, or .25 lb/ day/ cap of suspended solids in wastewater.

2. خيارات معالجة الحماة Sludge Treatment Alternatives

تختلف طرق إدارة ومعالجة الحمأة حسب كمية ونوع الحمأة. والمبادئ الأساسية تتضمن: التكثيف، التثبيت، نزع الماء، التجفيف، التخلص النهائي. الشكل (2-1) يوضح طرق المعالجة المختلفة لمعالجة الحمأة، ويمكن تلخيص مراحل المعالجة حسب الحالة ودرجة المعالجة بما يلي:

أ – التخزين قبل المعالجة

- في أحواض الترسيب
- أحواض مستقلة (أقل حجما ممكنا للتخزين)

ب – التكثيف قبل نزع الماء

- الترسيب بالثقالة
- التطويف بالهواء المنحل DAF
- بالقوة النابذة

ج – تثبيت الحمأة

- التثبيت بالكلس ويستعمل أيضاً كمعالجة أولية قبل الهضم اللاهوائي
- التثبيت بالحرارة
- الهضم اللاهوائي
- الهضم الهوائي

د – نزع الماء ميكانيكياً

- الترشيح بالانفراغ
- بالطرد المركزي
- الترشيح تحت الضغط
- التجفيف بالحرارة

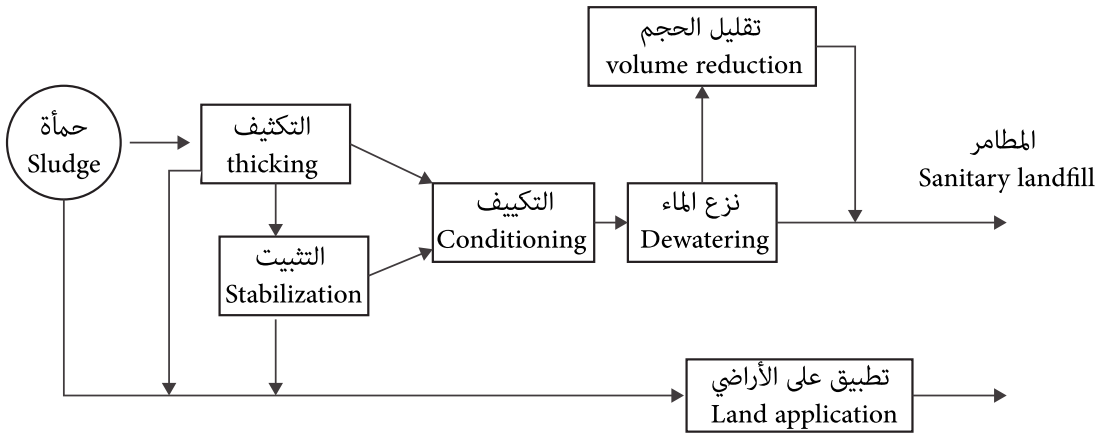
هـ – التجفيف الهوائي للحمأة المهضومة

- أحواض التجفيف الرملية
- البحيرات قليلة العمق

و – التخلص من الحمأة المنزوعة المياه

- الدفن في التربة
- الحرق
- إنتاج مخصبات للتربة
- الإلقاء في البحر (وأصبح الآن ممنوعا في أغلب دول العالم)

الشكل(2-1) طرق معالجة الحمأة والتطبيق على الاراضي



2-1. تكثيف الحماة Sludge thickening

الهدف من التكثيف هو تقليل حجم الحمأة وزيادة تركيز المواد الصلبة فيها ليسهل التعامل معها بالنسبة للضخ والهضم ونزع الماء ولتقليل حجم المنشآت المعنية، فمثلا حمأة منشطة نسبة المواد الصلبة فيها 0.6 % تصبح بعد التكثيف 3%، حيث يتحقق تخفض للحجم بحدود 5 مرات تقريباً.

2-1-1. التكثيف بالثقالة Gravity thickener

لا ينصح باستخدام أحواض التكثيف بالثقالة للحمأة غير المستقرة بسبب مشاكل التحلل وصدور الروائح إلا إذا تم التحكم الكافي في مشاكل التشغيل والروائح الصادرة عن المكثف.

والطريقة تشبه حوض الترسيب التقليدي ويتم دخول الحمأة من مركز الحوض من خلال الموجه وخروج المياه الطافية (الرواقة) من الهدارات..

ويمكن أن تضاف مواد كيميائية لتحسين فصل المياه عن الحمأة، وفيما يلي ضوابط التصميم للحوض من [3].

- تحميل المواد الصلبة (30 -60 kg/m2.d, m^2) من سطح قاع الحوض.
- معدل التحميل الهيدروليكي النموذجي {16 to 32 m^3/m^2. d}.
- ومن اجل الحمأة المنشطة الترسيب النهائي أي ندف خفيف {8 -4 $m^3/(m^2$. d)}.
- ومن اجل حمأة حوض الترسيب الأولي {16 to 32 $m^3/(m^2$. d)}.
- زمن المكوث للحمأة المنشطة في حوض التكثيف تؤخذ بشكل عام من3-6ساعات.
- الشكل النموذجي للمكثف هو حوض دائري ارتفاع جدار الحوض(3-4m).
- ميل القاع 1:4-1:6. ويمكن أن يصل قطر الحوض إلى (25)m.
- يتم سحب الحمأة من أسفل القمع المركزي السفلي بالضخ أو بالراحة.
- كما يتم سحب المياه الطافية (الرواقة) من خلال هدارات جانبية كما في حوض الترسيب وتعاد هذه المياه إلى محطة المعالجة.

يتم اختيار معايير التصميم عادةً من التجربة والقياسات المخبرية ويستعان بالجدول (2-1-1-1).

الجدول (2-1-1-1) أهم معايير التصميم العملية للمكثف بالثقالة [2+1]

نوع الحمأة	تحميل الحمأة	نسبة المواد الصلبة في الحمأة %	
	كجم/مترمربع/يوم $Kg/m^2/d$	قبل التكثيف	بعد التكثيف
حمأة أولية	150 – 100	5.5 – 2.5	10 – 8
حمأة من المرشحات البيولوجية	50 – 40	4 – 1	6 – 3
حمأة منشطة عادية	80 – 30	1.3 – 0.5	3 – 2.5
حمأة منشطة مع تهوية مديدة	35 – 20	1 – 0.25	3 – 2
حمأة أولية مع حمأة منشطة	85 - 15	4.25 – 2.25	8 - 4.5

2-1-2. تكثيف الحمأة بالتطويف DAF

ويدعى،Dissolved air flotation thickening تكثيف الحمأة بواسطة التطويف بالهواء المنحل وهو يستعمل لتطويف المواد الصلبة للحمأة وخصوصاً الحماة المنشطة.

في مكثف DAF يتم حل الهواء في المياه تحت الضغط(saturated الإشباع) في غرفة خاصة، وعند تحرر الضغط (ويكون عند مدخل الحوض) تظهر فقاعات صغيرة جداً (60-100 µm) تقوم بدفع المواد الصلبة باتجاه الأعلى.

وفيما يلي أهم ضوابط التصميم:

- نسبة تحميل الحمأة (29-300kg solids/m2. d من [1]) (في [3] التحميل للحماة المنشطة (10 - 20 kg solids/m2 . d).
- مكثف الحمأة بالتطويف يعطي كفاءة 85% -99%.
- زمن الحجز في غرفة الضغط: 1-3 دقيقة.
- زمن الحجز الهيدروليكي: 10-20 دقيقة.
- نسبة الهواء إلى المادة الصلبة A/S: 1 -4 %
- الضغط : (2.80 - 5.50 bar).
- التحميل الهيدروليكي: (12-200 m3/m2/d).
- النسبة المئوية للمواد الصلبة في الزبد وزنا: 3-6%.[1].

الجدول (2-1-2-1) حالات التحميل لمكثف DAF، من [1]

نوع الحمأة أو المواد الصلبة العضوية	التحميل مواد صلبه kg /(m2. h)	
	بدون إضافة مواد كيميائية	مع إضافة مواد كيميائية
الحمأة المنشطة		
المزيج المنحل	3-1.2	حتى 10
مرسبة	4-2.4	حتى 10
حمأة منشطة بالأكسجين الصافي	4-3	حتى 10
حمأة مرشح بيولوجي	4-3	حتى 10
حمأة أولية مع حمأة منشطة	6-4	حتى 10
حمأة أولية مع حمأة مرشح بيولوجي	6-4	حتى 10
حمأة أولية فقط	6-4	حتى 12.5

ملاحظة: لحساب كمية المياه المدورة إلى خزان الضغط يوجد معادلات لحسابها ويمكن فرض نسبة التدوير /1.25-1/ وإدخالها في حساب زمن المكوث والتحقق من التحميل(المراجع)

2-1-3. تكثيف الحمأة بالطرد المركزي، البرميل الدوار مع حلزون:
Centrifuge thickening, screw thickener

يعمل جهاز الطرد المركزي كمكثف للحمأة المنشطة أو يقوم بنزع المياه Dewatering من الحمأة المهضومة Digested sludge أو الحمأة المكيفة conditioned حيث يتم فصل الماء عن الحمأة بقوة الطرد المركزي.

وفي المكثف الحلزوني أو (البرميل الدوار): يقوم حلزون داخل أسطوانة من الشبك بدفع الحمأة نحو الجوانب وإلى الأمام وتخرج الماء في هذه الأثناء عبر الشبك.

- المكثف النابذ Centrifuge thickening:

(وعاء الطرد المركزي بالحلزون) يعمل جهاز الطرد المركزي كمكثف للحمأة المنشطة أو يقوم بنزع المياه Dewatering من الحمأة المهضومة Digested sludge أو الحمأة المكيفة conditioned حيث يتم فصل الماء عن الحمأة بقوة الطرد المركزي.

ويضاف للحمأة بوليمر وكمية البوليمر اللازمة من 4-0 كغ/طن مواد صلبة[1]. الشكل (1-3-1-2). وعندما يدور الوعاء بسرعة تتراكم المادة الثقيلة (الحمأة) وتتكثف وتتوجه إلى المخرج. (الحلزون يدور داخل الوعاء بسرعة مختلفة قليلا) والطريقة جيدة في حال التدفق اكبر من 0.2 م3/ثا [1].

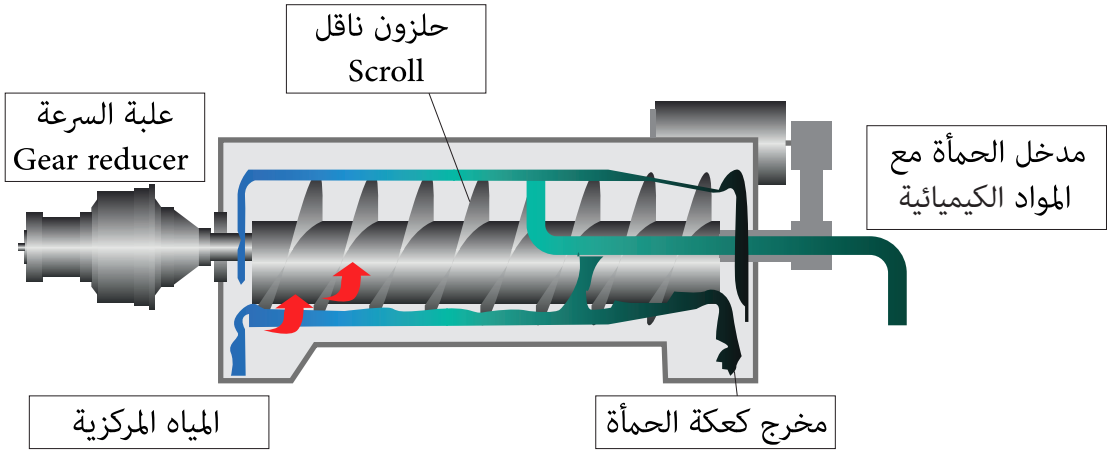
- طريقة البرميل الدوار مع حلزون أو المكثف الحلزوني screw thickener:

يدور على محور أفقي أو مائل ويتم تغذيته بشكل مستمر وتتجمع الحمأة على المحيط (وهو من الشبك) والحلزون يقوم بدفع الحمأة إلى مكان خاص في المقدمة بينما الماء يتم فصله إلى الخارج، ويتم اضافة البوليمر ومزجه مع الحمأة. ويصل التدفق حتى 24 ليتر/ثا [1]. الجدول (1-3-1-2) يعطي أداء البرميل الدوار مع حلزون. علما بأن التكاليف التشغيلية له أعلى مقارنة بالطرق الأخرى. الشكل (2-3-1-2) المكثف الدوار مع حلزون. (بعض تصاميم البرميل الدوار مع حلزون تقوم بدمج التكثيف مع نزع الماء في نفس الجهاز).

الجدول (2-1-3-1) أداء المكثف الحلزوني [I]

نوع المواد الصلبة او الصلبة العضوية	التزويد TS%	إزالة المياه %	المواد الصلبة المكثفة %	الاستحواذ على المواد الصلبة %
أولية	6 - 3	75 - 40	9 - 7	98 - 93
حمأة مصرفة	1 - 0.5	90 - 70	9 - 4	99 - 93
أولية + حمأة مصرفة	4 - 2	50	9 - 5	98 - 93
حمأة مهضومة هوائياً	2 - 0.8	80 - 70	6 - 4	98 - 90
حمأة مهضومة لاهوائياً	5 - 2.5	50	9 - 5	98 - 90

الشكل (2-1-3-1) جهاز تكثيف الحمأة بالطرد المركزي



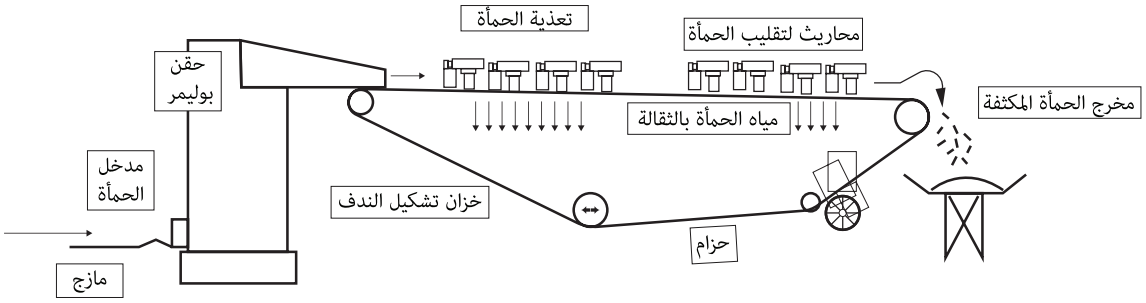
الشكل (2-1-3-2) المكثف الدوار مع حلزون [18]

خزان خلط البوليمر بالحمأة

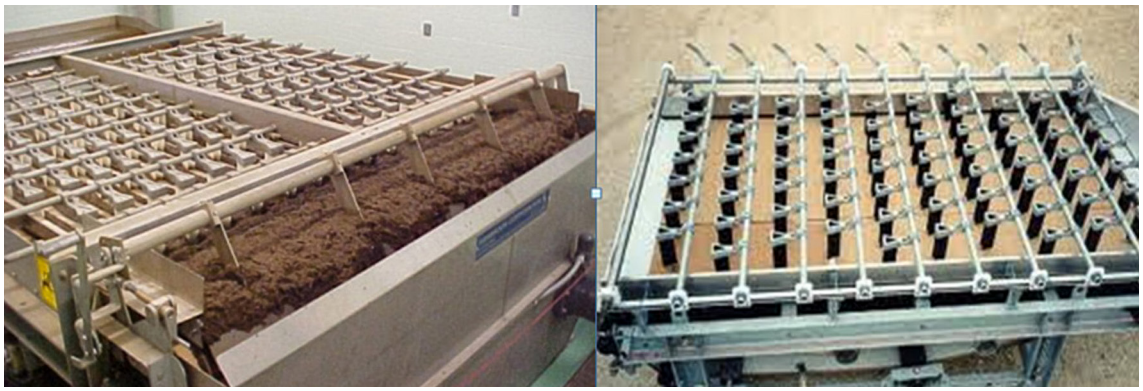
2-1-4. تكثيف الحمأة بواسطة السير المكثف Gravity belt thickening

وهو سير مثقب يتحرك أفقياً. ويتم توزع الحمأة على السير المثقب حيث تخرج الماء من الحمأة بالثقالة الشكل (2-1-4-1) a وb وهو جيد للحمأة الخفيفة (مواد صلبة 2%) ويصل عرض السير من (1-3)م والتحميل النموذجي من (47-6.7) ليتر حمأة /ث حسب عرض السير. أو (800 ليتر/م/دقيقة من [1]).

الشكل (2-1-4-1) a السير المكثف للحمأة (يتبع)



الشكل b



2-1-5. مكثف البرميل الدوار RDT. Rotary drum thickening

وهو وعاء يدور حول محور أفقي ويتم تغذيته بشكل مستمر، حيث تتجمع الحمأة على محيط الجهاز (الوعاء من الشبك الناعم)، وبموجهات داخلية خاصة يتم دفع الحمأة إلى المقدمة ومن ثم خارج الوعاء، وأثناء ذلك يتم فصل المياه عبر الشبك, الشكل (2-1-5-1) مكثف البرميل الدوار. ويتم رش الماء على الشبك بشكل متكرر لتنظيفه، وتُصمم RTD لتعمل لأنواع من المواد الصلبة والتراكيز وعادة ما يتم توفيرها من قبل الشركات المصنعة حسب الشروط المحددة، ونسبة التكثيف تصل إلى 7-9 % للمواد الصلبة. وبالمقارنة مع الطرق الاخرى نجد إن نسبة الكلفة على السعه قليلة، ونجد أن المساحة المشغولة والإشراف أقل وكمية المواد الكيميائية اللازمة نفسها ولكن فعاليته أقل نسبيا في بعض الأحيان.

الشكل (2-1-5-1) مكثف البرميل الدوار .RDT من parkson))

2-2. تثبيت الحمأة ونزع الماء Sludge stabilization/ dewatering:

لا يمكن استعمال الحمأة المكثفة مباشرة كسماد وإنما يجب تثبيت المواد العضوية المتبقية والقضاء على العوامل الممرضة فيها والقضاء على الرائحة ومنع تعفن الحمأة، والطرق المتبعة هي الهضم اللاهوائي والهوائي أو الكيميائي أو تحويلها سمادا composting، إضافة لطرق أخرى سيتم ذكرها.

2-2-1. الهضم اللاهوائي للحماة Anaerobic digestion:

هو تحلل بيوكيمائي في غياب الهواء ويتم فيها إطلاق طاقة، وتتحول المواد العضوية الطيارة إلى غازات الميثان وثاني اكسيد الكربون وماء وهو يتم على ثلاث مراحل (ويدعى التخمر fermentation) {الحلمة - تشكيل الحمض - وتشكيل الميثان}.

بتحطيم المواد العضوية extracellular- enzymes في المرحلة الأولى: تقوم الإنزيمات المعقدة من البروتين والسيللوز والدهون إلى حموض دهنية عضوية منحلة وكحول وثاني أكسيد الكربون وأمونيا.

- المرحلة الثانية: تقوم بكتيريا تشكيل الأحماض ومنها الاختيارية بتحويل المنتجات في المرحلة الأولى إلى سلاسل قصيرة من المركبات العضوية الحمضية مع ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين ويسبب ذلك انخفاض الرقم الهيدروجيني.

المرحلة الثالثة: هي لاهوائية بامتياز حيث تقوم مجموعتان من البكتيريا اللاهوائية وهي بكتيريا الميثان (methanogens)، الأولى تحول الكربون والهيدروجين إلى ميثان، والمجموعة الثانية تحول الخلات (ace-tate) إلى ميثان وثاني أكسيد الكربون وغيره.

العوامل الأساسية في تصميم المفاعل اللاهوائي هو زمن مكوث المواد الصلبة وزمن المكوث الهيدروليكي ودرجة الحرارة وPH والمواد السامة حيث بكتيريا الميثان حساسة جداً لهذه العوامل، وعادةً يتم تسخين المفاعل للحفاظ على درجة حرارة بين 34°C-36°C ويدعى المجال (ميسوفيلك mesophilic) والبكتيريا تكون ذات نمو بطيء نسبياً، ومجال PH من (6.8-7.2).

ان انخفاض درجة الحرارة يزيد الزمن اللازم للهضم وكذلك زيادة وجود المعادن الثقيلة أو الأمونيا والكبريتيد ammonia, sulfide أو الكاتيونات المعدنية الخفيفة التي يمكن إن تثبط عمل البكتيريا وتعكس عمل المفاعل.

- زمن المكوث في المفاعلات اللاهوائية النظامية يكون زمن مكوث الحمأة (30-60) يوماً (60 يوما بدرجة حرارة 20°C و30 يوم بدرجة حرارة 34°C) وهو نفسه عمر الحمأة SRT أما في المفاعلات غير النمطية فتكون مع تدوير ومع تحريك مستمر ويدعى المفاعل المعدل عالي (high rate) حيث زمن المكوث من (10-20) يوماً.

ويوجد معيار هام هو تحميل المواد الصلبة الطيارة لمنع الزيادة في التحميل في وقت قصير في المفاعل وفق الجدول (2-2-1-1).

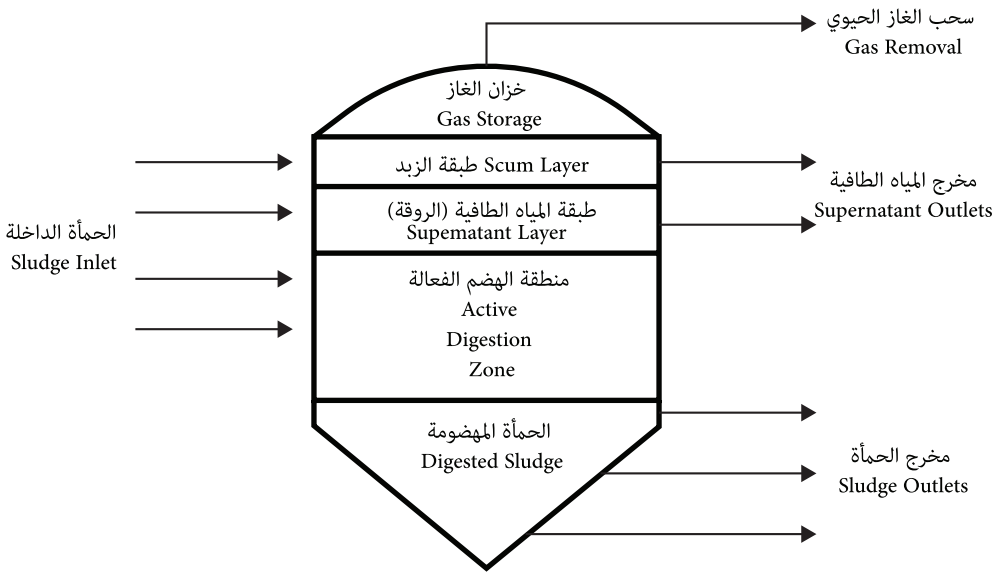
الجدول (2-2-1-1) أهم الضوابط لتصميم الهاضم اللاهوائي النظامي وذي المعدل العالي*

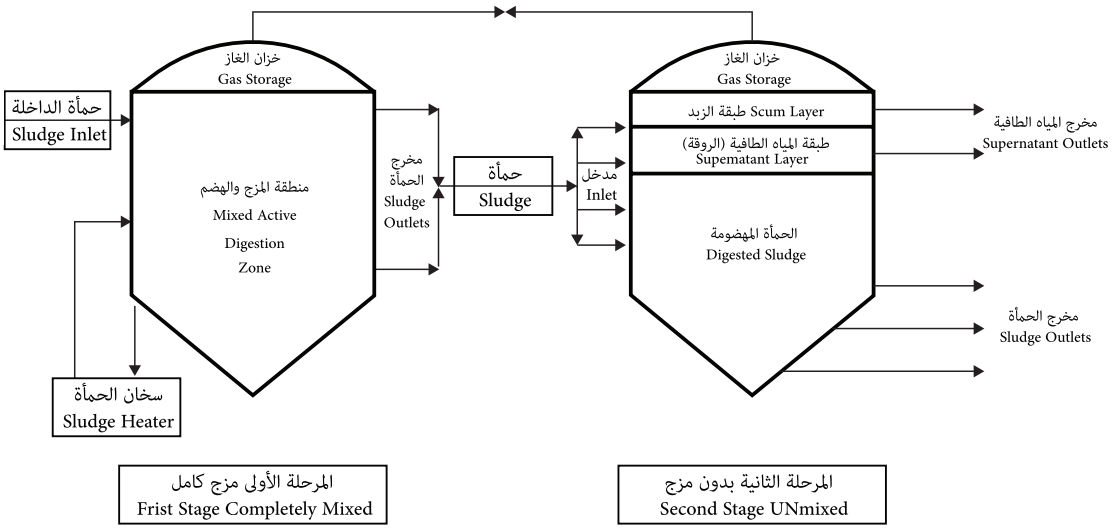
المعيار التصميمي	الوحدة	هاضم نظامي	هاضم ذو معدل عالي – مزج كامل
زمن مكوث المواد الصلبة	d	60 - 30	20 - 15
تحميل المواد الصلبة الطيارة	$KgVSS/m^3/d$	1.5 – 0.5	4.8 – 1.6
حجم الحوض الفعال		$شخص/m^3$	
حمأة أولية فقط		0.1 – 0.06	0.06 – 0.03
حمأة أولية + حمأة مرشح بيولوجي		0.15 – 0.12	0.09 – 0.07
حمأة أولية + حمأة نشطة		0.18 – 0.12	0.11 – 0.07
نسبة إنقاص المواد الصلبة الطيارة	%	60	50
معدل انتاج الغازات من الهاضم	$m^3/KgVSS$ مدمرة	0.810	1.120
محتوى الميثان في الغازات الناتجة	%	65	69

VSS volatile suspended solid المواد الصلبة الطيارة

وتكون المفاعلات على مرحلة أو مرحلتين الشكل (2-2-1-1 - a و b)، فالمفاعل ذو المعدل المنخفض التقليدي يكون على مرحلة واحدة ويوجد فيه ثلاث طبقات هي الزبد scum، وطبقة المياه الطافية (الرواقة) وتدعى supernatant، وطبقة الحمأة، حيث ترسب الحمأة المهضومة في الأسفل والمياه الطافية عادةً تعاد إلى محطة المعالجة، وفي المفاعل المعدل العالي الأحادي يسخن المفاعل وتخلط الحمأة بشكل جيد، بينما في الهضم بمرحلتي حمأة يتم تثبت الحمأة في المرحلة الأول وفي الثانية ترسيب وتكثيف، كما يجب مراقبة القلوية وأن تكون: (3500-2000 mg/L as $CaCO_3$)، ويتم بناء غطاء للمفاعل مع خلاط آلي أو التحريك بواسطة تدوير الغاز الحيوي المنتج.

الشكل (2-2-1-1-a)، الهاضم اللاهوائي - مرحلة واحدة





- إنتاج الغازات:

يتألف الغاز الحيوي من عدة غازات وفق الجدول (2-2-1-2) وعادة توجد معادلات ناظمة لحساب الغازات المنتجة تعتمد عل الاحمال الداخلة للمفاعل [3].

ويجب الانتباه إلى أنه إذا تجاوزت كمية ثاني أكسيد الكربون 35% فهذا يعني وجود مشكلة ما في المفاعل.

الجدول (2-2-1-2) النسب المئوية حجماً لمكونات الغاز الحيوي

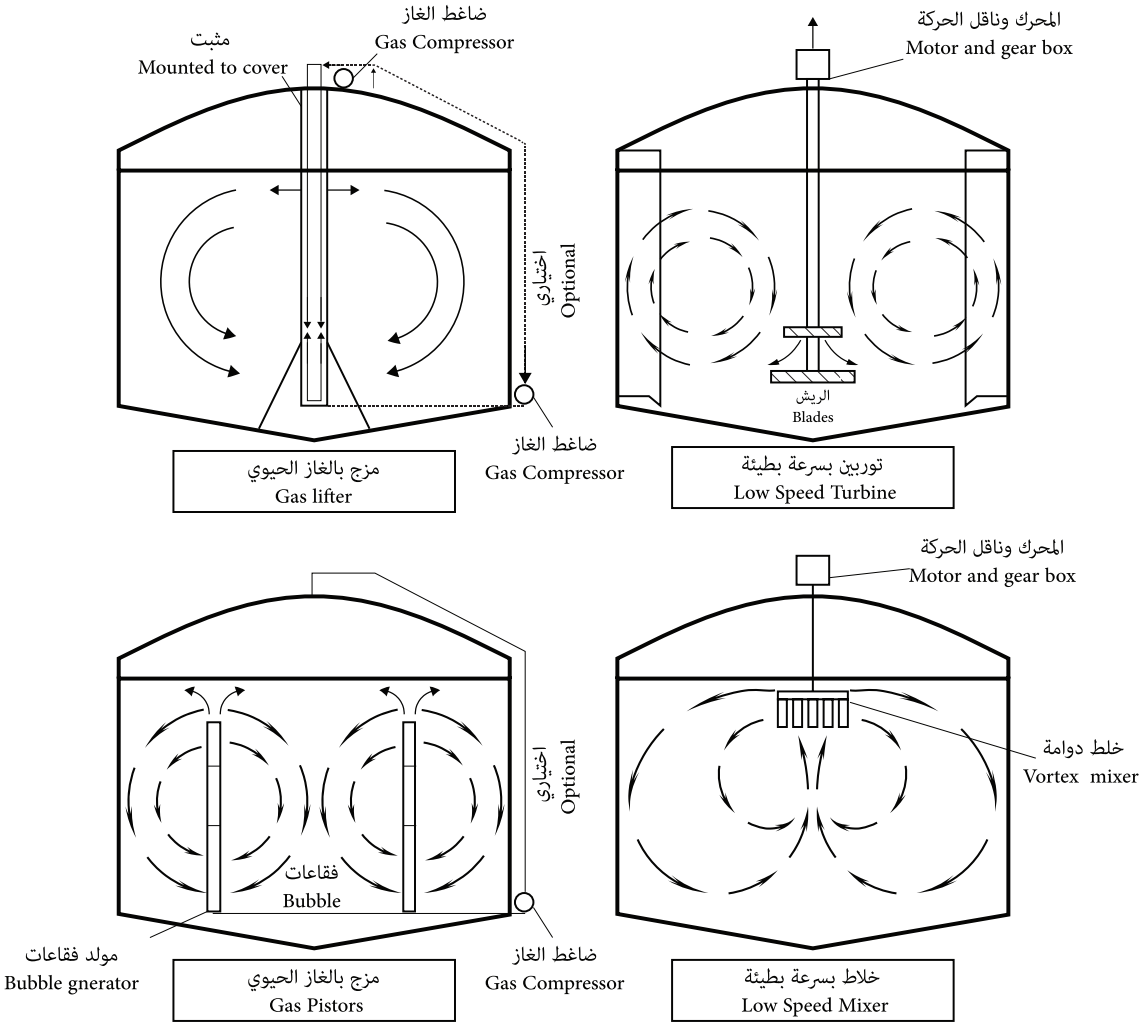
نوعية الغاز	CH_4	CO_2	CO	N	H_2S	O_2
النسبة الحجمية للغاز	% 70 - 65	%35 - 31	% 4-2	%1	%1,5 - 1	%0,3 - 0

ويمكن تقدير إنتاج الغاز على أساس الفرد [1]. فمن محطات المعالجة الأولية التي تعالج الصرف الصحي العادي تعطي 15 إلى 22 1000/م3 شخص. وفي محطات المعالجة الثنائية، يكون إنتاج الغاز هو حوالي 28 1000/م3 شخص [1].

2-2-2. أنواع الهواضم اللاهوائية وطرق المزج:

2-2-2-1. الهاضم الاسطواني: يتم مزج داخل المفاعل إما بواسطة الغاز الحيوي المنتج وضغطه ضمن الهاضم أو يتم المزج ميكانيكياً. الشكل (2-2-2-b-a-1) يوضح طريقة المزج بالطريقتين المذكورتين. الشكل (2-2-2-a,b) هاضم لاهوائي شكل البيضة وهاضم لاهوائي أسطواني.

الشكل (2-2-2-b-a-1) يوضح طريقة تحريك الحمأة في الهاضم أسطواني



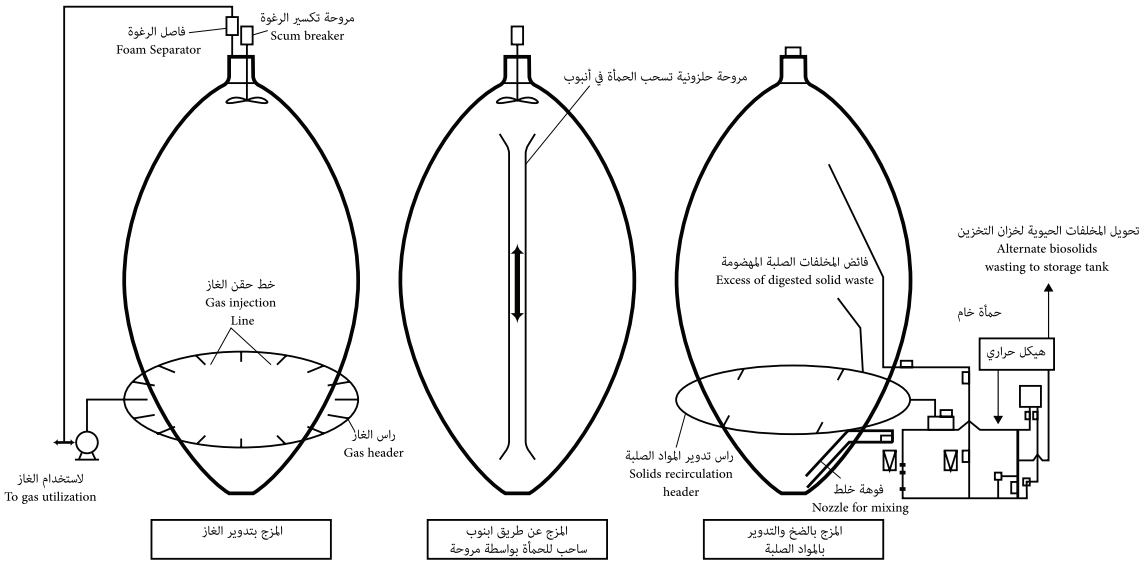
2-2-2-2. الهاضم اللاهوائي بشكل البيضة: الهاضم بشكل البيضة المقلوبة (وهو ألماني الاختراع 1950) وهو يقلل الحجم الغير فعال في الهواضم وأقل كلفةً بالنسبة لطاقة المزج ويمكن أن يتم ضخ المواد الراسبة من الأسفل إلى الأعلى لتغطيس المواد الخفيفة أو عمل مزج ميكانيكي أو مزج بالغاز الحيوي المنتج ويبنى الهاضم عادةً من الفولاذ ويصل ارتفاعه أكثر من 40 م. الشكل (2-2-2-c,2) يوضح نماذج لطريقة مزج الحمأة في الهاضم بشكل البيضة.

(2-2-2-a,b,2) هاضم هوائي شكل البيضة وهاضم أسطواني

a

b

الشكل (2-2-2-c)، يوضح نماذج لطريقة مزج الحمأة في الهاضم بشكل البيضة



2-2-2. الهضم الهوائي للحمأة Aerobic digestion:

يستعمل الهضم الهوائي لكافة أنواع الحمأة من أولية أو ثنائية أو مشتركة بتهوية مطولة ويصل تدفق الحمأة إلى (2) م^3/ثا من(wef). حيث يتم إرجاع المواد الصلبة العضوية في الحمأة إلى ثاني أكسيد الكربون وأمونيا وماء بواسطة بكتيريا هوائية, ويتم بهذه الطريقة القضاء على الروائح والكائنات الممرضة. ويتم تزويد المفاعل بالحمأة عموماً بالدفقات أو نصف دفقات أو تدفق مستمر، ومن أجل تركيز نسبة موادVSS ليس أكثر 3% يكون زمن المكوث (15-20) يوما [3]، ويمكن أن يكون الهضم بالأكسجين الصافي، والحوض النموذجي يكون على مرحلة واحدة ويشبه عمل الحمأة المنشطة.

- ميزات الهضم الهوائي:

1. المعالجة والهضم بنفس جودة اللاهوائي.
2. المياه الطافية (الرواقة) أقل تلوثا.
3. السماد جيد وكميته أكبر من اللاهوائي.
4. تكاليف الإنشاء أقل.
5. لا يوجد روائح في المنتجات.
6. التشغيل أسهل.
7. جيد للحمأة العالية الحمولة. [1]

- ومن أهم المساوئ:

1. استهلاك الطاقة.
2. الحمأة صعبة نزع الماء نسبياً.
3. تتأثر العملية بالحرارة.

وتتبع إحدى الطرق التالية في المعالجة الهوائية:

- المعالجة بالدفقات batch. يتم ملء الحوض بالحمأة ويتم التهوية من 2-3 أسابيع ثم يوقف الهضم وتترسب الحمأة ويتم سحب المياه الطافية من الأعلى والحمأة المهضومة الراسبة من الأسفل. من (US EPA 1991)
- نصف الدفقات semi batch يتم إضافة الحمأة كل يومين أو ثلاثة، والمياه الطافية تسحب بشكل دوري، والحمأة يمكن أن تبقى لفترة طويلة في الهاضم قبل سحبها وهو جيد للمحطات الصغيرة.
- التدفق المستمر يستعمل في المحطات الكبيرة.

وحجم الهاضم يحدده نوع الحمأة وتحميل المواد الصلبة العضوية الطيارة. ودرجة الحرارة المناسبة للهضم الهوائي بين (18-27) درجة مئوية ويزداد زمن الهضم إلى أكثر من مرتين في الدرجة 15 درجة مئوية، كما يتم تخفيض المادة العضوية من (40-50)% والكائنات الممرضة حتى 90%، الجدول (2-2-2-1) يعطي أهم ضوابط التصميم للهواضم الهوائية.

الجدول (2-2-2-1) أهم ضوابط التصميم للهواضم الهوائية*

المعيار التصميمي	الوحدة	هاضم نظامي
-زمن الحجز الهيدروليكي بدرجة حرارة 20°C:	يوم	
• حمأة منشطة دون وجود أحواض ترسيب أولي.		20 – 15
• حمأة أولية + حمأة منشطة أو حمأة من مرشح تحميل المواد الصلبة الطيارة.		25 – 20
الاحتياج الأكسجيني لهضم المواد العضوية:	$KgVSS/m^3/d$ $KgO2/KgVSS/d$	3.2 –1.1 3 – 1.5
-احتياج ضخ الهواء	هاضم $m^3/hr/m^3$ هواء	
• حمأة منشطة فقط.		2 - 1.2
• منشطة + حمأة أولية.		4 - 3.5
طاقة المزج اللازمة (مهويات سطحية)	$Kw/1000m^3$	40 - 20
كمية الهواء للمزج بواسطة النواشر	m^3/m^3 .min	0.04 – 0.02
نسبة تهديم المواد الصلبة	%	50 – 40
كمية الأكسجين المنحل	Mg/L	2 – 1
إنقاص المواد الصلبة الطيارة	%	50 - 40

VSS volatile suspended solid المواد الصلبة الطيارة

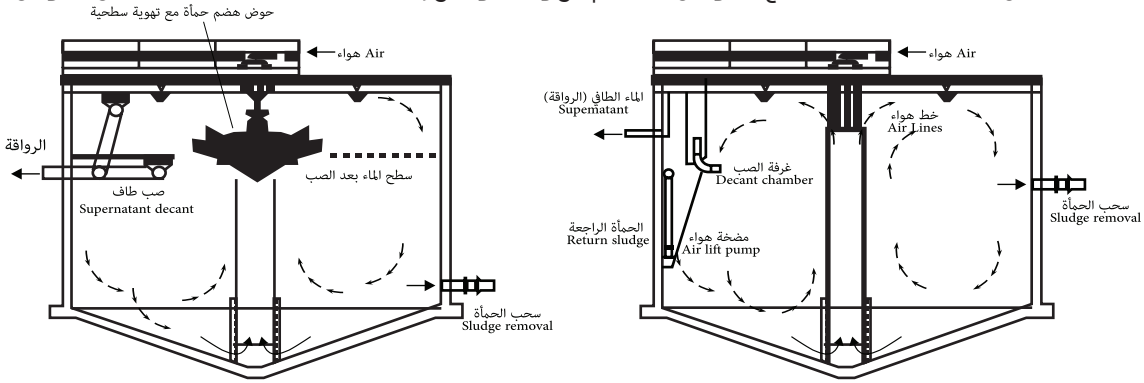
وهناك أيضا طريقة للتصميم تعتمد الحجم اللازم في المفاعل الهوائي لكل شخص مكافئ، حيث الجدول (2-2-2-2) يعطي الحجم الموصى به. إن كمية الأكسجين في الحوض يجب أن تحقق (DO1-2 mg/L)، وينصح بتسخين الهاضم الهوائي في درجات الحرارة المنخفضة. ويعطى احتياج الحمأة من الهواء المذرور (من اجل الحمأة المنشطة) {m3. L /mint (30-20)} حسب (EPA).

الجدول (2-2-2-2) الحجم الموصى به في الهاضم الهوائي لكل شخص مكافئ*

نوع الحمأة	الحجم لكل شخص مكافئ m3
من الحمأة المنشطة بدون ترسيب أولي	0.13
حمأة أولية + حمأة منشطة	0.11
الحمأة المنشطة المصرفة عدا الحمأة الأولية	0.06
حمأة منشطة من تهوية مديدة	0.09
أولية + حمأة من الفيلم الثابت	0.09

*الدراسة مبنية على تهوية أقل من 24 ساعة مع إزالة النترات (المرجع. [3]+ Greater Lakes Upper Mississippi River Board)

في الشكل (2-2-2-1a,b) نماذج لأحواض الهضم الهوائي ويظهر كيفية سحب الماء الطافي من الحوض



2-2-3. التثبيت بالكلس Lime stabilization:

في تثبيت الحمأة بالكلس يتم رفع درجة PH حتى الدرجة 12 لمدة 2 ساعة كحد أدنى وكذلك ترتفع درجة الحرارة أثناء المعالجة، مما يعطل النمو الحيوي ويدمر كثيرا من العوامل الممرضة، ولكن الحمأة عملياً لم تعالج لأنه بمجرد تخفيض PH إلى 11 تبدأ البكتيريا بالعمل ويمكن أن تنشط العوامل الممرضة من جديد، ولذلك يجب معالجة الحمأة قبل تصريفها بوقت مناسب وخصوصا عند تطبيقها على الأراضي.

2-2-4. الإسماد Composting:

وهي تحلل هوائي للحمأة إلى المنتج النهائي من المواد الثابتة (دبال) بدرجات حرارة عالية (وبعض عمليات الإسماد تتم لا هوائياً)، ويتحول حوالي 20-30% من المواد الصلبة الطيارة إلى ماء وثاني أكسيد الكربون بدرجة حرارة بين 60°C-70°C، حيث يتم تدمير العوامل الممرضة. وتعمل بكتيريا خاصة بدرجات حرارة عالية تدعى (ثيرموفيلك) Thermophilic بكتيريا تكون درجة الحرارة المثالية لنموها 60°C-70°C، (على عمليات التحليل, ونسبة الرطوبة اللازمة 50-60% وتصبح بعد الإسماد حوالي 40-50%، ونسبة المواد العضوية المتطايرة تصبح 40% (US EPA 1991) و[3]، ولا يجب أن تزيد الرطوبة عن 60% وإلا احتاجت إلى نزع للماء، ويمكن أن تضاف مواد مساعدة كقطع الخشب والنشارة والتبن لإحداث فراغات في الحمأة. يتم تزويد الهواء إما قسراً أو بالتقليب للحفاظ على (مستوى الأكسجين بنسبة بين 5-15) [3] لضمان عدم صدور الروائح.

كما يمكن خلط الحمأة مع المخلفات الصلبة البلدية بمعدل 1 حمأة 2 نفايات صلبة.

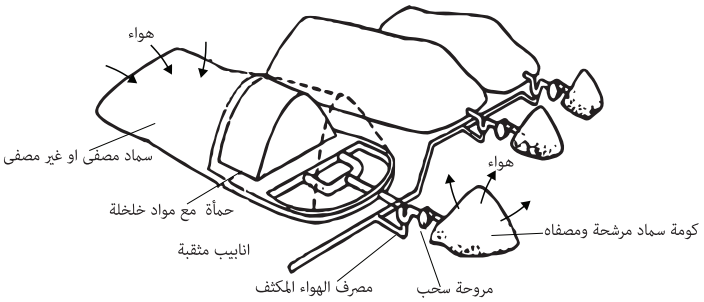
في اليوم الخامس يجب أن تكون الحرارة 40°C ويجب أن تقلب بما لا يقل عن 3 مرات خلال مدة 15 يوما كحد أدنى بدرجة حرارة دنيا 55°C لقتل العوامل الممرضة. الجدول (2-2-4-1) يوضح معايير تصميم عملية إسماد الحمأة (للتوسع الاطلاع على المراجع). الشكل (2-2-4-1,a,b) كُوَم حمأة منعزلة مع تهوية

والشكل (2-2-4-2,a ,c, b) كوم حمأة مستمرة مع تقليب آلي، وتدعى windrow.

الجدول (2-2-4-1) معايير تصميم عملية إسماد الحمأة

المعيار التصميمي	الوحدة	التكديس المنعزل	التكديس المستمر
فترة التكديس (التكويم)	يوم	21 – 28	20 – 28
فترة النضج	يوم	30 – 40	-
ارتفاع التكديس (الكوم)	m	2 – 2.5	1 – 2
عرض التكديس عند القاعدة	m	3.5 – 5	2 – 4
نظام التهوية	-	قسري	بالتقليب بمعدل 5 مرات على الاقل خلال فترة التكديس
نوع الحمأة الواردة	-	مهضومة أو خام ومعرضة لإحدى مراحل التجفيف الميكانيكي	مهضومة أو خام ومعرضة لإحدى مراحل التجفيف الميكانيكي
المواد المخلخلة نسبة الكربون/نيتروجين	- %	خشب – نشارة – تبن 30 % وزناً	خشب – نشارة – تبن 30 % وزناً

(b,a ,1-4-2-2) كُوَم حمأة منعزلة مع تهوية قسرية



الشكل (c, b,a ,2-4-2-2) كُوَم حمأة مستمرة مع تقليب آلي، windrow

2-2-5. تكييف الحمأة Sludge conditioning

يتم تكييف الحمأة قبل عملية نزع الماء وذلك لتحسين أدائها وزيادة إزالة المياه من الحمأة وتتم بإحدى طريقتين:

- **الطرق الكيميائية:** يمكن عند تكييف الحمأة تخفيض الرطوبة من 90-99% إلى 65-80% [WPCF 1988 a]. حيث تسبب المواد الكيمائية تخثير المواد الصلبة وإطلاق الماء الممتص، وتستعمل مواد كالكلس، وكلور الحديدي، و(الآلوم) الشب، وتستعمل أيضاً البوليمرات (polyelectrolytes) في التخثير ولكن الكفاءة اقل ويتم زيادة نسبة المواد الصلبة في الحمأة حتى 20-30%.
- **الطرق الفيزيائية:** ومن أشهر الطرق: الاهتزازات فوق الصوتية، التكييف الحراري وغيره ...

- **التكييف الحراري Thermal conditioning:** ويتم تسخين الحمأة لمدة (15) دقيقة إلى درجة حرارة (177-240°C) وتحت ضغط يصل إلى (1720-2760 kN/m2) حيث تقوم الحرارة والضغط بإطلاق المياه من الخلايا الميكروبية والحمأة المنشطة ولا تحتاج لمواد كيميائية وتصل نسبة المواد الصلبة (40-50%)، وتستعمل الطريقة للحمأة التي تحوي مواد سامة وغير قابلة للهضم البيولوجي. ويطلق التكييف الحراري غازات ومياه ملوثة يجب معالجتها, وعموماً الطريقة مكلفة.

- **التسخين المسبق Sludge preheating:** حتى 60°C يزيد أداء إزالة المياه من الحمأة.

- **تجميد وذوبان الحمأة Freeze-Thaw Conditioning:** حيث تخفض حرارة الحمأة إلى ما دون 10-30°C تحت الصفر ومن ثم يتم رفعها وهذ يساعد على نزع المياه منها.

2-2-6. نزع الماء من الحمأة Sludge dewatering:

وهي عملية فيزيائية الغرض منها انقاص الرطوبة من الحمأة:

- وتتم بعد تثبيت الحمأة و/أو تكييفها.
- وتتم قبل التسميد composting.
- أو قد ينزع منها الماء مسبقا لتخفيف تكاليف الضخ والنقل.
- أو من أجل طمرها وتخفيف كمية الرشاحة منها.
- أو لإجراء معالجة لاحقة كالحرق حيث الحرق يحتاج إلى تخفيف نسبة الرطوبة في الحمأة.
- أو لكي يتم استعمالها جافة في الزراعة.

يتم نزع الماء بطرق ميكانيكية أو بالتبخير الطبيعي كما يلي:

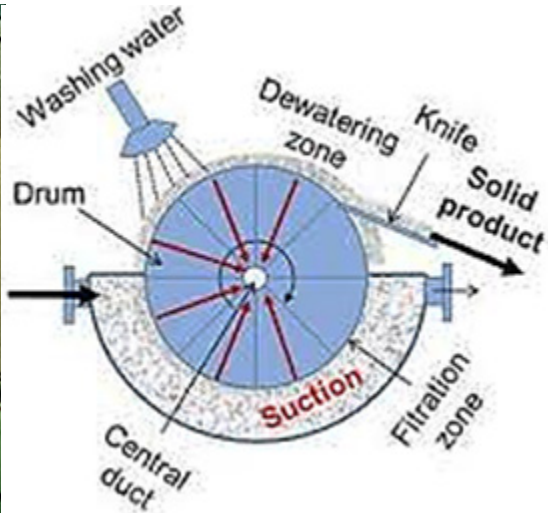
2-2-6-1. نزع الماء من الحمأة ميكانيكيا Sludge dewatering Mechanical:

2-2-6-1-1. المرشح الانفراغي Vacuum filtration:

تم استعمال المرشح الانفراغي منذ فترة طويلة لنزع الماء. الشكل (2-2-6-1-1) نموذج لمرشح انفراغي مع قشط مباشر للحمأة.

يتألف المرشح الانفراغي من أسطوانة عليها قماش يسمح بمرور الماء

الشكل(2-2-6-1-1-1)a: نموذج لمرشح انفراغي مع قشط مباشر للحمأةb: شرح مبدأ العمل



يسمح بمرور الحمأة وهو يتعرض لضغط سلبي من (38-75 سم زئبقي)، ويتم تغطيس الاسطوانة في الحمأة بنسبة 40-60% من السطح وكلما دارت الاسطوانة مع الضغط السالب تتكون طبقات من الحمأة على القماش ويتم إخراج الاسطوانة من الحمأة وقشط الحمأة من على القماش إلى وعاء خاص ومن ثم غسيل القماش. متوسط زمن عمل المرشح 16-20 ساعة في الحمأة والباقي قشط وغسيل. ويضاف مواد مخثرة مثل كلور الحديدي والكلس الجدول (2-2-6-1-1-2) يبين أداء مرشح انفراغي لحمأة بلدية مكيفة بكلور الحديد أو الكلس.

- ويكون معدل التحميل على سطح المرشح:
- من اجل الحمأة الأولية من {(kgd.s/m2/h (60-20}
- ومن أجل الحمأة المنشطة {(kgd.s/m2/h (17-12},
- ومن اجل حمأة أولية + حمأة منشطة يكون {(kgd.s/m2/h (25-20}.

الجدول (2-2-6-1-1-1) أداء مرشح انفراغي لحمأة بلدية مكيفة بكلور الحديد أو الكلس *

نوع الحمأة	حمولة المادة الصلبة(kg/hr-m2)	Percent Solids Cake
حمأة أولية	40-30	38-25
حمأة أولية وحمأة منشطة زائدة	25-20	25-16
حمأة أولية وحمأة منشطة زائدة (أكسجين نقي)	30-25	28-20
حمأة أولية وحمأة دبالية من المرشح الحجري	30-20	30-20
حمأة أولية مهضومة (لا هوائياً)	40-25	32-25
حمأة أولية وحمأة منشطة زائدة مهضومة (لاهوائياً)	25-20	22-14

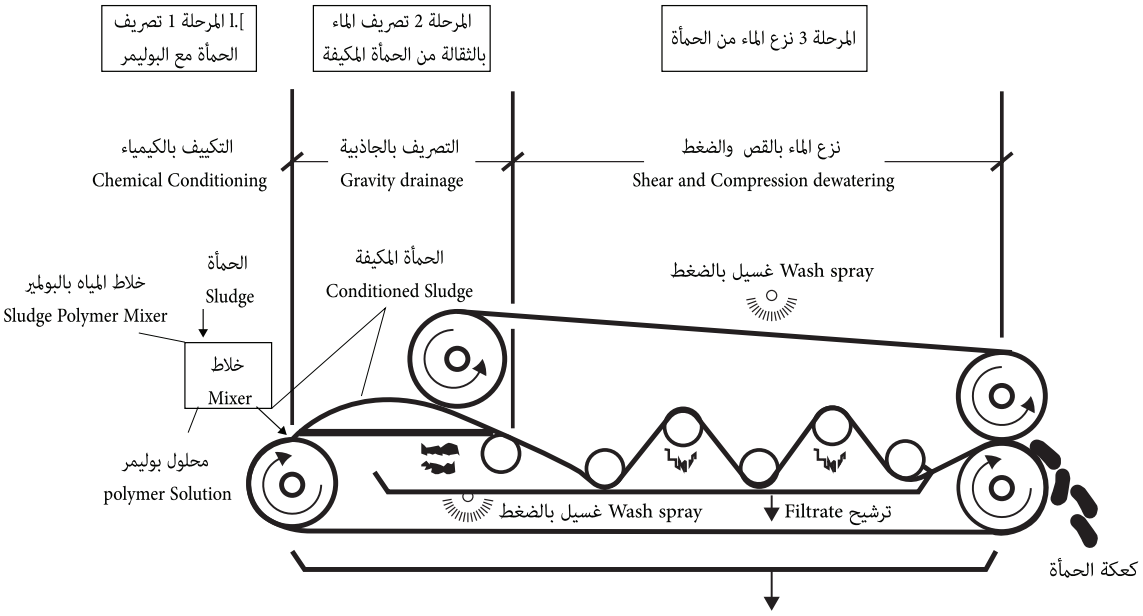
* Adapted from The EPA, Sludge Treatment and Disposal, FPA Process Design Manual - Washington, D.C ،١٩٧٩

2-2-6-1-2. الحزام الراشح الضاغط Belt filter press:

وهو نوع شائع من المرشحات لنزع الماء، يستهلك طاقة قليلة بالنسبة للمرشح الإنفراغي، ويتألف من حزام مشدود مثقب وتمر الحمأة وهي على الحزام على عدة بكرات بعدة أقطار حيث تقوم بعصر الحمأة ويسهل سقوطها من الحزام بعد ذلك، ويتم تكييف الحمأة لزيادة فعالية المرشح، ويضاف عادة (بوليمر كاتيوني cationic polymers). وعمل المرشح على ثلاث مراحل تصريف ماء بالثقالة ثم ضغط خفيف ثم ضغط عال بين حزامين يمران مع الحمأة ضمن بكرتين ويعصران الحمأة. الشكل (2-2-6-1-2-1) مخطط رمزي لعمل الحزام الراشح الضاغط. عرض المرشح من (0.5 إلى3.5) م (والعرض الشائع 2 م) الجدول التالي (2-2-6-1-2-1) يعطي أداء الحزام الراشح الضاغط لأنواع مختلفة من الحمأة. وغالباً تشكل الرائحة أثناء عمل الحزام الراشح الضاغط مشكلة مزعجة ولذلك يجب عمل تهوية في صالة العمل لإزالة كبريتيد الهيدروجين وغيرها من الغازات (وعادة يمرر هواء الصالة على وحدة معالجة هواء).

ملاحظة: الجدول (2-2-6-1-4-1) يعطى كمية البوليمرات اللازمة للحمأة في الحزام الراشح الضاغط.

الشكل (2-2-6-1-2-1) مخططات لعمل الحزام الراشح الضاغط



3-1-6-2-2. المكبس المرشح Filter press:

وهو من المرشحات المشهورة نظراً لبساطة أدائه وفعاليته العالية أكثر من المرشحات السابقة، حيث تصل نسبة المواد الصلبة في الكعكة إلى (35-50)%، بينما في الطرق الأخرى اقل من ذلك إضافة للاستهلاك القليل من الطاقة. (يستعمل بشكل واسع في محطات المعالجة الصغيرة وفي تجفيف الحمأة الصناعية) ويتألف المرشح من صفائح معدنية سميكة من الحديد أو الألمنيوم أو من مواد أخرى (كالبوليامید)، ويوجد فراغ خاص داخل الصفيحة وعندما يتم إحكام الصفائح على بعضها سيتشكل فجوة بين الصفيحتين ستمتلئ بالحمأة الداخلة بالضخ. تضخ الحمأة إلى الفجوات تحت ضغط يصل إلى 15 بار أو أكثر ويبقى الضغط مطبقا لمدة قد تصل إلى (2 ساعة) [3,1]، وبعد انتهاء الدورة يحرر ضغط الحمأة ويتم تحرير ضغط الصفائح وإبعادها عن بعضها لتظهر كعكة الحمأة وتسقط في قمع خاص. ويوجد نوع من هذا الجهاز تنظيف آلي. الجدول (2-2-6-1-3-1) أهم ضوابط تصميم المكبس المرشح. الشكل (2-2-6-1-3-1) شكل منظوري للمكبس المرشح. تدهن الصفائح بمواد خاصة أو رماد لمنع التصاق القماش عليها.

الجدول (2-2-6-1-2-1) أداء الحزام الراشح الضاغط لأنواع مختلفة من الحمأة[1],[14]

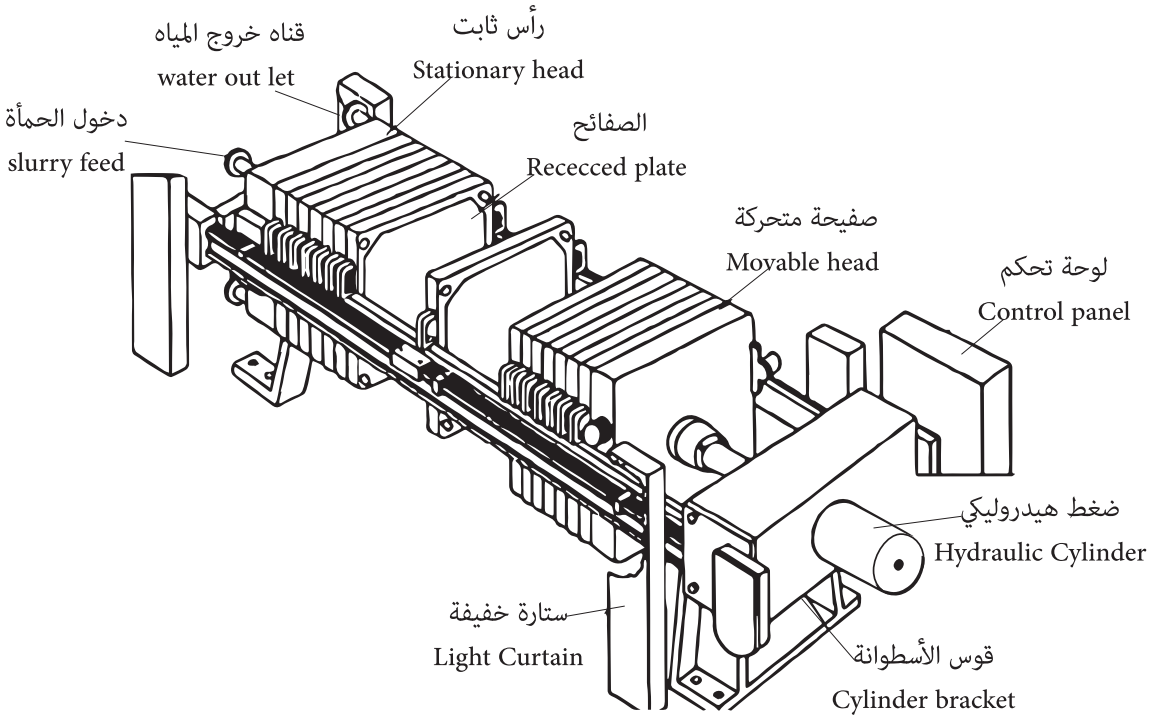
نوع الحمأة	المادة الجافة الداخلة	التحميل لكل متر طولي من المرشح		بوليمر g/kg صلبة جافة	نسبة المواد الصلبة في كعكة الحمأة%	
		L /S	Kg/h		المجال	النموذجي
أوليــة	7-3	3.2-1.8	550-360	4-1	28	32-26
*was	4-1	0.7-2.5	180-45	10-3	15	20-12
أولية+was	6-3	3.2-1.3	320-180	8-2	23	28-20
أولية + WAS 50:50	6-3	3.2-1.3	320-180	10-2	20	25-18
أولية + WAS 60:40	36-36	3.2-1.3	320-180	8-2	25	30-23
مع هضم لا هوائي :						
أوليــة	7-3	3.2-1.3	550-360	5-2	28	38-25
*was	4-3	2.5-0.7	135-45	10-4	15	20-12
أولية+was	6-3	3.2-1.3	320-180	8-3	22	25-20
مهضومة هوائياً:						
أولية +WAS غير مكثفة	3-1	3.2-0.7	225-135	8-2	16	20-12
أولية +WAS مكثفة50:50	8-4	3.2-0.7	225-135	8-2	18	25-12
أكسجين WAS	3-1	2.5-0.7	180-90	10-4	18	23-15

*Was حمأة منشطة مصرفة

الجدول (2-2-6-1-3-1) أهم ضوابط تصميم المكبس المرشح [19]

نوع الحمأة	المواد الكيميائية المضافة %		زمن الدورة hr	تركيز المواد الصلبة في الكعكة %
	FeCl3	Cao		
أولية	5	10	2	45
أولية + WAS	5	15	3	45
WAS	7.5	15	2.5	40
أولية + WAS مهضومة لا هوائياً	5	10	2	45

الشكل (2-2-6-1-3-1) شكل منظوري للمكبس المرشح



2-2-6-1-4. نزع الماء بالطرد المركزي Centrifuge dewatering:

تم شرح الطريقة في الفقرة (3-1-2) وهي تعطي كعكة حمأة بنسبة مواد صلبة (30-15)% والجدول (2-2-6-1-4-1) يعطي كمية البوليمرات اللازمة لمرشح الطرد المركزي والحزام الراشح الضاغط.

الجدول (2-2-6-1-4-1) يعطي كمية البوليمرات اللازمة لمرشح الطرد المركزي والحزام الراشح الضاغط

نوع الحمأة	مواد صلبة g /kg	
	المرشح الحزامي	الطرد المركزي
أولية	4-1	2.5-1
أولية + WAS	8-2	5-2
أولية + مرشح بيولوجي	8-2	*-
WAS	10-4	8-5
أولية مهضومة لا هوائياً	5-2	5-3
أولية مهضومة لاهوائياً + WAS	8.5-1.5	5-2
أولية مهضومة هوائياً + WAS	8-2	*-

* تصنف ضعيفة بالنسبة لفعالية البوليمر ويمكن استعمال مواد كيمائية أخرى ككلور الحديديك والكلس[١]

2-2-6-2. نزع الماء من الحمأة بالتبخير الطبيعي Natural evaporation:

تستخدم عدة طرق لنزع الماء من الحمأة بالتبخير والرشح منها مفترشات التجفيف الرملية وأحواض التجفيف المرصوفة، وبرك التجفيف وغيره وتستعمل من أجل محطات معالجة التي فيها التدفق اقل من (7500 M3/d ,WEF b 1996) وتستعمل لتجفيف الحمأة المهضومة والمرسبة من الحمأة المنشطة بدون تكثيف والطريقة اقتصادية ونحصل فيها على حمأة عالية المواد الصلبة ولا تحتاج لتكنولوجيا متقدمة, ومن مساوئها احتمال وجود الروائح (ويجب أن تكون أقرب فعالية على بعد 100م, [2]) ومساحات أحواض التجفيف الكبيرة واليد العاملة اللازمة لجمع الحمأة الجافة وكذلك احتمال تواجد الحشرات.

2-2-6-2-1. مفترشات التجفيف الرملية التقليدية (أحواض التجفيف الرملية) Conventional drying bed

تستعمل أحواض التجفيف الرملية عندما يكون عدد السكان أقل من { 20000 شخص [1]} وتتألف من طبقتين علوية من الرمل وسفلية من الحصى, بحيث سماكة الرمل (23-30) سم (وقطر الحبيبات من 0.3-1) ملم ومعامل الانتظام ليس أكثر من (4) والقطر الفعال (0.3-0.75) ملم. ومن حصى أو حجر مكسر سماكة (20-50) سم وأبعاد الحصى من (0.3-2.5)سم، عرض الأحواض 6م والطول لا يتجاوز 30م وارتفاع جدار الحوض(0.3-1)م. سماكة طبقة الحمأة من (30-45) سم وميول الأرضيات لا يقل عن 1%.

الشكل (2-2-6-2-1-1) يوضح مقطع ومسقط لحوض تجفيف حمأة رملية نموذجي.

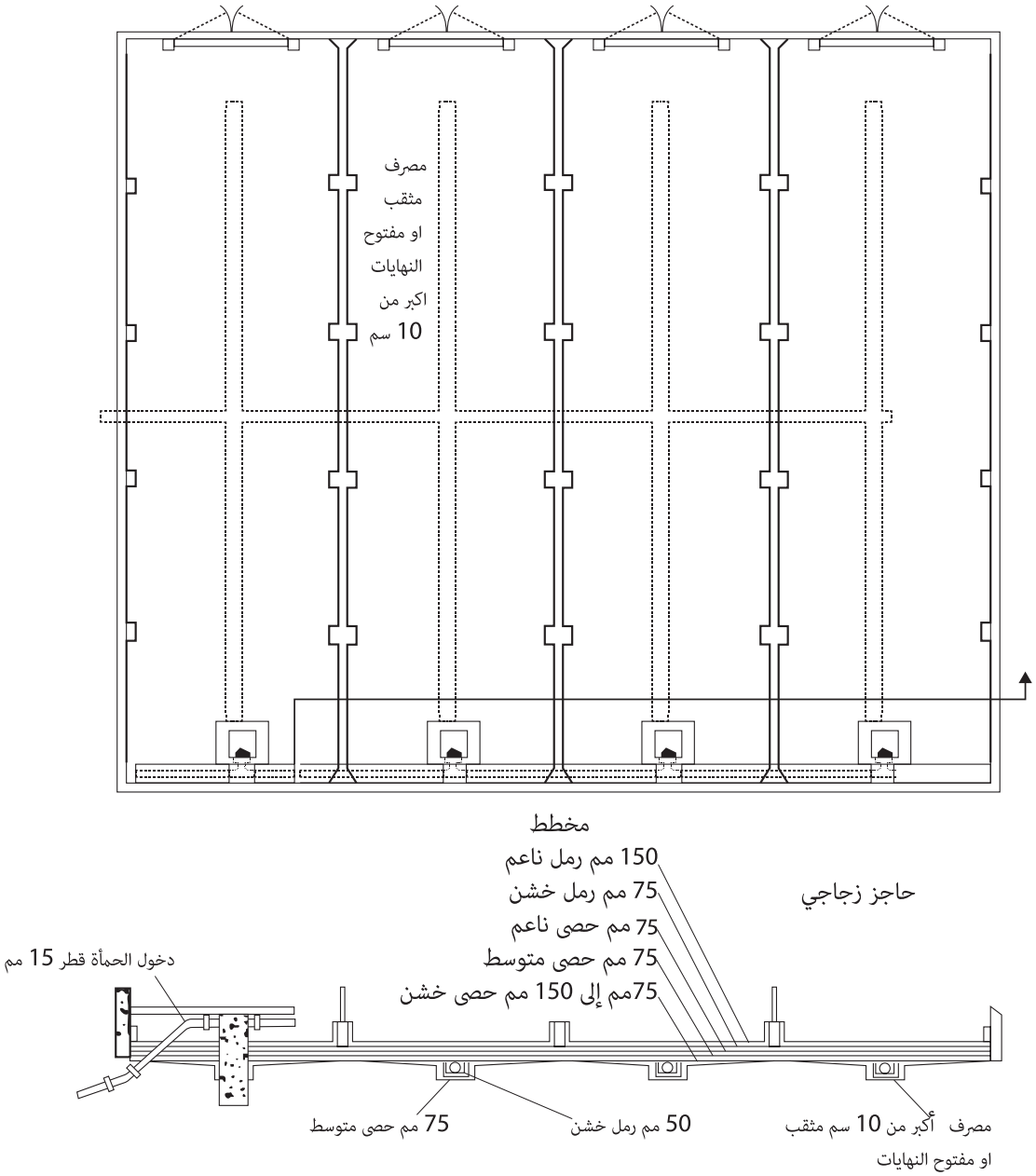
الشكل (2-2-6-2-1-2) صورة للحمأة في أحواض التجفيف الرملية.

وتزود الأحواض بأنابيب خاصة لسحب المياه، أقطار الانابيب لا تقل عن 10سم وهي مثقبة أو مفتوحة الوصلات، والبعد بين الانابيب (2.5-6)م ويتم إعادة المياه الراشحة من الأنابيب إلى المعالجة .

وتصميم حوض التجفيف يتأثر بنوع الحمأة (مكيفة) وكذلك بنسبة التحميل وسماكة الحمأة والظروف الجوية. ومساحة الحوض اللازمة تعتمد على نسبة تحميل الحمأة والتي تحسب للشخص أو تحميل المواد الصلبة كغ على المتر المربع /عام بعد التجفيف. نسبة المواد الصلبة تصل 20% ويمكن أن تصل إلى 60% بزمن تجفيف كاف من 10-15 يوما وتحت ظروف جيدة،[1].

- المساحة اللازمة للشخص (0.09-0.3) م^2 وحسب نوع الحمأة.
- تحميل الحمأة السنوي ,المواد الصلبة { (58-161)كغ/م^2.عام }.

الشكل(2-2-6-2-1-1) يوضح مسقط و مقطع حوض تجفيف حمأة رملي نموذجي*



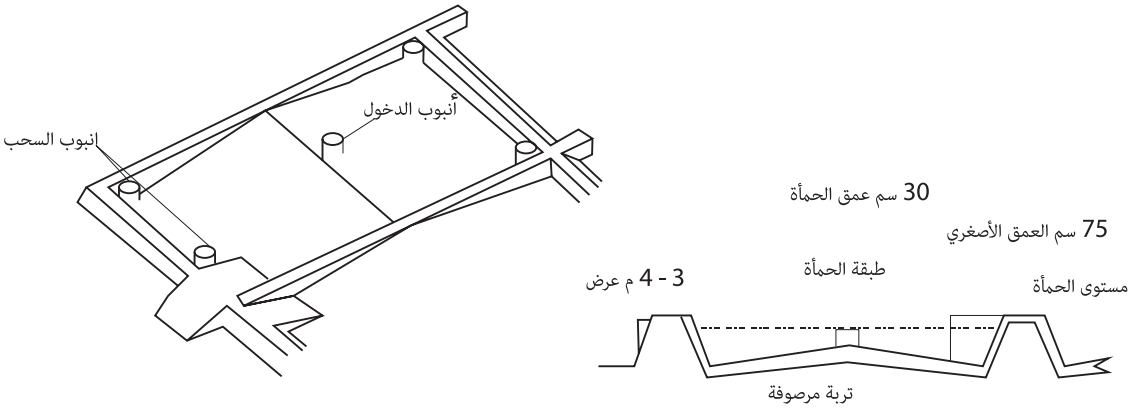
*من[1] و [6]

الشكل (2-2-6-2-1-2) صورة للحمأة في أحواض التجفيف الرملية

2-2-6-2-2. أحواض التجفيف المرصوفة:

تتألف من خلايا مرصوفة بالخرسانة المسلحة أو من الإسفلت، وتتجمع مياه الحمأة في القسم السفلي وتخرج من فوهة الخروج, الشكل (2-2-6-2-2-1) مقطع ومسقط للخلية، الميول 2-3%، العرض من 6-15م والطول من 21-46م ، وارتفاع الجدران كارتفاع جدران حوض التجفيف بالرمال, وعمقه الأدنى 75 سم, ونسبة المادة الجافة تصل 50 % خلال 30-40 يوما، وسماكة الحمأة 30 سم في الطقس الجاف.

الشكل (2-2-6-2-2-1) مقطع ومسقط لأحواض التجفيف المرصوفة



kg/m3/yr-
[3

2-2-6-2-3. برك تجفيف الحمأة:

برك توضع فيها الحمأة المهضومة ليتم تجفيفها بحرارة الشمس ونزع الماء المتشكل على سطح الحمأة عمق البركة 0.75-1.25م وتصميمها يشبه تصميم أحواض الرمال ومدة التبخر من 2-5 شهر وتركيز المواد الصلبة 20-30%،وتحتاج الحمأة إلى تخزين من اجل معالجة لاحقة، وينصح بتحميل المواد الصلبة (36-39 kg/m3/yr)[1] وعادة يكون هناك حوض آخر للعمل بالتوازي اثناء التجفيف.

2-2-6-2-4. أسرة التجفيف بمساعدة الانفراغ Vacuum-Assisted Drying Beds:

وهي طريقة تستخدم لتسريع نزع المياه وتجفيفها من الحمأة بمساعدة الانفراغ. ويتم ذلك بتطبيق فراغ على الجانب السفلي من صفائح فيها ثقوب مسامية. الشكل (2-2-6-2-4-1,a,b). ومراحل العمل كالتالي:

(1) الحمأة مكيفة جاهزة وممزوجة مسبقا مع البوليمر preconditioning,

(2) ملء السرير بالحمأة,

(3) إزالة الماء من الحمأة مبدئيًا بواسطة الثقالة متبوعًا بتطبيق انفراغ,

(4) تعريض الحمأة للهواء الجاف لما يقرب من 24 إلى 48 ساعة,

(5) إزالة الحمأة منزوعة الماء,

(6) غسل سطح الصفائح المسامية بمياه ذات ضغط عال حتى إزالة بقايا الحمأة.

وتكمن محاسن هذه الطريقة في تقليل وقت الدورة اللازمة لنزع الماء وبالتالي تخفيف تأثير الطقس على التجفيف، والمساحة الأصغر المطلوبة بالمقارنة مع الأنواع الأخرى من أسرة التجفيف.

الجدول (2-2-6-2-4-1) يبين أداء حوض تجفيف الحمأة بالانفراغ، والعيب الرئيسي هو أن الحمأة يجب ان تكون مكيفة وممزوجة مسبقا مع البوليمر, وأيضا قد تكون هناك حاجة إلى مزيد من المعالجة لتقليل الرطوبة في الحمأة (EPA 1987a).

الشكل (2-2-6-2-4-1a,b) نموذج حوض تجفيف حمأة بالانفراغ

a b

الجدول (2-2-6-2-4-1) أداء حوض تجفيف الحمأة بالانفراغ

نوع الحمأة	المادة الجافة الداخلة%	البوليمر اللازم غ/كغ	نسبة المواد الصلبة في كعكة الحمأة %	التحميل كغ/م²
مع هضم لا هوائي :				
أولية	7-1	*was	4-1	4-1
أولية +trickling filter	10-3	أولية + was	6-3	6-3
أولية +WAS	6-3	أولية + WAS 50 : 50	6-3	6-3
مهضومة هوائياً:				
حمأة مصرفة تقليدية	4-1	17-1	23-10	15-5
قنوات الاكسدة	2-1	20-10	20-10	10-5

2-2-6-2-5. أسرة تجفيف الحمأة بالطاقة الشمسية (البيوت الزجاجية) Solar Drying Beds:

تعمل أسرة تجفيف الحمأة بالطاقة الشمسية على تجفيف الحمأة السائلة او المكثفة او المنزوعة الماء بواسطة أشعة الشمس حيث يتم فرش الحمأة في بيت زجاجي (دفيئة)، وهذا متطور عن البيت الزجاجي العادي، ويكون مستطيل الشكل ويحوي اجهزة قياس ظروف العمل ويحوي فتحات تهوية، ومراوح تهوية، وجهاز متنقل يدعى mole (الخلد) يعمل على تحريك وتجفيف الحمأة، أو جهاز آلي يمتد على عرض البيت الزجاجي متنقل يقوم بتقليب الحمأة. الشكل (2-2-6-2-5-1a,b). كما يحوي البيت الزجاجي على كومبيوتر خاص يتحكم في بيئة التجفيف.

الشكل (2-2-6-2-5-1a,b) أسرة تجفيف الحمأة بالطاقة الشمسية من dyer, suez

a b

2-2-6-2-6. أكياس Geotube:

في هذه الطريقة يتم تكييف الحمأة وتشكيل الندف ومن ثم يتم ضخ الحمأة في اكياس geotube الشكل(2-2-6-2-1). وتبقى الحمأة في geotube لمدة تصل إلى عدة أشهر تبعاً لنوع الحمأة (تعتمد على المواد الصلبة العالقة وترابط الماء مع المادة الصلبة). والرشاحة من geotube تحتجز في منطقة محصورة ومن ثم يتم معالجتها أو يتم تصريفها. وعند نزع كامل المياه يتم قص geotube ويتم إزالة الحمأة منه. إن أداء geotube في نزع المياه من الحمأة هو مماثل لطرق نزع مياه الحمأة الأخرى. وجودة الترشيح هي مماثلة للمكبس المرشح. ويمكن تصنيع geotube حسب الطلب. [14]

الشكل (2-2-6-2-1). نزع مياه الحمأة بالجيوتيوب geotube (من TenCateTM)

a b

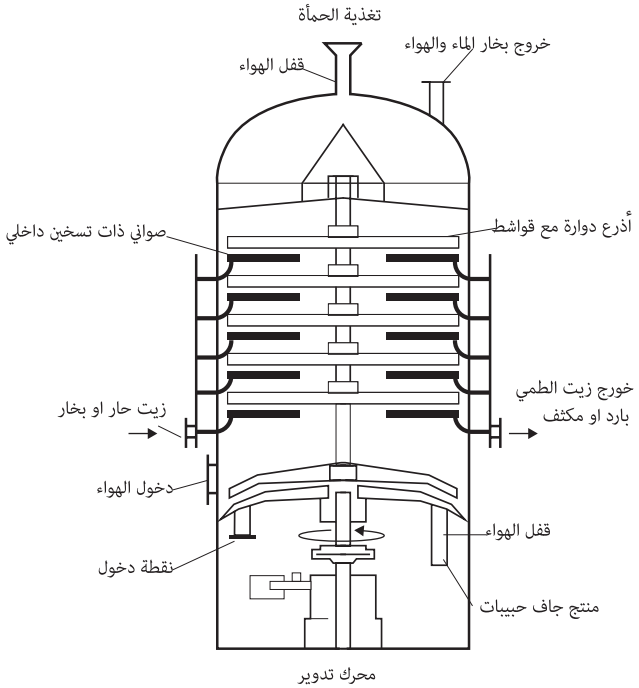
- هنالك طرق أخرى لتجفيف الحمأة مثل أحواض القصب reed beds، البرك lagoons ... (المراجع) .

2-3. التجفيف والترميد باستعمال الحرارة Heat drying and incineration:

2-3-1. التجفيف غير المباشر للحمأة Indirect Dryers:

هو مجفف متعدد الطبقات يتم فيه تجفيف الحمأة بطريقة التسخين غير المباشر فبدل استعمال الحراقات يتم ضخ هواء ساخن أو زيت ساخن ضمن دائرة مغلقة على تماس مع الحمأة فنحصل على حمأة بنسبة رطوبة 5-8% تقريباً وتكون الحماة بعد التجفيف بشكل حبيبات 2-4 ملم [1]. الشكل (2-3-1-1) نموذج تجفيف شاقولي.

الشكل (2-3-1-1). تجفيف الحمأة بطريقة غير مباشرة



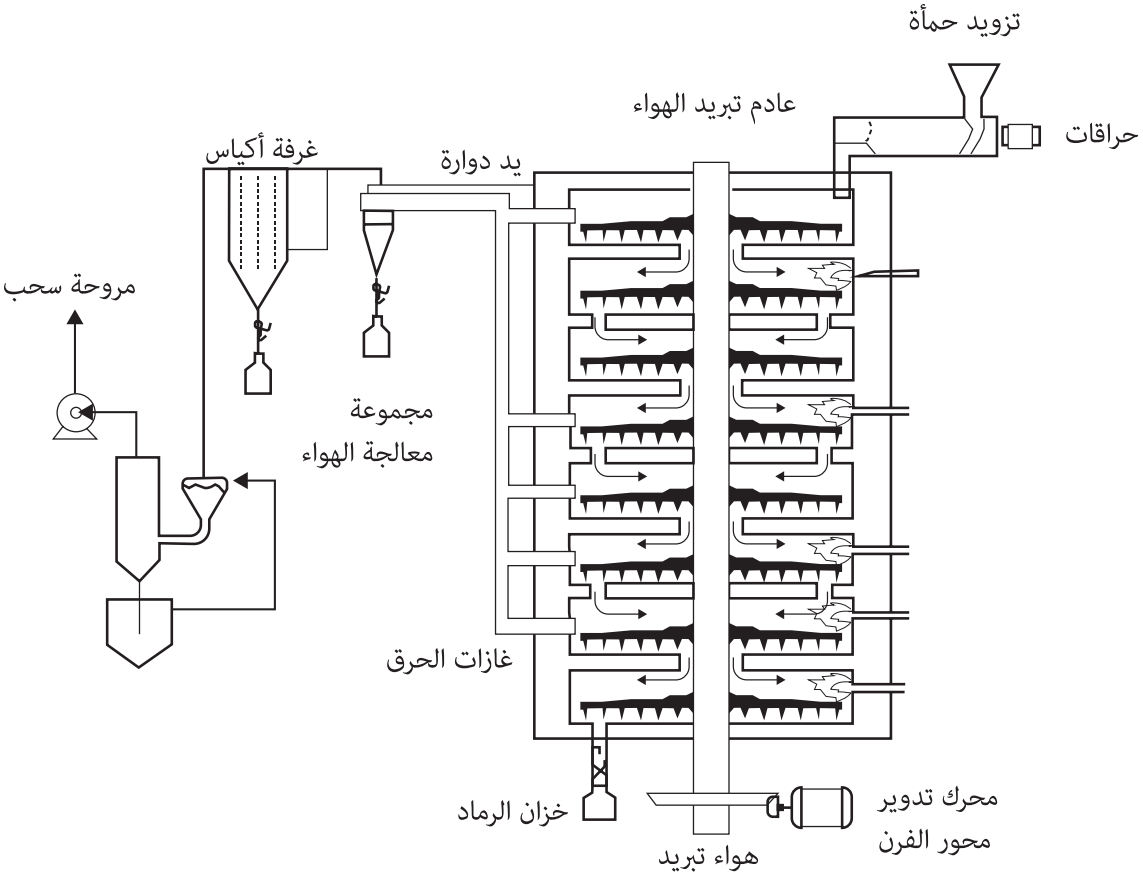
2-3-2. ترميد الحمأة Sludge incineration:

يعتبر حرق الحماة (أو الترميد) إحدى الطرق المتبعة في معالجة الحماة وتهدف إلى القضاء كلياً على الجراثيم الممرضة والإقلال من حجم الحمأة بتحويلها إلى رماد في المرمدات. ومن أكثر الأفران شيوعاً مايلي»:

2-3-2-1. الفرن متعدد الطبقات (multiple hearth incineration):

الفرن متعدد الطبقات هو من أشهر أفران حرق الحمأة. الشكل(2-3-2-1-1) فرن حرق متعدد الطبقات. حيث تنتقل كعكة الحمأة في الفرن من طبقة إلى طبقة بواسطة قواشط لتخرج الحمأة من الأسفل بشكل رماد. ويتم عادة معالجة الغازات والأبخرة والغبار الناتجة من عملية الحرق.

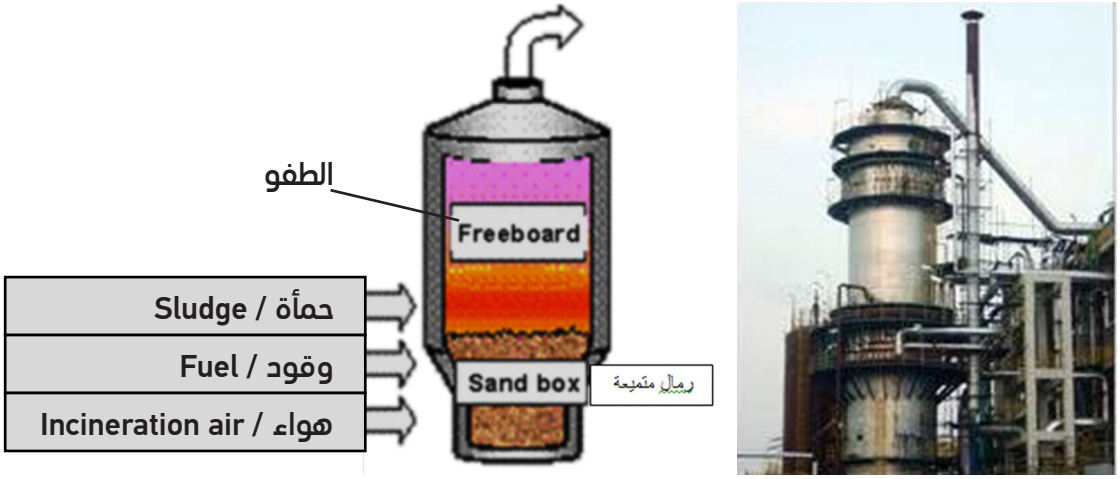
الشكل (2-3-2-1-1) حرق الحمأة في الفرن متعدد الطبقات



2-3-2-2. ترميد الحمأة في الفرن ذي السرير المتميع Fluidized Bed incineration:

حيث يتم حرق الحمأة المجففة ميكانيكياً بضخ الحمأة قرب القاع الحاوي على رمل (سيليكات).
الشكل (2-3-2-2-1) يبين حرق الحمأة في الفرن ذي السرير المتميع. وعند ضخ الهواء يتم تحريك الرمال فتبدو بحالة غليان ويضخ معها الوقود المساعد عندما تكون المواد العضوية الطيارة قليلة. تحميل المواد الصلبة في الفرن (60-20 kg/m2/h) من اجل حمأة مجففة وتركيز المواد الصلبة الكلية (25-20)%.

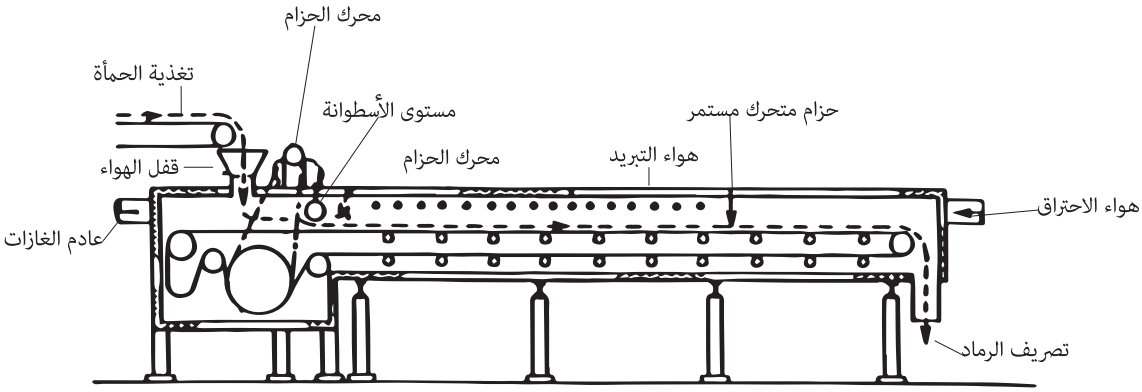
الشكل (2-3-2-1) نزع مياه الحمأة بالجيوتيوب geotube (من Ten CateTM)



2-3-2-3. الترميد بالأشعة تحت الحمراء Electric Infrared Incinerators

وهو فرن افقي الشكل تنتقل الحمأة بداخلة بواسطة سير ناقل ويتم تسخين الحمأة وتجفيفها بواسطة الهواء الساخن ومن ثم تمرر على وحدات الاشعة تحت الحمراء لتحترق وتخرج نهاية السير الناقل بشكل رماد الشكل (2-3-2-3-1).

الشكل (2-3-2-3-1) حرق الحمأة بالأشعة تحت الحمراء



2-3-2-4. الانبعاثات الصادرة عن حرق الحمأة.

إن حرق الحمأة يمكن أن يكون أكثر كلفة من الدفن أو التطبيق على الأراضي لارتفاع التكاليف والتقنيات العالية والمتابعة المستمرة المسؤولة. وخيار الحرق يكون خيارا مطلوبا للتخلص من الحمأة ذات المحتوى المعدني المنخفض، اما حرق الحمأة ذات المحتوى المعدني العالي فربما ينتج رماد يوصف بأنه من النفايات الخطرة وترتفع معه تكاليف التخلص من الرماد والغازات [20].

2-3-2-5. المواصفات القياسية لنوعية الانبعاثات المنطلقة من حرق الحمأة.

عملية ترميد الحمأة تصدر غازات وأبخرة وغبار مختلفة, حيث تؤخذ الى وحدات معالجة للغازات «scrubbed» ومكثفات أو أكياس أو غيرها من الطرق. وهذا يدخل في حساب تكاليف اختيار طريقة معالجة الحمأة، مع الأخذ بالاعتبار إن كانت الحمأة تحوي مواد طيارة خطرة او بعض المعادن الثقيلة. ولزيادة المعلومات المراجع [1] [14].

وأصدرت الهيئة العامة للبيئة مواصفة تبين الحدود القصوى المقبولة للانبعاثات المطروحة من حرق النفايات الخطرة وفق الجدول (2-3-2-5-1). وهذه الحدود المطلوبة تحتاج عادة الى وحدة معالجة لتحقيق الحدود المطلوبة.

الجدول (2-3-2-5-1) الحدود المسموح بها لمعدلات الانبعاثات من حرق النفايات الخطرة [13].

ملوثات	الحدود القصوى	ملوثات	الحدود القصوى
مجموعة الجسيمات الكلية	34 mg/dscm	زئبق	0.05 mg/m3
أول أكسيد الكربون	40 ppmv	زرنيخ	4 ug/m3
دايوكسين/فوران	0.1 ng/Nm3	كروم	0.5 mg/Nm3
كلوريد الهيدروجين	70 mg/m3	شاليوم	0.05 mg/m3
ثاني أكسيد الكربون	50 mg/Nm3	انتيمون	0.5 mg/m3
أكاسيد النيتروجين	250 ppmv	نحاس	0.5 mg/m3
هيدروجين الفلوريد	1 mg/m3	كوبالت	0.5 mg/m3
مجموعة الأبخرة الهيدروكربونية	40 mg/m3	منجنيز	0.5 mg/m3
أمونيا	10 mg/m3	نيكل	0.5 mg/m3
المواد العضوية المتطايرة	10 mg/m3	فانديوم	0.5 mg/m3
رصاص	0.5 mg/Nm3	قصدير	0.5 mg/m3
كادميوم	0.05 mg/dscm	العتامة	Or less than %5

الفصل الثاني

الاستخدام الزراعي لحمأة مياه الصرف البلدية

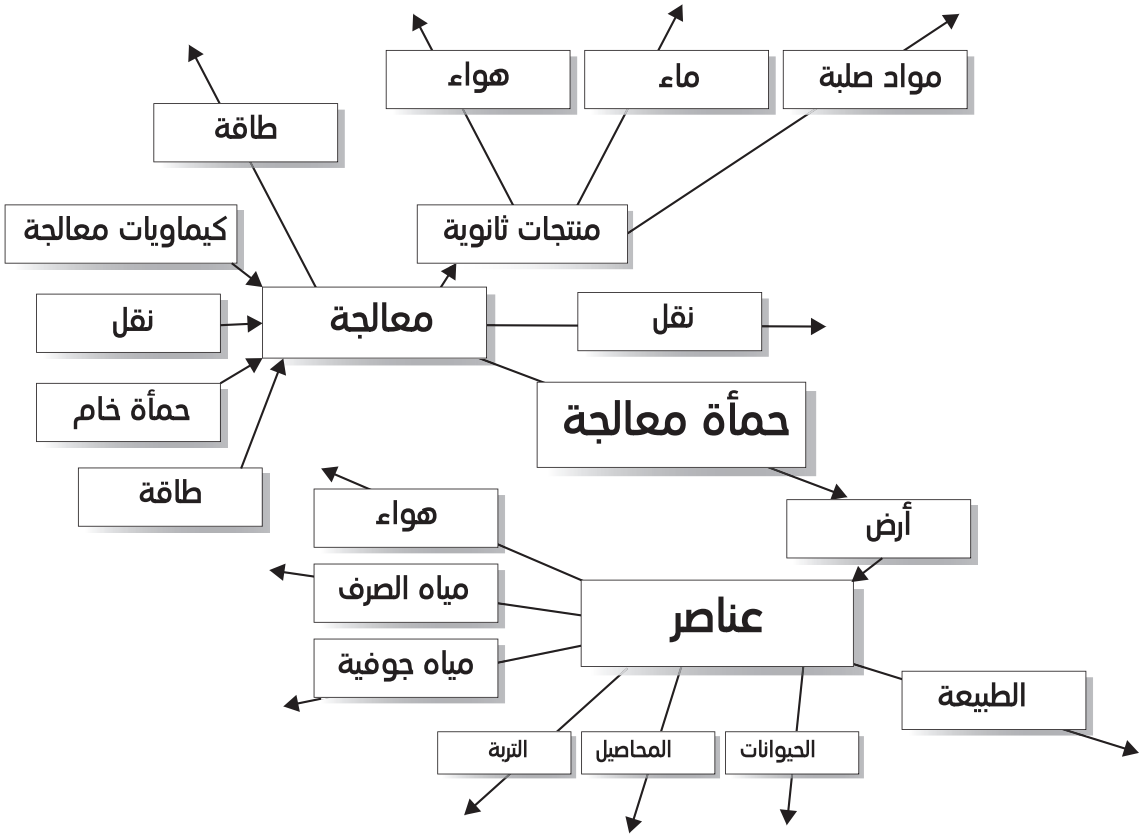
مقدمة

غالبًا ما يتم خلط الحمأة الأولية مع حمأة المعالجة الثانية ومع حمأة المعالجة الثالثية من أجل تسهيل التعامل معها. ويمكن أن يؤدي استخدام الحمأة في التطبيق على الأراضي إلى تقليل تكلفة التخلص من الحمأة بشكل كبير بالإضافة إلى توفير جزء كبير من متطلبات النيتروجين والفوسفور في العديد من المحاصيل استعمالها على الأراضي.

3. تطبيق الحماة على الأراضي

لكي ندرس الاستخدام الأمن لتطبيق الحمأة على الأراضي، وخصوصا على الأراضي الزراعية، يجب أن نقوم بإعداد دراسات شاملة لنوعية الحمأة والتربة ونوعية المحاصيل والنقل وطريقة التطبيق على الأراضي والتلوث الناتج عن هذه العمليات. ودراسة الجدوى الاقتصادية. الشكل(3-1) يبين مدخلات ومخرجات معالجة الحمأة وتطبيقها على الاراضي.

الشكل(3-1) يبين مدخلات ومخرجات معالجة الحمأة وتطبيقها على الأراضي



وقد حددت بعض الجهات الطرق الواجب معالجة الحمأة بها وذلك حسب طرق استخدامها لإنتاج المحاصيل الزراعية، وفق الجدول (3-1) الذي يبين أنواع المعالجة المطلوبة حسب الاستخدام [1],[14]. والجدول (3-2) يبين حساب عام للحماة المطبقة (وزن جاف) لأنواع مختلفة من الاراضي (الأراضي الزراعية والغابات واستصلاح الأراضي). [10] .

الجدول (3-1) أنواع المعالجة المطلوبة حسب الاستخدام*

استخدام الحمأة	نوع المعاجلة المطلوبة
للزراعات المأكولة	معالجة بالحرارة - إسماد
للزراعات غير مأكولة	هضم وتجفيف - وتثبيت بالكلس
استصلاح أراضي	هضم وتجفيف
للردم في المطامر	هضم وتجفيف

*[14],[1]

الجدول (3-2) حساب عام للحماة المطبقة (وزن جاف) لأنواع مختلفة من الأراضي [10]

نوع الأراضي	الفترة الزمنية للتطبيق	نطاق معدلات التطبيق المبلغ عنها		المعدل النموذجي	
الأراضي الزراعية	مرة أو مرتان سنويا	2 - 70	1 – 30	10	5
أراضي الغابات	مرة واحدة أو بفاصل 3-5 سنوات	10 – 220	4 – 100	18	8
الأراضي المستصلحة	مرة واحدة	7 - 450	3 - 200	112	50

3-1. محتويات حمأة مياه الصرف البلدية

- تحتوي حمأة مياه الصرف على البكتيريا المسببة للأمراض والفيروسات والبروتوزوا والديدان الطفيلية التي يمكن أن تؤدي إلى مخاطر محتملة على صحة البشر والحيوانات والنباتات. وحددت كثير من الدراسات [من FAO 1992] مخاطر عالية من السالمونيلا salmonellae والتانيا.

- كما يعتمد توافر النيتروجين بشكل كبير على اختيار طريقة معالجة الحمأة، فالحمأة السائلة غير المعالجة والحمأة المنزوعة الماء **تطلق النيتروجين ببطء** يؤدي لإفادة المحاصيل على فترة طويلة نسبيًا. وكذلك فان الحمأة السائلة المهضومة لاهوائيا تحتوي على نسبة عالية من ammonia-nitrogen الأمونيا - نيتروجين ويمكن أن تكون ذات فائدة خاصة للأراضي العشبية.

- وكذلك تبلغ نسبة توفر الفسفور phosphorus في عام تطبيق الحمأة حوالي 50% وهي مستقلة عن أي معالجة مسبقة للحمأة. **والفوسفور لا يشكل عادة مصدر قلق لتلوث المياه الجوفية، ولكن بعض الدول تشدد على ذلك لحماية جودة المياه السطحية.**

ولكن يمكن للنيتروجين N والفوسفور P الموجودة في الحمأة (كما هو الحال في أي مصدر للأسمدة) أن يصل إلى المياه الجوفية والمياه السطحية إذا تم تطبيق الحمأة بشكل مفرط أو بشكل غير صحيح، ولذلك عند استعمال التسميد بالحمأة كان من الضروري فرض قيود على عملية الزراعة والري والحصاد، ومن هنا نجد أهمية اختيار المعالجة المطلوبة للحمأة ونوعية التربة المطبق عليها عموما.

- HP. أدى الاتجاه نحو زيادة نمو محاصيل الحبوب (الذرة والحبوب الصغيرة) إلى زيادة استخدام الأسمدة التجارية، مما يولد حموضة إلى حموضة التربة. وفي حين أن الحفاظ على درجة الحموضة في التربة بين 6.5 و 7.0 غالبًا ما يكون أمرًا مرغوبًا فيه لتحقيق التوافر الأمثل للمغذيات الأساسية للنبات. علما ان درجة الحموضة في **التربة تؤثر على امتصاص المعادن [10].**

3-2. تقييم المخاطر Risk assessment

1. نظرًا لامتصاص المعادن الثقيلة المحدود في الطبيعة والامتصاص المحدود للنباتات، تميل المعادن الثقيلة إلى التراكم في/على سطح التربة وتميل لتصبح جزءً من مصفوفة التربة، ومع التطبيقات المتكررة للحمأة يمكن أن تتراكم المعادن الثقيلة إلى مستويات ضارة محتملة للبشر (وخصوصا الاطفال) والحيوانات البرية التي تستهلك المحاصيل.

ولذلك يجب وضع قيم حدّية إلزامية لهذه العناصر في التربة وحظر استخدامها عندما يتجاوز تركيز هذه المعادن في التربة هذه القيم الحدية ويتم ذلك:

- إما عن طريق تحديد الكميات القصوى لكميات الحمأة المستخدمة سنويًا.
- والتأكد من أن لا يتم تجاوز القيم الحدية لتركيز المعادن الثقيلة في الحمأة المستخدمة [14]
- أو بالسعي لضمان عدم تجاوز القيم المحددة لكميات المعادن الثقيلة التي يمكن إضافتها إلى التربة على أساس متوسط 10 سنوات [22].

2. الحيوانات التي ترعى في الحقول وتأكل المركبات العضوية مباشرة من الحمأة المطبقة أو الملتصقة بالحشائش (منها الخطير كالهيدروكربونات المهلجنة محبة الدهون) حيث أنها تتراكم في الحيوان لتنتقل للإنسان، ويتركز وجودها في الحليب والانسجة الدهنية.

3. ثبت أن مستوى المخاطر الصحية على الأرجح منخفض ولا يظهر العاملون في محطات معالجة مياه الصرف أو وحدات التسميد بالحمأة مرضًا أكثر تحديدًا من غيرهم (LEGAS 2000). وقد يتعرض العمال والمزارعون أيضًا أثناء معالجة الحمأة أو المناولة أو تطبيق الحمأة على الأرض إلى مخاطر صحية، ولكن تبين عموما أن هذا التعرض صغيرًا.[24]

3-3. العوامل الممرضة في حمأة مياه الصرف البلدية. Pathogens

يتم معالجة مياه الصرف في محطات المعالجة وينتج عنها حمأة غير مستقرة تحوي عديدا من العوامل الممرضة، وبعد أن يتم تثبيت الحماة نجد ان نسبة عالية من بعض العوامل الممرضة تبقى في الحمأة. الجدول (3-3-1) يعطي مستوى العوامل الممرضة النموذجية في الحمأة بعد التكثيف وبعد التثبيت اللاهوائي [EPA1993].

الجدول (3-3-1) مستوى العوامل الممرضة النموذجية في الحمأة بعد التكثيف وبعد التثبيت اللاهوائي

مستوى العوامل الممرضة النموذجية في الحمأة غير المستقرة والحمأة المثبتة بالمعالجة اللاهوائية		
العامل الممرض pathogen	التركيز في الحمأة الغير مستقرة No./100 milliliters	التركيز في حمأة مهضومة لاهوائيا No./100 milliliters
فيروس virus	70,000 – 2,500	1000-100
بكتيريا الكوليفورم البرازية،fecal coliform FC.	1,000,000,000	6,000,000-30,000
السالمونيلا Salmonella sp	8,000	62-3
Ascaris lumbricoides	1,000-200	1,000-0

[EPA1993]

3-3-1. ماهي العوامل الممرضة

قبل التطبيق على الأراضي يجب دراسة العوامل الممرضة التالية:

- بكتيريا الكوليفورم البرازية fecal coliform, FC والسالمونيلا Salmonella sp. والبكتيريا والفيروسات المعوية والديدان الطفيلية وبيوضها eggs of parasitic worms,...

يجب أن تكون كثافة FC في الحمأة أقل من 1000، وهو العدد الأكثر احتمالًا (MPN) لكل غرام من المواد الصلبة الكلية الجافة [3],[10][13].

أو كثافة السالمونيلا SP. في الحمأة يجب أن يكون أقل من MPN3 لكل 4 غرامات من المواد الصلبة الكلية الجافة [3] [13][EPA 503.33].

ومن العيوب الرئيسية لتحديد وتطبيق فترات التقيد لعدم التعرض (أي حماية الانسان والحيوان من التعرض) أن معظم العوامل المسببة لموت العوامل الممرضة لا يمكن السيطرة عليها أو التنبؤ بها على وجه التأكيد، فعلى سبيل المثال درجة الحرارة، ومدة وشدة ضوء الشمس...الخ.
الجدول (3-3-1-1) يعطي الحدود القصوى للعوامل الممرضة في الحمأة المعدة للزراعة[13]

الجدول (3-3-1-1) الحدود القصوى للعوامل الممرضة في الحمأة المعدة للزراعة من [13]

العامل الممرض pathogen		الوحدة	الحد الاقصى المسموح
بكتيريا القولون البرازية	Fecal coliform	CFU*/gm	1000
بكتيريا الايكولاي	Escherichia coli	CFU/gm	1000
السالمونيلا	salmonella	CFU/4gm	3
البيوض الحية للديدان	Viable helminth Eggs	CFU/4gm	< 1
الفيروسات المعوية	Enteric viruses	CFU/4gm	< 1

*Colony Forming Unit :CFU

3-3-2. المعالجات المقترحة لتقليل مسببات الأمراض في الحمأة. Pathogen reduction

يمكن يتم استعمال أحد الطرق التالية لتقليل مسببات الأمراض في الحمأة قبل التطبيق على الأراضي:

1. **التسميد. windrow**، الكوم الهوائية. ويجب الحفاظ على السماد عند 40°C لمدة 5 أيام، وأيضا وعلى الأقل ولمدة 4 ساعات خلال هذه الفترة تكون درجة الحرارة 55°C او أعلى داخل جسم الكومة، وتليها فترة نضج كافية لضمان اكتمال تفاعل التسميد. [22]

2. **التجفيف الحراري**. يتم تجفيف الحمأة عن طريق التلامس المباشر أو غير المباشر مع الغازات الساخنة لتقليل محتوى الرطوبة في الحمأة إلى 10% أو أقل, بحيث تتجاوز درجة حرارة جزيئات الحمأة. 80°C [[EPA503

3. **المعالجة الحرارية**. يتم تسخين حمأة المجاري السائلة إلى درجة حرارة 180 درجة مئوية أو أعلى لمدة 30 دقيقة. [EPA503]

4. **الهضم الهوائي بالحرارة**. **Thermophilic aerobic digestion** يتم تهيج حمأة المجاري السائلة بالهواء أو الأكسجين للحفاظ على الظروف الهوائية. ويكون زمن المكوث 10 أيام أو أكثر عند 55 إلى 60 درجة مئوية. [EPA503]

5. **أشعة بيتا**. **Beta ray irradiation** يتم تعريض الحمأة لأشعة بيتا بجرعات لا تقل عن 1.0 megarad في درجة حرارة حوالي 20 درجة مئوية. [EPA503]

6. **أشعة كاما**. **Gamma ray irradiation** يتم تعريض الحمأة لأشعة جاما من بعض النظائر مثل Cobalt, 137 Cesium 60 بجرعات لا تقل عن 1.0 megarad في درجة حوالي 20 درجة مئوية. [EPA503]

7. **البسترة**. **Pasteurization** يتم الحفاظ على درجة حرارة الحمأة عند 70 درجة مئوية أو أعلى لمدة 30 دقيقة أو أكثر. [EPA503]

8. **استعمال الجير**. Lime يضاف الجير إلى الحمأة بكمية كافية لرفع الرقم الهيدروجيني PH إلى 12 أو أعلى لمدة لا تقل عن 2 ساعة. حيث أن البيئة القلوية المرتفعة تعطل النمو الحيوي وتدمير مسببات الأمراض (pathogens.3). أو مراجعة الفقرة (2-2-3).

3-4. الحقن والحراثة العميقة. [Deep injection and plough down 31]

ان استخدام الحقن العميق للحمأة يقلل من آثار العوامل البيئية المساعدة على بقاء مسببات الأمراض.

ويكون تأثير الطقس الضار ضئيلا للغاية. كما يكون خطر التلامس من قِبل مستخدمي الحياة البرية ومستخدمي الأرض عند تطبيق الحمأة ضئيلا للغاية، وبالإضافة إلى ذلك فإن الحقن العميق يتمتع بميزة جمالية ويسبب القليل من الإزعاج، كما يقلل من فقدان الأمونيا، ويضع تأثير السماد على الفور في اتصال مباشر مع التربة. كما أنه يقلل من الجريان السطحي المحتمل للمخلفات إلى المياه السطحية.

وينصح بأن يكون البديل للرصد الروتيني لمسببات الأمراض هو تحديد ظروف معالجة الحمأة ومراقبة العملية بشكل منتظم ومستمر.

3-5. التحاليل المخبرية المطلوب إجراؤها على حمأة مياه الصرف البلدية

يطلب إجراء التحاليل المخبرية التالية على الحمأة المستعملة للزراعة [13], [22]

- المادة جافة DS%
- الرقم الهيدروجيني PH
- المواد العضوية (المواد الصلبة الجافة%)
- النيتروجين الكلي والأمونيا (المواد الصلبة الجافة%)

- النحاس (مغ/كغ المواد الصلبة الجافة)
- نيكل (ملغ/كغ من المواد الصلبة الجافة)
- الفوسفور الكلي (المواد الصلبة الجافة%)
- الزنك (مغ / كغ المواد الصلبة الجافة)
- الكادميوم (ملغ / كغ من المواد الصلبة الجافة)
- الرصاص (مغ / كغ المواد الصلبة الجافة)
- الزئبق (مغ / كغ المواد الصلبة الجافة)
- الكروم (مغ / كغ المواد الصلبة الجافة)
- الموليبديوم (مغ / كغ المواد الصلبة الجافة)
- السيلينيوم (مغ / كغ المواد الصلبة الجافة)
- الزرنيخ (مغ / كغ المواد الصلبة الجافة)
- الفلورايد (مغ / كغ المواد الصلبة الجافة)
- بكتيريا القولون البرازية coliform bacteria
- بكتيريا الايكولاي E.coli
- السالمونيلا
- والطفيليات وبيوضها
- الفيروسات المعوية
- المركبات العضوة السامة

في حال كانت جودة الحماة ونتائج التحاليل مطابقة للمعايير التي في الجدولين (3-18-1-1) و(3-18-2-1) فيعتبر كأنه سماد طبيعي. [10]

3-6. موقع أخذ العينات.

يجب أخذ عينات مركبة للحمأة المعدة للاستعمال على الأراضي وذلك لعمل دراسة شاملة عن الحمأة المنتجة من محطة المعالجة إلى أن يتم تحميلها على العربات لتنقل إلى موقع التطبيق.
وعادة ما يكون موقع أخذ العينات من المواقع التالية:

- مخرج المرسب الأولي.
- ما قبل عمليات هضم الحمأة أي من حوض التكثيف بالثقالة، السير المكثف Gravity belt thicken-ing، مطوف الحمأة (DAF) أو أي وحدة معالجة تكثيف أخرى.

وأن الحصول على عينة من الحمأة المنشطة المصرفة قبل عملية التكثيف سيكون أكثر تمثيلا لها وسيبين كمية خفض المواد الطيارة الحقيقي في الهواضم لاحقا.

- بعد عملية التثبيت.

- العينة تؤخذ في موقع معالجة الحمأة وليس في موقع التطبيق.

- يجب عدم أخذ عينات من هاضم فاشل وخلطها من العينات الاخرى [23].

وينصح بالحذر عند تفسير التحليل لأي عينة مضاف إليها مادة البوليمر وتكون مأخوذة من بعد عملية التكثيف.

3-7. تكرار مراقبة التلوث والعناصر الممرضة في الحمأة المطبقة
Frequency of Monitoring for Pollutants, Pathogen

يتم اخذ عينات الحمأة المراد استعمالها في التطبيق على الأراضي والتربة وفق ما يلي:

3-7-1. عينات الحمأة وتكرار اخذ العينات.

يجب اجراء التحاليل على الحمأة المطبقة على الأراضي كل 6 شهور FAO [22] أو الالتزام بإجراء هذه التحاليل وفق الجدول (3-7-1-1) من EPA[10] معتمدين في تكرار التجارب على كمية الحمأة المستعملة أيهما اكبر.

الجدول (3-7-1-1) تكرار اجراء التجارب المخبرية لمراقبة التلوث والعوامل الممرضة[10]

*كمية الحماة المطبقة على الاراضي في العام طن متري	تكرار التجارب
من 0-290	مرة واحدة في العام
من 290-1500	أربع مرات في العام تتكرر كل 120 يوماً
من 1500-15000	6 مرات في العام تتكرر كل 60 يوماً
اكثر من 15000	12 مرة في العام تتكرر شهرياً

*إما إن تكون كمية الحمأة (سائبة) تنقل من اجل التطبيق على الأرض بواسطة شاحنات، صهاريج... أو أن تكون كمية الحمأة التي تتلقاها شركة لتقوم بتعليبها من أجل بيعها أو التعبية في أكياس أو في حاويات من أجل التطبيق (كوزن الجاف).

وينصح بالحذر عند تفسير التحليل لأي عينة مضاف إليها مادة البوليمر وتكون مأخوذة من بعد عملية التكثيف.

3-8. عينات التربة في موقع التطبيق وتكرار اخذ العينات

لجمع عينات التربة من الأرض في موقع التطبيق، نقوم بجمع عينات التربة ومزجها مع بعض لعمل عينة مركبة، ان عدد العينات (25) تغطي مساحة لا تزيد عن 5 هكتارات معدة لغرض تطبيق الحمأة.

ويجب أن تؤخذ هذه العينات على عمق 25 سم ما لم يكن عمق التربة السطحية أقل من تلك القيمة، وعلى أن لا يقل عمق العينة في هذه الحالة عن 10 سم.[15]

تجرى التجربة قبل البدء بالتطبيق ومن ثم مرة واحدة على الأقل كل سنتين مالم يظهر

مستجدات تتطلب غير ذلك [21].

3-8-1. أخذ العينات في المناطق المطلوب استصلاحها أو إعادة تأهيلها

ينبغي إجراء أخذ عينات من التربة والمواد الصخرية والحفريات... الخ، في المنطقة المطلوب دراستها لتطبيق الحمأة على الاراضي. ويتم ذلك بعمل عينة مركبة واحدة (20-40 عينة فرعية على عمق 0-15

سم لكل 10 هكتارات) [27]. ويمكن زيادة العينات حسب وضع الموقع ومحتوياته وأهميته. وتجرى التجارب وفق الجدول (3-8-2-1).

3-8-2. التحاليل المخبرية المطلوبة للتربة
Analytical Requirements for Soil Samples

توضع جميع العينات التي تم جمعها على قطعة قماش نايلون وتخلط يدويا ويزال منها القطع الكبيرة من الحجارة، ومن ثم تأخذ منها عينة مركبة وزنها 1كغ ليتم عليها إجراء التجارب الواردة في الجدول (3-8-2-1) يبين التجارب التي يتعين القيام بها لعينات أرض الموقع قبل التطبيق.

الجدول (3-8-2-1) التحاليل المطلوبة لعينات ارض الموقع قبل تطبيق الحماة [27]

التوصيل (ds/m)	المكونات الدقيقة النيتروجين الكلي مجموع الفوسفور الفوسفور المتاح
pH (كلوريد الكالسيوم)	
المكونات الدقيقة	**الملوثات العضوية**
إجمالي الزرنيخ	Aldrin
إجمالي الكادميوم	Dieldrin
إجمالي الكروم	Chlordane
إجمالي النحاس	Heptachlor
الرصاص الكلي	HCB
إجمالي الزئبق	Lindane
إجمالي النيكل	HBC
إجمالي السيلينيوم	DDT
إجمالي الزينك	DDE
	DDD
	PCB

3-9. متطلبات استعمال الحمأة على الأراضي / التصريح

يجب الحصول على تصريح من:

- (الهيئة العامة للبيئة) قبل استعمال الحمأة على الأراضي أو قبل تعليبها أو تَكْيِيسها من أجل بيعها.
- الهيئات الاخرى المسؤولة عن مواقع التطبيق (الهيئة العامة لشؤون الزراعة والثروة السمكية) أو غير ذلك من الجهات التي تقوم بالإشراف على نشاطات أخرى تكون الحماة جزءاً منه كصناعة البلوك، استخلاص الفوسفور....الخ.

المعلومات التالية مطلوبة لاستكمال تطبيق الحمأة على الأراضي:

- وصف قانوني للأرض المراد استخدامها في تطبيق حمأة مياه الصرف إلى جانب مخططات توضح التضاريس والمجاري المائية وتصنيف التربة، وآبار المياه والمساكن والمباني الأخرى **داخل دائرة نصف قطرها كيلومتر واحد من الارض [21].**

- تحليل الحمأة البلدية التي يتم إنتاجها في محطة المعالجة وملخص للنتائج مقارنة بالمعايير المحددة في هذا الدليل الإرشادي.

- تفاصيل حول طرق تثبيت الحمأة المطبقة ونتائج تحليل الحمأة.

- كمية حمأة المجاري التي سيتم تطبيقها على الأرض ومعدل التطبيق.

- توصيف كيميائي وفيزيائي للتربة التي ستتلقى الحمأة.

- بيانات عن منسوب المياه الجوفية/ إلى جانب أي معلومات متاحة أخرى مثل التدفق والاستخدام، ومعلومات عن طبقات المياه الجوفية الأساسية في المنطقة التي يتم عليها التطبيق.

- الاستخدام المقترح للحمأة بما في ذلك المحاصيل المستهدفة، ووصف نظام التطبيق وأي اعتبارات خاصة للإدارة / التشغيل.

- **يجب مراقبة جميع آبار** مياه الشرب الواقعة على بعد 500 متر من حدود التطبيق, ويتم تحليل عينات من مياه الآبار كل عام , وتشمل المعلمات الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية وفق ما هو منصوص علية في شروط جودة مياه الشرب لدى (الهيئة العامة للبيئة) و(وزارة الكهرباء والماء). [21]

- عمل تقييم اثر بيئي EIA إذا كان حجم وتأثير واهميته مشروع تطبيق الحمأة على الاراضي يتطلب ذلك وفق الانظمة المرعية.

3-10. شروط اختيار موقع تطبيق الحمأة

هنالك خطوة مهمة في تطبيق الحمأة على الأراضي وهي إيجاد الموقع المناسب للتطبيق. إن الخصائص المميزة للموقع ستؤثر على الفعالية الكلية لمفهوم تطبيق الحمأة على الأراضي.

ان المواقع التي يمكن أن تكون مناسبة لتطبيق الحمأة تعتمد على ما يلي:

- على نوعية الأراضي التي سيتم التطبيق عليها، مثل التطبيق على الأراضي الزراعية، أراضي الغابات، ملاعب الغولف، استصلاح الاراضي الصحراوية ... إلخ.
- ويجب أن يتضمن ذلك الحصول على تقدير تقريبي لمساحة الأرض المطلوبة لكل خيار ممكن من خيارات تطبيق الحمأة من اجل كل نوع من انواع التربة المتاحة في المنطقة.
- **علما ان التربة المثالية لتطبيق الحمأة هي تربة من نوع طمي سيلتي الى رملي عميق. وعمق التربة لا يقل عن 60 سم. [1]**
- **عمق المياه الجوفية المثالي للحالة 3 أمتار وخصوصا اذا المياه الجوفية تستعمل للشرب, ويقبل حتى 1 م اذا كانت المياه الجوفية لا تستعمل للشرب.**
- **التضاريس**: - الانحدار المثالي 0 % إلى 3 %

  - وللحقن مقبول حتى 6%-12%

  - وفي الغابات حتى 30%

- وأن لا توجد آبار أو أراضي رطبة أو جداول أو أنهار قريبة.
- عدد الجوار قليل بالنسبة لموقع الاستعمال.
- سهولة الوصول للموقع.

3-11. تطبيق الحمأة في الاراضي القاحلة Arid lands

في المناطق القاحلة التي يكون الهطول المطري اقل من (500 ملم سنويًا)، يمكن أن تكون إضافات الحمأة مصدرًا مهمًا للمواد الغذائية وللمواد العضوية. وغالبًا ما يؤدي تطبيق الحمأة إلى تحسين الخواص الفيزيائية للتربة مثل قدرة الاحتفاظ بالمياه, النفوذية والتهوية. وان تطبيق الحمأة يؤدي إلى زيادة محتوى البروتين في المحاصيل مثل القمح الشتوي مقارنة بالمواقع التي تتلقى سماداً تجارياً.

وفي المناخات القاحلة وشبه القاحلة عادة يتجاوز التبخر كمية هطول الأمطار مما يقلل من هجرة NO_3-N للأسفل.

وكذلك في المناطق ذات الأمطار القليلة والتي تستعمل الري في زراعتها , يجب أيضًا مراعاة مكونات الحمأة مثل TDS والبورون (B) عند تحديد معدلات استخدام الحمأة حيث ان وجود تراكيز عالية من الملح في الطبقة السطحية يمكن أن تضعف الإنبات ونمو الشتلات المبكر, ويمكن أن يسبب الملح المفرط أيضًا الى تشتت التربة مما يقلل من معدلات تسرب المياه وتهوية التربة ويسبب تغييرات في بنية التربة تجعل فلاحة الارض أكثر صعوبة [10]. ويمكن أن يؤدي تراكم الأملاح إلى إعاقة إعادة زراعة الأعشاب الأصلية بسبب المنافسة من النباتات المبكرة والمتحملة للملوحة.

3-12. شروط الموقع ومسافات الفصل Siting and Site Restrictions

يجب أن تفي الأرض المحددة لاستعمال الحمأة بمسافات الفصل الدنيا وفق ما يلي[21]:

- الحد الأدنى للمسافة بين الأرض والمناطق العامة (الحدائق والملاعب ...الخ) يجب أن تكون 90 متراً.
- الحد الأدنى للمسافة بين الأرض والمباني المؤسسية (المدارس والمستشفيات الخ) 200 متراً.
- الحد الأدنى للمسافة بين الأرض والمناطق السكنية يجب أن يكون 450 متراً.
- يجب ألا تقل المسافة بين الأرض والمساكن الفردية والمباني التجارية عن 90 متراً.
- يجب أن تكون المسافة الدنيا بين الأرض والطرق العامة وخطوط السكك الحديدية وخطوط الصرف الموسمية لا تقل 30 متراً.
- الحد الأدنى للمسافة بين الأرض المستعملة لتطبيق الحمأة ذات الميول من 0% إلى 3% وبين المجاري المائية والاحواض المائية وآبار المياه ان لا يقل عن 90 متراً.
- الحد الأدنى للمسافة بين الأرض المستعملة لتطبيق الحمأة ذات الميول من 3% إلى 8%، وبين المجاري المائية والمسطحات المائية وآبار المياه لا يقل عن 200 متراً [21]. (وبعض المراجع لا يقل عن 300 م) [1].
- يجب أن يكون لنظام العاصفة المطرية القريب من مكان التطبيق والتجميع القدرة على معالجة الجريان السطحي لمدة 24 ساعة (EPA 503).

3-13. شروط الحصاد والرعي بعد استعمال الحمأة

شروط الحصاد والرعي بعد تطبيق الحمأة على الاراضي يكون كما هو مبين أدناه:

- لا يجوز حصاد المحاصيل الغذائية فوق الارض والتي تمس الحمأة المستعملة أو خليط التربة والحمأة لمدة 14 شهراً بعد استخدام الحمأة. [21+1].
- لا يسمح بحصاد المحاصيل الغذائية (الأجزاء الصالحة للأكل تحت سطح التربة) 38 شهراً بعد استخدام الحمأة. [21+1].

- لا يسمح بحصاد المحاصيل الغذائية ذات الأجزاء التي لا تمس الحمأة / خليط التربة والحمأة كمحاصيل الأعلاف ومحاصيل الألياف لمدة 60 يومًا بعد استخدام الحمأة. [21]
- لا يجوز رعي الحيوانات على الأرض بعد استخدام الحمأة لمدة 30 يومًا. من [1+21].
- يمنع حصاد العشب الذي يزرع على الأرض التي يتم فيها استخدام حمأة ولمدة سنة واحدة اذا كان هنالك إمكانية عالية لتعرض الاشخاص [1].
- في الحدائق العامة أو ما شابه ذلك والمطبق عليها حمأة يمنع / أو يحدد دخول اشخاص لمدة عام [1].
- في المزارع المطبق عليها حمأة يمنع / أو يحدد دخول أشخاص لمدة شهر [1].
- لا يسمح باستخدام الحمأة من أجل زراعة المحاصيل اللينة من الخضار والفواكه تحت هياكل دائمة من الزجاج أو البلاستيك [22] .
- يمكن تطبيق الحمأة المعالجة على زراعة محاصيل الحبوب دون قيود. [22]

3-14. المراقبة المطلوبة قبل وأثناء التطبيق Monitoring Requirements

- قبل تطبيق الحمأة البلدية على الأرض يجب تحليل حمأة المجاري من أجل معرفة كمية المعادن ومستوى وجود الكائنات المسببة للأمراض والمواد المغذية، والمواد العضوية السامة كما هو المحددة في الفقرة (3-5).

ويجب أن يتم أخذ العينات وتحليلها وفقًا للطرق المعتمدة من قبل الجهات المعنية (الهيئة العامة للبيئة) واعتماد الطرق القياسية لفحص المياه والمياه العادمة، والحمأة [13]،[21].

وتجرى التجارب قبل البدء بالتطبيق ومن ثم يتم تكرار أخذ العينات وفق ما ورد في الفقرة (3-7).

- **جودة التربة:** يتم جمع عينات مركبة واجراء التحاليل المحددة في الجدول (3-8-2-1). ويجب تحليل العينة وفقً الطرق المعتمدة أصولا. [21] ويعتمد تكرار أخذ العينات وفق ما ورد في الفقرة (3-8).
- يجب مراقبة جميع آبار مياه الشرب الواقعة في مجال 500 متر من حدود التطبيق، وإجراء تحاليل فيزيائية وكيميائية وجرثومية (بكتريولوجية) لعينات من مياه الآبار كل عام، ومطابقتها للمعايير العالمية والمعتمدة في الدولة.
- يجب الاحتفاظ بالسجلات المتعلقة بكمية حمأة المجاري المطبقة على الأرض، ومعدل التطبيق، ونتائج تحاليل حمأة المجاري، وتحليل جودة التربة والمياه، والمحاصيل المزروعة وتفاصيل المحصول، ويجب تقديم تقرير مراقبة مع التفاصيل إلى الهيئة العامة للبيئة مرة واحدة كل عامين أو حسب ما تطلبه الهيئة خلاف ذلك.

3-15. نقل الحمأة Conveyance methods

يعالج موضوع نقل الحمأة الى مواقع التطبيق حسب الحالة وحسب درجة معالجة الحماة.
ويمكن نقل الحمأة بواسطة الضخ أو بواسطة عربات الشحن أو في القطارات
ولتقليل مخاطر الانسكابات والروائح وانتشار مسببات الأمراض في الهواء يجب أن يتم:

- نقل الحمأة السائلة في عبوات مغلقة مثل الخزانات (على الشاحنات)، أو عربات صهريج او صهاريج السكك الحديدية، أو المركبات المغطاة.[1]

- يمكن نقل الحمأة المستقرة (أي المكثفة والمثبتة بيولوجيا) في عربات مفتوحة، مثل شاحنات

التفريغ أو في السكك الحديدية [1]. ويجب أن تغطى آليات النقل المذكورة بإحكام أصولا.

- وضع علامات على الآليات الناقلة بانها تنقل حمأة مياه صرف والاهتمام بالنظافة.

3-16. تخزين الحمأة Sludge storage

غالبًا ما يلزم أن يتم تخزين الحمأة لأسباب مختلفة:

- الحمأة التي تم تثبيتها وهضمها بطريقة لاهوائية قبل التخلص منها أو استخدامها بشكل مفيد.
- وكذلك يمكن تخزين الحمأة السائلة في أحواض تخزين خاصة.
- كما يمكن تخزين الحمأة على منصات تخزين من الاسمنت أو من الاسفلت [1 sludge storage pads].

أحواض التخزين: عندما يتم تخزين الحمأة في الأحواض تصبح أكثر تركيزًا وتتحسن نوعية الحمأة [1]. ويختلف عمق أحواض تخزين الحمأة من 3 م إلى 5 م وتختلف معدلات التحميل وفق ما يلي(kg VSS/m2.d 0.1-0.25) ويمكن استخدام أجهزة التهوية السطحية للحفاظ على الظروف الهوائية في الطبقات العليا وعادة يتم توفير عدد من الأحواض للتخزين. والتخزين يمكن أن يستمر حتى 6 أشهر.

البحيرات: ويعد تخزين الحمأة المثبتة لفترة طويلة في البحيرات عملا يحتاج تكنولوجيا بسيطًة وهي عمل اقتصادي ورائحة الحمأة المثبتة قليلة، وخصوصا إذا كانت محطة المعالجة في مكان ناءٍ.

والبحيرة عبارة عن حوض ترابي عمقه من 1.25 إلى 1.5 متر. وعادة يمنع دخول منطقة التخزين الا للأشخاص المرخص لهم.

3-17. احتياج المحاصيل من المواد المغذية المساندة

أهم المغذيات للنبات هو النتروجين والفسفور.

النيتروجين الموجود في الحماة بطئ وصعب الاطلاق، وعادة يتم حساب النتروجين اللازم للنبات وفقا للكمية اللازمة من السماد التجاري خلال العام، ويتطلب معرفة محتوى النيتروجين في الحمأة (النترات، الأمونيا، والنيتروجين العضوي Nitrogen org. N) [1]، إضافة إلى ذلك معرفة طريقة تثبيت الحماة، ونوعية المناخ. فمثلا نوعية الحمأة عند التثبيت بالكلس تكون فقيرة بالنيتروجين والفوسفور والمعادن وغنية بالكلس [30]. الجدول (3-17-1) أمثلة عن احتياج المغذيات المساندة لبعض المحاصيل كغ/هكتار. عام. كما يجب أن لا يزيد تركيز المغذيات المساندة - (النتروجين الفوسفور البوتاسيوم) عن حدود معينة بحيث لا تتراكم هذه المواد في التربة إلى حدود غير مقبولة، حيث يختلف التركيز المطلوب حسب نوع المحاصيل كما في الجدول (3-17-1). والجدول (3-17-2) الذي يوضح معدل تحول مركبات النتروجين في الحمأة إلى حالة معدنية حسب طريق التثبيت الاساسية لهذه الحمأة وذلك في العام الأول من التطبيق.

الجدول (1-17-3) معدل استهلاك المغذيات المساندة من قبل بعض المحاصيل

المحصول	معدل استهلاك المواد المغذية kg D.S /ha/year (كغ مادة جافة/هكتار/عام)		
	الوحدة	الوحدة	الحد الاقصى المسموح
الأعلاف	500-100	100-25	300-100
ذرة	210-180	30-20	100
قطن	110-75	14	40
قمح	100-60	20	20
بطاطا	230	32	350-300
غابات وأحراج	330	-	-

من[3], [1], [2], [14]

الجدول (3-17-2) معدل تحول مركبات النتروجين إلى الحالة المعدنية

معدل تحول النيتروجين في الحمأة إلى حالة معدنية في العام الأول من التطبيق	
نوع المواد الصلبة الحيوية	النيتروجين النسبة المئوية في السنة الأولى من الاستخدام
مهضوم لا هوائياً	% 15
مهضوم هوائياً	% 25
سماد	% 10

3-18. الحدود المسموحة للتلوث في حمأة مياه الصرف المطبقة على الأراضي.

تحمل الحمأة القادمة من محطات معالجة مياه الصرف ملوثات رئيسية ثلاثة هي:

- العناصر النزرة والمعادن الثقيلة Trace Elements and Heavy Metals
- المركبات العضوية الخطرة Organic toxic material
- العوامل الممرضة pathogens

3-18-1. العناصر النزرة والمعادن الثقيلة Trace Elements and Heavy Metals

تعتبر العناصر النزرة والثقيلة (مجازا سنسميها كلها المعادن الثقيلة) في الحمأة ذات أهمية خاصة فيما يتعلق بآثارها على صحة الإنسان والحيوان والنبات والكائنات الحية في التربة. وقامت الهيئة العامة للبيئة في الدولة بتحليل هذه المخاطر الناتج عنها وفق تحديد عدد من المعادن الثقيلة. واعتبرت أنه لا يوجد مخاطر للحمأة عند تطبيقها على الاراضي بتراكيز السقف والتراكمي الواردة في الجدول (3-18-1-1) الذي يعطي تركيز المعادن الثقيلة في الحمأة والمطبقة في حالات التسميد

الجدول (3-18-1-1) تركيز المعادن الثقيلة في الحمأة، ونسبة تحميل الحمأة على الأراضي

الملوث	الملوثات المعدنية Heavy metals				*الحد الاقصى لمتوسط المعدل السنوي خلال 10 سنوات Kg/ha
	* سقف التركيز اراضي زراعية mg/kg	* نسبة تحميل التلوث المتراكم اراضي زراعية Kg/ha	* سقف تحميل التلوث لأراضي غير زراعية mg/kg	*حدود التحميل السنوي اراضي زراعية kg/ha/year	
الزرنيخ As	10	4	36	2	0.7
كادميوم Ca	20	2	380	1.9	0.15
الكروم Cr	300	150	3100	150	15
نحاس Cu	400	100	3300	75	7.5
الرصاص pb	300	30	1600	15	15
الزئبق Hg	10	1	30	0.85	0.1<
الموليبيديوم mo	20	3	230	0.9	0.2
النيكل Ni	200	50	990	21	3
سيلينيوم se	50	5	64	5	0.15
الزنك Zn	500	300	8600	140	15
الكوبالت Co	150	-	-	1.8	
الفلورايد fluoride					20

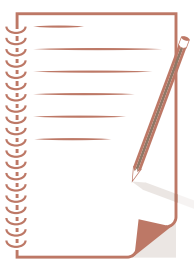
*الهيئة العامة للبيئة بدولة الكويت قرار6 2017 - ** Kg*** - FAO مواد صلبة - **** ليس من المعادن الثقيلة ولكنه خطر على المياه الجوفية

الزراعي والتطبيق على الأراضي غير الزراعية، وكذلك معدل تحميل الحمأة على الأراضي (كوزن جاف).

لا يمكن تطبيق هذه الحمأة إذا تم تجاوز أي من هذه العناصر معيار من المعايير وكذلك اذا كان الحد التراكمي يقترب من ذلك.

يتم استخدام الحمأة في التسميد بتوزيعها وفق المقننات الواردة في الجدول (3-17-1) ووفق الحدود الواردة في الجدول (3-18-1-1) الذي يشمل حالات التطبيق التالية:

- سقف التركيز في الاراضي الزراعية mg/kg Ceiling concentration
- نسبة تحميل التلوث المتراكم في الاراضي الزراعية Kg/ha Loading rate Cumulative pollutant
- سقف تحميل التلوث على الاراضي غير الزراعية mg/kg
- حدود التحميل السنوي لأراضي زراعية kg/h/year Annual pollutant loading rate
- حدود التحميل لمتوسط التحميل السنوي خلال 10 سنة لأراضي زراعيةkg/h Average annual pollutant loading rate over 10 years [FAO]



ملاحظة هامة: عند تطبيق الحمأة على الأراضي الزراعية أو الغابات أو استصلاح الأراضي، يجب الانتباه إلى أن انخفاض PH في التربة الحمضية المطبق عليها الحمأة والتي تحوي معادن (الزنك والنحاس والنيكل) سيؤدي إلى تلف المحاصيل أو ضعف إنباتها، فيجب أن تتوخى في هذه الحالة أن يكون محتويات الحمأة ليس ضمن الحدود العليا وأن تحوي أقل ما يمكن من المعادن المذكورة. [FAO1992].

3-19. المركبات العضوية السامة في الحمأة ونسبة تحميل الحمأة على الأراضي.
Toxic organic compounds

الملوثات العضوية: هي مركبات عضوية اصطناعية تستخدم في إنتاج الأغذية ومنتجات العناية الشخصية وتصنيع البلاستيك والعمليات الصناعية الأخرى مثل الديوكسينات والهرمونات الستيرويدية وهذه المواد العضوية قد تنتهي إلى حمأة محطات المعالجة وتنتقل منها إلى البيئة الطبيعية [30]. والعديد من هذه المركبات سامة أو مسببة للسرطان للكائنات المعرضة لتركيزات حرجة خلال فترات زمنية معينة، ووجودها في الحمأة يسبب قلقًا كبيرًا أيضًا لأنها ثابتة يصعب تحللها وهي ايضا تتراكم بيولوجيا. الجدول (3-19-1) يحدد تركيز الملوثات العضوية في الحمأة ونسبة تحميل الحمأة على الأراضي.

3-20. طرق تطبيق الحمأة

تتراوح طرق تطبيق الحمأة من الحقن المباشر إلى نشر الحمأة السطحي. وتعتمد طريق التطبيق على حالة الحماة (سائلة أو منزوعة الماء)، وعلى التضاريس، الموقع، ونوع الغطاء النباتي الموجود (المحاصيل الحقلية السنوية، محاصيل الأعلاف الحالية، الأشجار، أو الأراضي المزروعة).

يجب تطبيق الحمأة بعد عملية معالجة العوامل الممرضة في غضون 8 ساعات، ويجب أن تمزج في التربة في غضون 6 ساعات بعد التطبيق [10]

وهناك عدد كبير من أشكال منتجات الحماة بما في ذلك الشكل السائل او كعكة الحمأة cake

الجدول (3-18-2-1) تركيز الملوثات العضوية في الحمأة ونسبة تحميل الحمأة على الأراضي

Organic toxic material - الملوثات العضوية				
الملوث	* سقف التركيز اراضي زراعية mg/kg	* نسبة تحميل التلوث المتراكم اراضي زراعية Kg/ha	* سقف تحميل التلوث لأراضي غير زراعية mg/kg	*حدود التحميل السنوي اراضي زراعية kg/ha/year
الدرين / ثاني الدرين Aldrin / dieldrin	-	-	0.33	0.016
بنزو بايرين Benzo (a) pyrene	-	-	6.9	0.13
كلوردين Chlordane	-	-	24	1.2
د.د.ت / د.د.د/ددي DDE/ DDT / DDD	-	-	0.11 DDE/ DDT / DDD	0.0055 (DDT / DDD)
ثاني ميثيل نيتروسامين Dimethyl nitrosamine	-	-	1.4	0039
هيبتاكلور Heptachlor	-	-	1.5	0.073
سداسي كلور بنزين Hexachlorobenzene	-	-	2.8	0.039
سداسي كلوربوتادين Hexachlorobutadiene	-	-	6.8	0.43
لندين Lindane	-	-	92	4.6
متعدد الكلور ثنائي فينيل Polychlorinated biphenyl	-	-	0.11	0.0056
توكسافين Toxaphene	-	-	0.97	0.048
ثلاثي كلور إيثايلين Trichloroethylene	-	-	180	0.013
Pentachlorophenol PCPs 180 ,138,153 ,101 ,52 ,28 PCB	0.3	-	-	-

*الهيئة العامة للبيئة بدولة الكويت قرار-6 2017 , ** ***Kg , FAO مواد صلبة, [27]

أو البليت pellet. وقد تأتي الحماة السائلة مباشرة من الهاضم دون المرور بأي عملية نزع ماء / او تجفيف وبالتالي فهي تحتوي على نسبة عالية من الماء (94-97 %)
ومحتوى مواد صلبة جافة منخفض (3-6 %) [30].

كما يمكن إنشاء حمأة ذات قوام اسفنجي رطب بواسطة حمأة سائلة مهضومة أو حمأة سائلة غير مهضومة تثبت قلويا (alkali-stabilized) بواسطة الجير السريع (أكسيد الكالسيوم) (Calcium oxide) او بواسطة (ماءات الكالسيوم) (Calcium hydroxide) [30]. وبشكل عام تحتوي الحمأة بشكل الكيك عادة على نسبة مواد صلبة تتراوح من 11 إلى 40%.

يتم إنتاج الحمأة من شكل البيليت عن طريق التسخين والتجفيف إلى محتوى مواد صلبة قد يصل 90%، وبذلك يتم تقليل حجم ووزن الحمأة ويزيد قيمتها الاقتصادية عن طريق تقليل تكاليف النقل والتخزين, كما يسهل التعامل معها حيث يمكن نشرها بواسطة المعدات الزراعية التقليدية.

- ان الحمأة المنزوعة الماء أكثر ثباتًا ولكنها أبطأ في إطلاق المغذيات في حين أن الحمأة السائلة أسرع في توفير المواد المغذية للنبات. الشكل (3-20-1) عملية توزيع الحمأة على الاراضي حيث، a السائلة، b الجافة، c حقن الحمأة تحت التربة.

3-20-1. تطبيق الحمأة السائلة

تطبيق الحماة السائلة على الاراضي سهل جدا، علما ان طلب استعمال الحمأة منزوعة المياه من اجل التسميد بالمقارنة هي الاقل عمليا وذلك بسبب سهولة التعامل مع الحمأة السائلة حيث يمكن نقلها وتوزيعها عن طريق الضخ.

إن تركيز المواد الصلبة النموذجية للحمأة السائلة المطبقة على الأرض من 1 % إلى 10%. [1].

الشكل (3-20-1) عملية توزيع الحمأة على الأراضي: a السائلة، b الجافة، cحقن الحمأة تحت التربة (يتبع)

a

b

c

ويتم تطبيق الحمأة السائلة على الأرض عن طريق استخدام الآليات أو باستعمال طرق مشابهة لتلك المستخدمة في توزيع المياه (ري بالثقالة أو ري بالرش).

ويمكن تطبيق الحمأة السائلة بالصهاريج عن طريق التوزيع السطحي أو عن طريق الحقن تحت السطح أو المزج بينهما. ويستعمل الري بالرش مع ضغط بشكل اكثر في المناطق الحراجية.

كما ان تطبيق الحماة السائلة هو أكثر شيوعًا في حقول المحاصيل العلفية السنوية وتتم العملية وفق ما يلي:

(1) نشر الحمأة السائلة قبل الزراعة.

(2) السماح للحمأة بان تجف جزئيا.

(3) مزج الحمأة بالتربة عن طريق القرص أو الحراثة العادية.

تتكرر العملية بعد الحصاد.

لا يسمح بالتسميد بالحمأة غير المثبتة.

لا يسمح بالتسميد أثناء النمو لأنه يصدر رائحة لا يمكن السيطرة عليها.

الجدول (3-20-1-1) يبين كمية الأمونيا المتاحة للنبات من الحمأة حسب نوع التطبيق وPH

الجدول (3-20-1-1). كمية الأمونيا المتاحة للنبات من الحمأة حسب نوع التطبيق وPH

طريقة تطبيق الحمأة	PH الحمأة > 10	PH الحمأة < 10
	النسبة المتاحة ٪	
حقن تحت التربة	100	100
تطبيق سطحي مع:		
مزج مع التربة في 24 ساعة	85	75
مزج مع التربة خلال 1-7 أيام	70	50
مزج مع التربة بعد 7 يوم	50	25

3-20-2. تطبيق الحمأة منزوعة الماء على الأراضي.

يشبه تطبيق الحمأة منزوعة الماء والمثبتة، تطبيق السماد الحيواني العادي شبه الصلب. ويعد استخدام آلات رش الأسمدة التقليدية ميزة مهمة لأن المزارعين يمكنهم تطبيق الحمأة على أراضيهم باستخدام معداتهم الخاصة.

تركيز الحمأة النموذجي المطبق على الأراضي يتراوح بين 15% إلى 20%. [1]

تنشر الحماة منزوعة الماء بواسطة صندوق موزع الحماة الذي يركب على جرار زراعي (تركتور) أو آلة نشر روث الحيوانات المركبة على جرار، أو نثر السماد متبوعا بحرث عادي او بالقرص. ولمشاريع تطبيق حمأة اكبر يمكن استخدام اليات هندسية كبيرة.

3-20-3. استصلاح الأراضي وتحسين نوعيتها

توجد مساحات كبيرة من الأراضي المضطربة disturbed Land التي يمكن أن تستفيد من الاستصلاح بالحمأة مثل مناطق: [10]

- مقالع الغضار والمواد الحصوية والحجر والفوسفات والفحم والمعادن الأخرى.
- كما أن مناطق البناء يمكن ان تستفيد من التطبيق مثل حفريات مقاطع الطرق وحفر الاستعارة.
- وتشمل مناطق أخرى التي تحتاج إلى استصلاح كالغابات المقطوعة او المحروقة.
- وتحول الكثبان الرملية ومدافن النفايات والمواقع التي دمرتها الأبخرة السامة والغبار الملوث الى مواقع مفيدة.

3-20-3-1. التطبيق على الأرض المضطربة. Disturbed land

هنالك نوعان من التطبيق:

1. **استصلاح الأراضي وإعادة استعمالها.**

يتكون من تطبيق لمرة واحدة تتراوح ما بين **(120إلى 240 طن جاف / هكتار) [1] .**

2. **تحسين خصوبة التربة.**

يمكن تصحيح نقص خصوبة التربة وضعف الخصائص الفيزيائية عن طريق تطبيق الحمأة لإعادة الغطاء النباتي للأرض (وهذا يحتاج لدراسة خاصة).

(وفي دراسة لـ [Zerzghi etal] ذكرت أنه في خلال 20 سنة متتالية من تطبيق الحمأة من الفئة B (وهو تصنيف EPA يهتم فقط بالمعادن الثقيلة B والعوامل الممرضة ولكن سقف التلوث المقبول فيه عال) لتربة في الصحراء الجنوبية الغربية القاحلة في ولاية أريزونا, لم يكن لها تأثير ضار على التنوع الميكروبي للتربة soil microbial diversity. [30].

3-21. مواصفات الحمأة المطلوبة للتطبيق

- يطلب ان تكون نسبة المواد المتطايرة volatile solids في حمأة المجاري 38% على الأقل [10]، وهذه النسبة نحصل عليها بالهضم اللاهوائي والهوائي والكيميائي.

بالإضافة إلى حدوث تخفيض إضافي للمواد الصلبة المتطايرة يحدث خلال المعالجة في أحواض التجفيف أو البحيرات، أو التسميد.

- بالنسبة للحمأة الناتجة عن المعالجة الهوائية يطلب ان يكون معدل امتصاص الأكسجين (SOUR) المحدد عند 20 درجة مئوية هو 1.5 ملغ من الأكسجين / ساعة / غ للمواد الصلبة الكلية [10].

3-22. التخلص من الحمأة في المطامر (الردم السطحي) Landfill sludge disposal

لا يعد طمر الحمأة هو الحل المثالي للتخلص من الحمأة، ويتم طمر الحمأة لعدة اسباب:

- اما لعدم وجود تصريف تجاري لها.
- او لعدم مطابقتها للمعايير المطلوبة للتطبيق على الاراضي.
- او لا يوجد في الاساس نظام عام لإدارة الحمأة.

3-22-1. الشروط المطلوبة لطمر الحمأة

لكي نتمكن من طمر الحمأة الناتجة عن محطات معالجة مياه الصرف:

- يتم التقيد بمواصفات الحمأة المصرفة الى المطامر وفق الحدود القصوى لتراكيز المعادن الثقيلة والمركبات العضوية الخطرة الواردة في الجدول (3-22-1-1).[13]
- يتم التقيد بمواصفات الرشاحة leachate للحمأة الناتجة عن محطات معالجة مياه الصرف والمصرفة الى المطامر وفق الحدود القصوى لتراكيز المعادن الثقيلة والمركبات العضوية الخطرة الواردة في الجدول (33-22-1-2).[13]
- لا يوجد تقيد بالنسبة للعوامل الممرضة.
- كتلة المواد الصلبة المتطايرة في الحمأة دون 38%.
- يجب ان يتم اثبات ان الحماة الموردة الى المطامر، بما في ذلك حمأة محطات القطاع العام هي حمأة مثبتة ومنزوعة المياه dewatering حتى نسبة 20 % مواد صلبة [Policy DMM-SW-03-14].
- عدم وجود سائل يتسرب بشكل كبير وواضح من الحمأة التي تم تصريفها الى المطمر.
- أي استثناءات لطمر الحمأة تخضع للوضع الراهن وموافقة الهيئة العامة للبيئة والمسؤول عن المطمر ليقدر الحالة والاولوية.

الجدول (3-22-1-1) تركيز المعادن الثقيلة والمركبات العضوية الخطرة في الحمأة المصرفة الى المطامر (الردم السطحي)[13]

المعادن الثقيلة والمركبات العضوية الخطرة في الحمأة المصرفة الى المطامر	تركيز الملوثات - mg/kg
الزرنيخ Arsenic As	36
كادميوم Ca	385
نحاس Cu	-
الرصاص pb	3300.3
الزئبق Hg	1622
الموليبيديوم mo	17
النيكل Ni	-
DDT/DDE/DDD	988
الدرين / ثاني الدرين - Aldrin / dieldrin	0.95
بنزو باين - Benzo (a) pyrene	
كلوردين - Chlordane	99
ثاني ميثيل نيتروسامين - Dimethyl nitrosamine	180
هيبتاكلور - Heptachlor	1.4
سداسي كلور بنزين - Hexachlorpbenzen	-
سداسي كلوربوتادين - Hexachlorobutadiene	-
لندين - Lindane	2.3
متعدد الكلور ثنائي فينيل - Polychlorinated biphenyl	49
توكسافين - Toxaphene	0.5
ثلاثي كلور إيثايلين - Trichloroethylene	181
بنزين - Benzene	15
بنزوبيرين بيرين - Benzo (a) pyrene	99
بنز (٢-ايثيلين هكسايل) فثاليت	782

الجدول (3-22-1-2) تركيز المعادن الثقيلة والمركبات العضوية الخطرة في رشاحة الحمأة المصرفة الى المطامر [13]

المعادن الثقيلة والمركبات العضوية الخطرة في رشاحة الحمأة	تركيز الملوثات - mg/l
زرنيخ	5
باريوم	10
بنزين	0.5
كادميوم	1
رباعي كلور الكربون	0.5
كلوروالبنزين	100
كلورفورم	6
كروم	5
كريسول	200
باراكريسول	200
ثنائي كلور البنزين -1.4	7.5
ثنائي كلوروايثين -1.2	0.5
ثنائي كلورايثايين -1.1	0.7
ثنائي ايثايل اكسايل فثاليت	10
ثنائي نترات طولوين -2.4	0.13
ايثايل بنزين	70
هيكسا كلورو البنزين	0.013
هيكسا كلوربيوتادين	0.5
هيكسا كلور ايثان	3
حديد	5
زئبق	0.2
ميثايل ايثايل كيتون	200
نيكل	10
نيتروبنزين	2
خماسي كلور فينول	100
بايرادين	5
سيليليوم	1
فضة	5
ستايرين	10
رباعي ايثيلين الكلورايد	0.7
طولوين	10
ثلاثي كلورو ايثايلين	0.5
ثلاثي كلورايد فينول	400
ثلاثي كلورايد فينول	2
كلور الفينيل	0.2
اكسيلين	70

* TCLP: Toxicity Characteristics leachate Produce

- يجب ان تكون الحماة الجافة خالية من الاشعاع أو أن لا تزيد قيمتها عن 300 بيكرل /كغ

3-22-2. طمر الحمأة اذا لم يكن هناك سوق للمنتج أو لم يتم تصنيفها

- يتم تنظيم طمر الحمأة في المطامر الصحية مع النفايات البلدية الصلبة حسب التعليمات المحلية الناظمة والمواصفات المطلوبة اعلاه (راجع الفقرة، 2-2-4). كما يمكن ان يتم طمر نواتج محطة المعالجة الاخرى مثل نواتج (المصافي، فواصل الرمال، والمواد الصلبة الأخرى).
- ويطلب ان تكون الحمأة مثبتة وفق اللوائح المحلية، وان يكون تحليل عينات الحمأة المصرفة الى المطمر مطابقة للمعايير الواردة في الجدول (3-22-1-1). ومعايير رشاحة الحمأة الواردة في الجدول (3-22-1-2).
- ضرورية نزع المياه من الحمأة قبل الطمر لتقليل حجم النقل وللتحكم في إنتاج الرشاحة في المطمر.
- ويجب يكون المطمر مدروسا لاستقبال الحمأة وكذلك النفايات الصلبة الاخرى.
- يتم فرش الحمأة في منطقة محددة لهذه الغاية، ويتم ضغطها بواسطة مدحلة, وتغطى بطبقة من التربة النظيفة بطبقة 35 سم.
- وعملية تغطية الحماة القادمة إلى المطمر يجب ان تتم يوميا لتقليل الروائح والحشرات.
- يجب تكرار أخذ العينات على الشكل التالي:

- عينة واحدة لكل 300 طن حمأة (مواد جافة) [27]

3-22-3. طمر الحمأة إذا كانت غير مناسبة للتطبيق على الأراضي.

إذا تبين أن الحمأة غير مناسبة للاستخدام وللتطبيق على الأراضي فعندها قد يتطلب منا أن نتخلص من الحمأة في المطامر.

يجب أن يتوافق التخلص في مدافن النفايات (المطامر) مع متطلبات مطامر (الهيئة العامة للبيئة) كما يجب التخلص من الحمأة فقط في المطمر المرخص لذلك. (ارجع إلى الإرشادات البيئية الخاصة لتحديد نوع المطمر الذي يجب أن تذهب إليه الحمأة).

- يجب تحديد تركيز الملوثات الخطرة في الحمأة وان تكون مطابقة للمعايير الواردة في الجدول (3-22-1-1) تركيز المعادن الثقيلة والمركبات العضوية الخطرة في الحمأة المصرفة الى المطامر. وكذلك خصائص رشاحة الحمأة ويتم ذلك باختبار الخواص السمية لرشاحة الحمأة في الجدول (3-22-1-2) [27][13] (TCLP).
- وإذا تجاوزت النتائج هذه الاختبارات فيجب معالجة الحمأة وفقًا للمعايير المطلوبة قبل التخلص منها مرة اخرى.

23-3. القضايا الحساسة في تطبيق الحمأة والاحتياطات [10] [30]

تعد الرائحة أحد اهم القضايا الحساسة وعدم قبول تطبيق الحماة على الأراضي. وفي كثير من الدول أدت الشكاوى من الرائحة الى تقييد استخدام الحماة.

والروائح المزعجة يمكن أن يكون لها آثار ضارة على جمال الموقع والجوار، وقيم الممتلكات، ونوعية الحياة في المجتمعات التي تخضع لها. لذلك فإن التخلص من الروائح الكريهة أو تخفيفها من بين التحديات الكبرى في الحصول على قبول تطبيق الحمأة.

وعلى الرغم من أن العديد من البكتيريا المسببة للرائحة في الحمأة قد تم تدميرها في عملية تثبيت الحمأة إلا أنه يمكن اتخاذ بعض الإجراءات والتدابير للسيطرة على الروائح في مواقع التطبيق على الأرض، وفق ما يلي:

- تقصير زمن تخزين الحماة.
- تحديد المواقع والحقول البعيدة عن الجوار ما امكن من اجل تطبيق الحمأة.
- وتجنب استخدام التطبيق على الأراضي عندما تكون اتجاه الرياح باتجاه المناطق السكنية القريبة.
- تقليل الآثار الضارة بجمالية موقع الحمأة.
- صيانة دائمة لمعدات النقل والتطبيق.
- ان تكون مناطق التطبيق والتخزين محفوظة جيدًا ونظيفة ومسيجة إذا لزم الأمر.
- الاحتفاظ بالسجلات.
- تغطية ومزج الحمأة في أسرع وقت ممكن بعد التسليم.
- التنظيف اليومي (أو بشكل متكرر إذا لزم الأمر) للشاحنات والخزانات وغيرها من المعدات وكذلك الطرق التي تسلكها العربات.
- تجنب استخدام الحمأة في التربة التي تغمرها المياه.
- استخدام معدلات تطبيق الحمأة المناسبة لظروف موقع التطبيق.
- تجنب أو الحد من بناء واستخدام مرافق تخزين الحمأة في موقع التطبيق.
- عزل موقع تطبيق الحمأة عن المناطق السكنية والتجارية وغيرها من المناطق العامة وفق القواعد المذكورة في الدليل.

المراجع

1. Waste water engineering and reuse -Metcalf&eddy - Fourth Edition,2003.

2. Waste water engineering disposal and reuse -Metcalf&eddy - ThirdEdition, 1991.

3. Waste water engineering - Shun Dar Lin.

4. Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land - (Milieu Ltd, WRc and RPA for the European Commission).

5. Design of sewage treatment plants, Dr. Faisal Asfari.

6. Sewage and Sewage Treatment Systems - Dr. Faysal Asfari, Dr. Saleh Al-Muzaini.

7. ASCE & WPCF (1977) + Dr Fatima jaara

8. EPA, WEF and ASCE (1991)

9. EPA Land Application of Sewage Sludge - EPA/831-B-93-002b December, 1994

10. EPA Process Design Manual Land Application of Sewage Sludge andDomestic Septage EPA/625/R-95/001 Environmental ProtectionDevelopment September 1995

11. Land application of municipal biosolids: managing the fate and transport of contaminants of emerging concern David R. Lapen, Edward Topp , Natalie Gottschall and Mark Edwards

12. Disposal and recycling routes for sewage sludge Part 2- Regulatory report - Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2001

13. الهيئة العامة للبيئة القرار رقم 6 - 2017 - اللائحة التنفيذية لإدارة النفايات الخطرة والطبية والبلدية الصلبة.

14. دليل تصميم محطات معالجة مياه الصرف - محمد معن برادعي

15. Council on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture (86 /278/ EEC) Advisory leaflet.

16. Advisory leaflet ATV-DVWK-M 368E Germany. Biological Stabilization of Sewage Sludge April 2003.

17. Department of Crop and Soil Environmental Sciences, Virginia Tech - Gregory

K. Evanylo

18. Huber technology Co.

19. Water and waste water engineering systems - by D. Barnes, B. W. Gould, P. J. Bliss, H. R. Valentine

20. WEF - Industrial Wastewater Management, Treatment, and Disposal- Third Edition.

21. Land Application of Municipal Sewage Sludge Guidelines EPB 296 June , 2015. (From Canadian Standards).

22. Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47.

23. Implementing Oregon's Biosolids Program Internal Management Directive December 2005.

24. Organic contaminations in sewage sludge for agricultural use European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability Soil and Waste Unit H. Langenkamp P. Part.

25. Review Organic chemicals in sewage sludges. Ellen Z. Harrison a, Summer Rayne Oakes, Matthew Hysell, Anthony Hay

26. Sludge use acceptance - October 2001 - European Commission DG Environment - Part 1

27. Use and Disposal of Biosolids Products -Chye Ang Environmental Policy - John Sparkes from EPA 2000

28. Organic contaminants in sewage sludge (biosolids) and their significance for agricultural recycling - S. R. Smith 2009 -

29. Guidelines for sewerage systems biosolids management 2004 - Australia - (Natural Resource Management Ministerial Council)

30. Land Application of Biosolids in the USA: A Review Qin Lu, Zhenli L. He, and Peter J. Stoffella River Research and Education Center, University of Florida -2012

31. Evaluation of sludge treatment for pathogen reduction final report. Study contract NO B4-3040/2001/322179/MAR/A2 for the European commission – directorate - general environment

الكشف الأولي على موقع تطبيق الحمأة			
المعلومات المطلوبة			ملاحظات
موقع التطبيق			
رقم المنطقة / الارض			
المالك			
مساحة الارض			
وصف المقيمين في الجوار			
وصف المقيمين في الارض			
نوع التطبيق		زراعي	
		غابات	
		استصلاح	
أبعاد تقريبية للموقع			
طبغرافية الارض		سهل – خفيف – حاد	
		الميل %	
طريقة تصريف مياه المطر او الري الزائد			
أي تصريف تحت ارضي			
بعد موقع التطبيق عن اقرب		مياه سطحية	
		بئر	
		سكن	
طريقة الوصول للأرض		طرق	
		اخرى	
نوع المحاصيل الموجودة		في الموقع	
		الجوار	
وصف طبيعة التربة		طبيعة التربة	
		تنوع التربة	