دليل
الإدارة البيئية لحمأة مياه الصرف

Environmental Management Guide for Sewage Sludge

المهندس معن برادعي
إستشاري معالجة مياه صرف

العنوان: دليل الإدارة البيئية لحمأة مياه الصرف

المهندس: معن برادعي

الموضوع: بيئي

عدد الصفحـات: 300 صفحة

قياس الصفحة: 17x24 سم

عدد النسخ: 1000 نسخة

التصنيف العمري: E

الرقم الدولي للسلسلة: 978-9948-716-87-7

الطبعة الأولى
1446هـ - 2025م

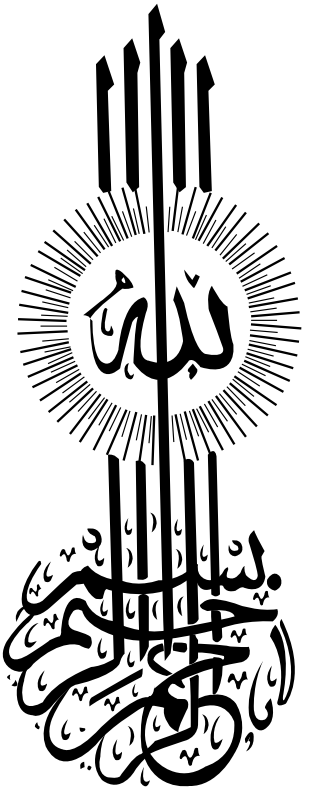
® جميع الحقوق محفوظة

يمنع نسخ هذا الإصدار أو أجزائه بكل الطرق كالطبع والتصوير والنقل والترجمة والتسجيل " المرئي والمسموع والإلكتروني إلا بإذن خطي من " مؤسسة زايد الدولية للبيئة

تم تصنيف وتحديد الفئة العمرية التي تلائم محتوى الكتب
وفقاً لنظام التصنيف العمري الصادر عن المجلس الوطني للإعلام

ص. ب. 28399 دبي - الإمارات العربية المتحدة
برج العلي - شارع الشيخ زايد - رقم (504)
هاتف: 97143326666+ - فاكس: 97143326777+
البريـد الإلكتروني: ea@zayedprize.org.ae
البريـد الإلكتـروني: www@zayedprize .org.ae

الآراء الواردة في هذا الكتاب
لاتعبر بالضرورة عن رأي مؤسسة زايد الدولية للبيئة ولا تتحمل أي مسؤولية مهما كانت طبيعتها ناشئة أو متصلة بمحتويات هذا الكتاب


بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم الدليل

يسرّ مؤسسة زايد الدولية للبيئة أن تقدم لقرائها الكرام هذا الكتاب المتميز ضمن سلسلة كتاب "عالم البيئة" ربع السنوية المُحكّمة، حيث يسلط الضوء على موضوع حيوي في مجال إدارة الموارد البيئية، ألا وهو "إدارة الحمأة"، كما أنه أيضاً دليل شامل للفنيين العاملين في مجال إدارة الصرف الصحي والصناعي موضحاً لهم الخطوات اللازمة والإشكالات التي تطرأ وكيفية معالجتها.

يشكل هذا الكتاب إضافة قيّمة للمكتبة العربية العلمية والتخصصية، ويأتي في وقت تتزايد فيه التحديات البيئية الناجمة عن النمو السكاني السريع وتزايد الإنتاج الصناعي، ما يضع ضغطًا إضافيًا على أنظمة معالجة مياه الصرف الصحي ونتائجها المترتبة على البيئة.

إن إدارة الحمأة هي عملية حيوية في أنظمة معالجة مياه الصرف، ولها تأثيرات كبيرة على التوازن البيئي والصحة العامة. ومن خلال هذا الكتاب، يقدم المؤلف رؤية شاملة لأحدث التقنيات والأبحاث المتعلقة بالحمأة، بما في ذلك أساليب المعالجة والتقليل من المخاطر البيئية المرتبطة بها، مما يجعله مرجعًا أساسيًا للمختصين في مجالات الهندسة البيئية والصرف الصحي.

يعد الكتاب بمثابة خطوة نحو تعزيز الوعي البيئي وتوفير حلول مستدامة للتعامل مع النفايات الناتجة عن المعالجة، وهو ما يتماشى مع رؤية سلسلة كتب "عالم البيئة" التي تهدف إلى نشر المعرفة العلمية والممارسات المستدامة لحماية بيئتنا من التحديات المستمرة.

وقد درجت سلسلة كتاب عالم البيئة في الآونة الأخيرة على إصدار كتب ذات قيمة نوعية تساعد الفنيين في أداء مهامهم البيئية بصورة منهجية وفي حل المشكلات التي تطرأ أثناء المعالجات المعقدة ، في شكل دليل علمي يرسم خارطة طريق واضحة للمعالجة .. وهذا هو الدليل رقم 6 ضمن هذه السلسلة.

نأمل أن يكون هذا الكتاب مصدر إلهام للممارسين والباحثين في المجال البيئي وأن يساهم في تطوير استراتيجيات مبتكرة وفعالة لإدارة الحمأة بما يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة وحماية الموارد الطبيعية للأجيال القادمة.

مع تمنياتي لكم بقراءة شيقة ومثمرة ...

أ.د. محمد أحمد بن فهد

رئيس اللجنة العليا لمؤسسة زايد الدولية للبيئة

رئيس تحرير سلسلة كتاب عالم البيئة

الفهرس

رقم الفقرة	المادة	الصفحة
	تقديم الدليل	5
	الفهرس	6
	الاختصارات/ Abbreviations .	18
	دليل إدارة حمأة مياه الصرف والتخلّص منها في الزراعة والمطامر.	21
	مقدمة.	22
	الهدف من الدليل.	23
	محتوى دليل إدارة حمأة مياه الصرف.	25
	بعض التعاريف الهامة.	29
	1. خصائص حمأة محطات معالجة مياه الصرف.	35
1	معلومات عامة عن حمأة محطات معالجة مياه الصرف.	36
1-1	تعريف حمأة محطات معالجة مياه الصرف. Definition of wastewater treatment plant sludge	36
2-1	كمية وخصائص الحمأة Quantity and Characteristics of Sludge	36
3-1	مضخَّات الحمأة والرغوة.	47
1-3-1	المضخَّة المكبسية (Plunger pump)	47
2-3-1	المضخَّة ذات الحركة التقدُّميّة Progressive cavity (PC)	48
3-3-1	المضخَّات ذات الطرد المركزي Centrifugal pumps	49
4-3-3-1	المضخَّات ذات الحجاب (غشائيَّة) Diaphragm pump	53

5-3-3-1	المضخَّة ذات الفُصوص الدوَّارة Rotary- lobe pump	54
6-3-3-1	المضخَّة ذات الخُرطوم peristaltic hose	54
	2. خيارات معالجة الحمأة.	**57**
2	خيارات معالجة الحمأة Sludge Treatment Alternatives	58
1-2	تكثيف الحمأة. Sludge thickening	61
1-1-2	التكثيف بالثقالة (بالجاذبية). Gravity thickener	61
	التكثيف المشترك في حوض الترسيب الأولي.	62
	التكثيف التقليدي بالثقالة (بالجاذبية). Gravity thickening	62
2-1-2	تكثيف الحمأة بالتطويف DAF.	64
3-1-2	تكثيف الحمأة بالطرد المركزي، البرميل الدوار مع حلزون. Centrifuge Thickening, screw thickener	67
	المكثف النَّابذ. Centrifuge thickening	67
	طريقة البرميل الدَّوار مع حلزون او المكثِّف الحلزوني Screw thickener	68
4-1-2	تكثيف الحمأة بواسطة السير المكثّف. Gravity belt thickening	70
5-1-2	مكثّف البرميل الدوَّار. RDT. Rotary drum thickening	71
2-2	تثبيت الحمأة ونزع الماء. Sludge stabilization/ dewatering	73
1-2-2	الهضم اللاهوائي للحماة. Anaerobic digestion	73
1-1-2-2	حساب حجم الغاز.	78
2-1-2-2	أنواع الهواضم اللاهوائية وطرق المزج.	81
1-2-1-2-2	الهاضم الإسطواني.	81

2-2-1-2-2	الهاضم اللاهوائي البيضوي. Egg-shaped anaerobic digester	82
2-2-1-2-3	الهضم اللاهوائي المتقدِّم. Advanced Anaerobic Digestion	84
2-2-1-2-1-3	الهضم اللاهوائي بمفاعل ثيرموفيلك. Thermophilic Anaerobic Digestion	84
2-2-2	الهضم الهوائي للحماة. Aerobic digestion	84
2-2-2-1	الهضم المزدوج. Dual Digestion	87
2-2-2-2	هضم الحمأة بطريقة ATAD Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion	89
2-2-2-3	طرق أخرى للهضم الهوائي.	90
	أنظمة الأسمدة داخل الوعاء. In-Vessel Composting Systems	90
2-2-3	التثبيت بالكلس. Lime stabilization	90
2-2-3-1	تقنيات التثبيت القلويّة المتقدِّمة. Advanced Alkaline Stabilization Technologies	91
2-2-3-2	محاسن ومساوئ إستعمال التثبيت بالكلس.	91
2-2-4	الأسمَدة. Composting	92
2-2-5	تكيّيف الحمأة. Sludge conditioning	95
2-2-5-1	الطرق الكيميائية.	95
2-2-5-1-1	تحضير المواد الكيميائية من أجل تكييف الحمأة.	95
2-2-5-2	الطرق الفيزيائية.	97
2-2-5-2-1	التكيّيف الحراري. Thermal conditioning (او Thermal Hydrolysis TH)	97
2-2-5-2-1-1	طريقة كامبي في التكيّيف الحراري للحمأة. Cambi process	98

2-2-5-2-2	الموجات فوق الصوتية. Ultrasonic sludge dewatering	102
3-2-5-2-2	التسخين المسبق. Sludge preheating	102
4-2-5-2-2	تكيّيف الحمأة بالتجميد والذوبان. Freeze-Thaw Conditioning	102
6-2-2	نزع الماء من الحمأة. Sludge dewatering	102
1-6-2-2	نزع الماء من الحمأة ميكانيكياً. Sludge dewatering Mechanical	103
1-1-6-2-2	المرشّح الإنفراغي. Vacuum filtration	103
2-1-6-2-2	الحزام الراشح الضاغط .Belt filter press	105
1-2-1-6-2-2	المرشّح الحزامي بالانفراغ Vacuum Belt Filters	107
3-1-6-2-2	المكبس المرشّح. Filter press	108
4-1-6-2-2	نزع الماء بالطرد المركزي. Centrifuge dewatering	110
	أجهزة الطرد المركزي بتركيز للمواد صلبة كبير. High-Solids Centrifuge	110
2-6-2-2	نزع الماء من الحمأة بالتبخير الطبيعي. Natural evaporation	110
1-2-6-2-2	أحواض التجفّيف الرملية التقليدية (مفترشات التجفيف الرملية). Conventional drying bed	111
2-2-6-2-2	أحواض التجفّيف المرصوفة. Paved sludge drying bed	114
3-2-6-2-2	برك تجفّيف الحمأة Lagoons .	115
4-2-6-2-2	أسرَّة التجفّيف بمساعدة الإنفراغ. Vacuum-Assisted Drying Beds	116
5-2-6-2-2	أسرَّة تجفيف الحمأة بالطاقة الشمسية (البيوت الزجاجية). Solar Drying Beds	117
6-2-6-2-2	أكياس الجيوتيوب Geotube	118

2-2-6-2-6-1	نزع المياه من الحمأة بالأكياس القماشية.	119
2-2-6-2-7	نزع المياه من الحمأة بواسطة الأراضي الرطبة.(wet lands)	119
2-2-7	نزع المياه كهربائياً Electro-Dewatering EDW	122
2-3	التجفيف والترميد بإستعمال الحرارة. Heat drying and incineration	125
2-3-1.	التجفيف غير المباشر للحمأة. Indirect heat	125
2-3-1-1	المجفّف الشاقولي غير المباشر. (متعدد الطبقات). Vertical indirect dryer	125
2-3-1-2	مجفّف الحمأة الدوار غير المباشر. Rotary sludge dryer	127
2-3-1-3	مجفّف الحمأة ذو الحزام. Sludge Belt Dryer SBD	128
2-3-1-4	إيكو فلاش ECOFLASH - المجفف ذو الطبقة الرقيقة Thin Layer Dryer	130
2-3-1-5	المجفف الأفقي ذو الأقراص المفرغة. Horizontal sludge dryer	132
2-3-2	ترميد الحمأة. Sludge incineration	132
	الأكسدة الحرارية المتقدمة للحمأة. Advanced Thermal Oxidation (ATO)	133
2-3-2-1	الفرن متعدد الطبقات. multiple hearth incineration	135
2-3-2-2	ترميد الحمأة في الفرن ذو السرير المميّع. Fluidized Bed incineration	136
2-3-2-3	الترميد بالأشعة تحت الحمراء. Electric Infrared Incinerators	139
2-3-2-4	ترميد الحمأة المشترك مع النفايات الصلبة البلدية. Coincineration with Municipal solidwaste	139
	الترميد المشترك.	139

	الترميد المشترك مع النفايات الصلبة.	140
	إستعمال الرماد.	141
3-3-2	الأكسدة الرطبة للحمأة.(Wet Air Oxidation (WAO	142
1-3-3-2	الأكسدة الرطبة في الآبار العميقة. Wet air oxidation in Deep shafts	145
4-3-2	أنظمة توليد الطاقة بتغويز الحمأة. Sewage sludge Gasification power generation system	146
5-3-2	الإنحلال/ التحلُّل الحراري للحمأة. Sludge pyrolysis treatment	148
6-3-2	الإنبعاثات الصادرة عن حرق الحمأة. Atmospheric emissions from sludge incinerators	149
1-6-3-2	الروائح. Odors	149
2-6-3-2	التحكُّم في تلوُّث. الهواء Air Pollution Control	150
1-2-6-3-2	التحكُّم في المصدر.	151
2-2-6-3-2	التحكُّم في الإحتراق.	151
3-6-3-2	المواد الصلبة المعلّقة المنطلقة من حرق الحمأة.	152
4-6-3-2	الغازات والأبخرة المنطلقة من حرق الحمأة.	152
5-6-3-2	الرماد المتبقّي بعد عملية حرق حمأة مياه الصرف. Ash	156
6-6-3-2	طرائق معالجة الإنبعاثات من حرق حمأة مياه الصرف.	157
1-6-6-3-2	أمثلة على معالجة الغازات وإسترداد الحرارة في الفرن ذو السرير المميّع.	160
	طريقة الرماد الرطب. Wet Ash System	160
	أنظمة الرماد نصف الرطب. Semi - Dry Ash system	162

4-2	التقليل من إطلاق الفوسفور- إستعادة الفوسفور من الحمأة المهضومة لاهوائياً. Phosphorus reduction and phosphorus recovery from sludge	162
1-4-2	تخفيف تأثير التدفّقات الجانبية. Major potential mitigation measures for side streams	165
2-4-2	العمليات الفيزيائية والكيميائية لإستعادة الفوسفور. Physiochemical processes for phosphorus recovery	165
3-4-2	طرق إستخلاص الفوسفور Processes for recovery of sidestream phosphorus	167
1-3-4-2	طريقة AirPrex® لإستخلاص فوسفات أمونيوم المغنيسيوم (struvite) من الحمأة.	167
2-3-4-2	طريقة Ashdec® لتحويل الفوسفور في الرماد إلى Bio-available $NaCaPO_4$	168
4-4-2	الإتجاهات العالمية المستقبلية لإدارة الحمأة في المانيا كمثال.	170
5-2	الحمأة البرازية. Fecal sludge management	171
	3. إدارة الحمأة الصناعية	**173**
1-3	تعريف الحمأة الناتجة عن معالجة مياه الصرف الصناعي.	174
2-3	خصائص الحمأة الصناعية.	174
3-3	خيارات معالجة الحمأة الصناعية. Sludge Treatment Alternatives	174
1-3-3	تكثّيف الحمأة.	176
1-1-3-3	تكثّيف الحمأة الصناعية بالثقّالة.	176
2-1-3-3	تكثّيف الحمأة الصناعية بالتطويف. DAF	176
3-1-3-3	تكثّيف الحمأة الصناعية بالطرد المركزي. Centrifuge thickening	177

4-1-3-3	تكثّيف الحمأة بواسطة السير المكثف (GBTs) Gravity belt thickening	178
5-1-3-3	مُكثّف البرميل الدوّار. RDT. Rotary drum thickening	178
2-3-3	نزع الماء من الحمأة الصناعية. Dewatering	179
1-2-3-3	نزع الماء من الحمأة الصناعية بالطرد المركزي.	179
2-2-3-3	الحزام الراشح الضاغط. Belt filter press	179
3-2-3-3	المُرشح المكبسي. Filter press	179
4-2-3-3	المكبس اللولبي ذو الاقراص (الحلقات). Multi-disc screw press	182
5-2-3-3	المرشح الإنفراغي. Vacuum filtration	184
6-2-3-3	مرشح الحاوية. Container filter	186
7-2-3-3	أكياس الجيوتكستايل. Geotextile	187
3-3-3	تجفيف الحمأة الصناعية.	188
1-3-3-3	أحواض/ أسرَّة التجفيف الرملية التقليدية. Drying bed	188
2-3-3-3	برك تجفيف الحمأة. Lagoons	189
3-3-3-3	أَسرَّة التجفيف بمساعدة الإنفراغ. Vacuum-Assisted Drying Beds	189
4-3-3-3	التجفيف الحراري وحرق الحمأة الصناعية.	189
5-3-3-3	أسمدة الحمأة الصناعية. Composting	190
	4. التخلص من الحمأة، تطبيق الحمأة على الأراضي، الطمر.	193
1-4	مقدمة.	194
2-4	تعريف تطبيق الحمأة على الأراضي. Land Application of sludge	195

3-4	تزايد الطلب على الحمأة المعالجة لإعادة إستعمالها في التربة.	196
4-4	محتويات حمأة مياه الصرف من المعادن والمغذّيات.	200
5-4	تصنيف الحمأة المعروفة عالمياً.	203
1-5-4	USEPA وكالة حماية البيئية الامريكية.	204
2-5-4	توجيهات الإتحاد الاوربي Directive 86/278/EEC وتحديثاته.	209
6-4	الإستفادة من الحمأة في التطبيق على الأراضي. Utilizing Treated Sludge for Land Application	220
1-6-4	محتويات حمأة مياه الصرف المعدة للتطبيق. Contents of sludge intended for application	222
2-6-4	تقييم المخاطر Risk assessment	223
3-6-4	مسببات الأمراض في حمأة مياه الصرف. Pathogens	224
1-3-6-4	ماهي مسببات الامراض. What are the pathogens	226
2-3-6-4	المعالجات المقترحة لتقليل مسببات الأمراض في الحمأة. Pathogen reduction	228
4-6-4	الحقن العميق والحراثة. Deep injection and plough down	229
5-6-4	التحاليل المخبرية المطلوب إجراؤها على حمأة مياه الصرف.	229
6-6-4	موقع أخذ العينات. Sludge sampling	231
7-6-4	تكرار مراقبة التلوث والعناصر الممرضة في الحمأة المطبقة.	231
8-6-4	عينات التربة في موقع التطبيق وتكرار أخذ العينات.	232
1-8-6-4	أخذ العينات في المناطق المطلوب استصلاحها أو إعادة تأهيلها.	232
2-8-6-4	التحاليل المخبرية المطلوبة للتربة. Analytical Requirements for Soil Samples	233
9-6-4	متطلبات إستعمال الحمأة على الأراضي / التصريح	233

10-6-4	شروط إختيار موقع تطبيق الحمأة.	234
11-6-4	تطبيق الحمأة في الأراضي القاحلة. Arid lands	237
12-6-4	شروط الموقع ومسافات الفصل. Siting and Site Restrictions	238
13-6-4	القيود المفروضة على زراعة وحصاد المحاصيل بعد تطبيق الحمأة.	239
14-6-4	المراقبة المطلوبة قبل وأثناء التطبيق. Monitoring Requirements	240
15-6-4	عمليات الحمأة الأولية، النقل، التخزين. Primary sludge processes , transportation, storage	240
16-6-4	تخزين الحمأة Sludge storage .	243
17-6-4	الإحتياجات الغذائية للمحاصيل.	245
18-6-4	الحدود المسموحة للتلوّث في حمأة مياه الصرف المطبقة على الأراضي.	246
1-18-6-4	العناصر النزرة والمعادن الثقيلة. Trace Elements and Heavy Metals	247
2-18-6-4	المركبات العضوية السامّة في الحمأة. Toxic organic compounds	250
19-6-4	طرق تطبيق الحمأة على الأراضي. Land Application of sludge (Biosolids)	250
1-19-6-4	كيفية تطبيق الحمأة السائلة على الأراضي.	252
2-19-6-4	كيفية تطبيق الحمأة منزوعة الماء على الأراضي.	253
3-19-6-4	إصلاح الأراضي وتحسين نوعيتها.	254
1-3-19-6-4	التطبيق على الأراضي المضطربة. Disturbed land	254
20-6-4	مواصفات مطلوبة للحمأة المعدة للتطبيق على الأراضي.	255

21-6-4	إجراءات تحديد معدل تطبيق الحمأة (المواد الصلبة الحيوية). Procedures For Determining Biosolids Application Rate	255
1-21-6-4	تصميم معدلات التحميل. Design Loading Rates	255
22-6-4	تطبيق حمأة مياه الصرف في الوطن العربي. Sludge Application in the arabic country	259
7-4	التخلص من الحمأة في المطامر. Landfill sludge disposal	262
1-7-4	الشروط المطلوبة لطمر الحمأة.	264
2-7-4	طمر الحمأة إذا كانت غير مناسبة للتطبيق على الأراضي.	265
3-7-4	أنواع مطامر الحمأة Types of landfills for sludge disposal	267
1-3-7-4	مطامر النفايات الحصرية أو الأحادية. Exclusive landfills or monofills	267
2-3-7-4	التخلص المشترك مع النفايات الصلبة البلدية. Co-disposal with municipal solid wastes	269
4-7-4	عناصر التصميم الأساسية. Basic design elements	269
5-7-4	نفاذية سرير المطامر. Permeability of landfill bed	272
6-7-4	أنظمة جمع الرشّاحة. Leachate collection system	273
7-7-4	العاصفة المطرية. Stormwater drainage system	273
8-7-4	نظام جمع الغاز. Gas collection system	273
9-7-4	معالجة الرشاحة. Leachate treatment	274
10-7-4	مراقبة مطامر النفايات. Landfill monitoring	274
1-10-7-4	تواتر المراقبة. Monitoring frequency	275
8-4	الطريقة الأرضية غير المقيّدة. Landfarming	275

9-4	القضايا الحساسة في تطبيق الحمأة والإحتياطات.	277
	المراجع / References	279
	الملحق (1) الكشف الأولي على موقع تطبيق الحمأة.	284
	الملحق (2) ملخص لمواقع وكميات تطبيق الحمأة.	285
	الملحق (3)المياه الجوفية في منطقة تطبيق الحمأة.	285
	الملحق (4) كمية النتروجين اللازمة لبعض المحاصيل.	286
	الملحق (5) الملوثات ذات الأولوية. من EPA	287
	الملحق (6) الحد الأدنى المقترح للمسافات العازلة عن وحدات المعالجة لإحتواء الرائحة.	289
	الملحق (7) دليل توجيهي لقيم المواد الكيميائية الهامة للصحة في مياه الشرب. (WHO)	290

Abbreviations /الاختصارات

VSS	volatile suspended solid المواد الصلبة المعلقة المتطايرة.
RDT	Rotary drum thickening مكثف البرميل الدوَّار.
SRT	sludge retention time عمر الحمأة.
COD	Chemical oxygen demand الإحتياج الاوكسجيني اللازم للأكسدة الكيميائية.
BOD, BOD_5	Biochemical oxygen demand الإحتياج الأوكسجيني اللازم للأكسدة البيولوجية.
AS	Activated sludge الحمأة المنشطة.
PAM	Cationic polyacrylamide
TH	Thermal hydrolysis (الحلمه الحرارية) التحلل المائي الحراري
WAS	Waste activated sludge حمأة منشّطة مصرّفة.
AD	Anaerobic digestion الهضم اللاهوائي.
WAO	Wet Air Oxidation الأكسدة الرطبة للحمأة.
ATO	Advanced Thermal Oxidation الأكسدة الحرارية المتقدمة للحمأة.
SBD	Sludge Belt Dryer مجفف الحمأة ذو الحزام.
RSD	Rotary sludge dryer مجفف الحمأة الدوار غير المباشر.
atm pressure	Atmospheric pressure الضغط الجوي.

syngas	الغاز الاصطناعي synthesis gas.
WESP	المرسّب الكهروستاتيكي الرطب Wet Electrostatic Precipitators.
DM	المادة الصلبة الجافة Dry matter, or dry solids, or total solids.
DS	المواد الصلبة الجافة Dry solids, dry matter, total solids.
FSM	إدارة الحمأة البرازية Fecal sludge management.
GBTs	المكثف بالحزام Gravity belt thickening.
FOG	الدهون والزيوت الشحوم Fat & Oil & Grease.
DAF	التطويف بالهواء المنحل Dissolved air flotation.
tDS	طن مواد صلبة جافة Ton of Dry Sludge.
kt	Kilotonne (10^9 g)
PFRP	Processes to further reduce pathogens عمليات لتقليل مسببات الأمراض بشكل أكبر.
PSRP	Processes to significantly reduce pathogens عمليات لتقليل مسببات الأمراض بشكل ملحوظ.
CFU	colony forming unit.
MPN	الرقم الأكثر احتمالاً most probable number.
MPCN	most probable cytopathic number.

ND	.not detected
PTE	Potentially toxic elements; refers to heavy metals العناصر السامة المحتملة، تشير إلى المعادن الثقيلة.
FAO	Food and Agriculture Organization منظمة الزراعة والأغذية (الفاو).
LAS	.Linear alkylbenzene sulfonate
AOX	Absorbable organic halogen هالوجين عضوي قابل للامتصاص.
DEHP	.di(2-ethylhexyl) phthalate
Mt	Million tonnes مليون طن.
pe	population equivalent المكافئ السكاني.
PC pump	Progressive cavity pump المضخَّة ذات الحركة التقدّمية.

دليل
الإدارة البيئية لحمأة مياه الصرف
والتخلص منها في الزراعة والمطامر

مقدمـة

الحمأة في اللغة هي «الطِّينُ الأسْوَدُ الْمُنْتِنُ الْمُتَغَيِّر». وحين يقال «حمأ البئرَ»، يعني أخرج طينَه الأسود المُنتن. وحمأة مياه الصرف، هي المادة شبه الصلبة والمُتبقية منِ عملية معالجة مياه الصرف للمياه العادمة الناتجة عن القطاع الصناعي أو مياه الصرف المنزلي، والتي يتم إنتاجها كمنتج ثانوي.

تُنتج المدن في جميع أنحاء العالم ما يقرب من 40 - 50 مليون طن سنوياً (مواد صلبة جافة) من حمأة مياه الصرف. وقد استخدم 39% من سكان العالم خدمة صرف صحي مُدارة بأمان في العام 2015، بيد أن 27% من سكان العالم قاموا باستخدام مرافق متصلة بمجاري الصرف الصحي التي تؤدي إلى محطات معالجة مياه الصرف. (منظمة الصحة العالمية، واليونيسيف 2017). ومن المتوقع أن تزيد هذه القيمة على مستوى العالم بحلول عام 2050.

إن للحمأة الناتجة عن محطات معالجة مياه الصرف المنزلية، وبعض أنواع الحمأة الصناعية التي خضعت للمعالجة، خصائص زراعية قيمة، إذ أنه عند إضافة هذه الحمأة إلى التربة ستكون هناك فائدة كبيرة للنباتات والتربة، لأنها:

- تحتوي على تراكيز مفيدة من النيتروجين والفوسفور والمواد العضوية، فهي تحسن النبات، كما أنها يمكن أن تكون ذات فائدة خاصة للأراضي العشبية.
- تحسن التربة بزيادة قدرتها على حجز الماء، وخاصة عند تطبيق الحمأة منزوعة الماء على الأرض، حيث يؤدي ذلك إلى تحسين بنية التربة، ويحول التربة الثقيلة إلى أرض بذار جيدة.
- كما أنها تقلل من حت وتعرية التربة.

لذلك كان من المنطقي تشجيع تطبيق الحمأة في الزراعة شريطة استخدامها بالشكل الصحيح، ودون أن يؤدي ذلك إلى إضعاف جودة التربة، وجودة وسلامة المنتجات الزراعية.

ومثلما أن هنالك فوائد كبيرة من تطبيق الحمأة المعالجة على التربة، هنالك كذلك مخاطر صحية وزراعية وبيئية، حيث أن إضافة الملوثات، ومسببات الأمراض، والمواد العضوية الخطرة، والمعادن الثقيلة، وبقايا الهرمونات، والأدوية، وألياف البلاستيك إلى التربة (وقد كثرت الدراسات عن أضرارها للتربة) ستؤثر سلباً على صحة الإنسان والحيوان، ونوعية التربة، ونمو النبات، وكذا على الكائنات الحية في التربة، ونوعية المياه السطحية والجوفية.

فمثلاً قد تكون المعادن الثقيلة الموجودة في الحمأة سامة للنباتات وللإنسان، من خلال تواجدها في المحاصيل، وتراكمها في بعض النباتات، ومن ثم تراكمها في أنسجة الحيوانات، لتدخل جسم الإنسان، وتتراكم محدثة الأمراض، لذا يجب وضع قيم حدية إلزامية لهذه العناصر في التربة، وحظر استخدامها عندما يتجاوز تركيز هذه المعادن في التربة هذه القيم.

وبالإضافة إلى ذلك فيمكن للنتروجين N والفوسفور P الموجودين في الحمأة (كما هو الحال في أي مصدر للأسمدة) أن يصلا إلى المياه الجوفية والمياه السطحية في حال الإفراط في تطبيق الحمأة، أو بشكل غير صحيح. وعادة ما تتم معالجة هذه المخاطر من خلال الدراسات والتعليمات الصادرة عن الجهات البيئية، ووضع الحدود والضوابط اللازمة للتعامل مع حمأة مياه الصرف.

وفي هذا الدليل سنتناول كذلك موضوع إدارة الحمأة الصناعية الناتجة عن معالجة مياه الصرف الصناعي والزراعي والصناعات الزراعية.

الهدف من الدليل:

تم إعداد هذا الدليل لتوفير فهم عام للمبادئ الأساسية لإدارة الحمأة، بما في ذلك تعاريف حمأة مياه الصرف، وطرق معالجتها وضوابط طمرها أو تطبيقها على الأراضي، بجانب بيان مدى مسؤولية مطبقي الحمأة على الأراضي، وتزويد منتجي الحمأة وكذلك مستخدمي الأراضي بالإرشادات الكافية من خلال الاطلاع على أهم المعايير العالمية، للامتثال الكامل لجميع متطلبات حماية البيئة.

كما يهدف هذا الدليل إلى دعم الطرق العلمية للاستفادة من الحمأة البلدية والصناعية، وتطوير أساليب النقل والمعالجة والتخلص الآمن من هذا النوع من المخلفات، بالإضافة إلى تسهيل تطبيق معايير الصحة والسلامة المهنية المتعلقة بنقل الحمأة وطرق التعامل معها، فضلاً عن التوعية بكيفية الاستفادة من الحمأة بدلاً من دفنها وعدم توظيفها.

محتوى الدليل

1- الفصل الاول.

يتضمن الفصل الأول معلومات عامة عن الحمأة، وأنواعها، وكمياتها، ومواصفاتها الفيزيائية والكيميائية في كافة المراحل. حيث نجد فيه تعريف الحمأة، وكميتها، وخصائصها، ومصادر إنتاجها، مثل حمأة أحواض الترسيب الأولي، أو حمأة أحواض الترسيب الثنائية.

كما يتضمن هذا الفصل أنواع المضخّات المستخدمة في نقل الحمأة، مثل المضخّة المكبسية، والمضخّة ذات التجويف المستمر progressive cavity، وكذلك المضخّات ذات الطرد المركزي المختلفة مثل المضخّة التي لا تُسَد (non clog pump) والمضخّة ذات السكاكينChopper sludge pump ، والمضخَّات اللولبيةScrew pumps . بجانب أنواع المضخّات ذات الحجاب (الغشائية)، والمضخّة ذات الفصوص الدوارة Rotary- lobe pump.. الخ.

2- الفصل الثاني.

في هذا الفصل شرح للطرائق المختلفة لمعالجة الحمأة، وتحويلها من حمأة سائلة إلى منتج قابل للإستعمال كسماد زراعي، أو طمرها، أو حرقها، أو الإستفادة من مكوناتها في أعمال أخرى. إذ يشرح الفصل الطرائق العامة التالية:

تكثّيف الحمأة sludge thickening.

يشرح الفصل هدف تكثيف الحمأة مثل، تقليل حجم الحمأة وزيادة تركيز المواد الصلبة ليسهل التعامل معها بالنسبة لأعمال الضخ والهضم ونزع الماء، وتقليل حجم المنشآت المعنية. ومن هذه الطرق المتبعة، التكثيف بالثقالة (أي بالجاذبية)، أو بالتطويف DAF، أو بواسطة المكثّف النابذ (جهاز الطرد المركزي)، أو بواسطة السير المكثّف Gravity belt thickening، أو بمكثّف البرميل الدوّار مع حلزون Screw thickener، أو بواسطة مكثف البرميل الدوار RDT Rotary drum thickening .

تثبيت الحمأة Sludge stabilization.

يشرح الفصل طرق تثبيت الحمأة المختلفة بهدف تثبيت المواد العضوية، والقضاء على العوامل المُمْرِضة، وعلى الرائحة، ومنع تعفُّن الحمأة. حيث يؤدي التثبيت إلى تقليل الحجم، وإنتاج غاز الميثان الذي يصلح للاستخدام، بجانب تحسين قابلية نزع المياه من الحمأة. وهناك شرح لأشهر الطرق المتبعة في تثبيت الحمأة وهي الهضم الهوائي، والهضم اللاهوائي، والهضم اللاهوائي بمفاعل ثيرموفيلك، والهضم المزدوج، وهضم الحمأة بطريقة ATAD، والإسماد composting، والتثبيت بالكلس، أو باستعمال مواد قلوية أخرى.

تكيّيف الحمأة Sludge conditioning.

يستعرض الفصل الثاني التكيّيف الكيميائي والتكيّيف الفيزيائي للحمأة، حيث يعمل التكييف الكيميائي على تشكل الندف في الحمأة والمواد الصلبة الحيوية لتحقيق فصل فعّال بين السائل والصلب. ويستخدم التكييف الكيميائي مواد كيميائية غير عضوية وبوليمرات عضوية قابلة للذوبان في الماء. يمكن أن تزيد نسبة المواد الصلبة الجافة حتى 30% . أما الطرق المتبعة في التكيّيف الفيزيائي فهي الحرارة (التحلُّل الحراري)، والموجات فوق الصوتية، والتسخين المسبق، وغيره.

نزع الماء من الحمأة Sludge dewatering.

نزع الماء من الحمأة هي عملية فيزيائية الغرض منها إنقاص رطوبة الحمأة. حيث يتم نزع الماء بطرق ميكانيكية أو بالتبخير الطبيعي Natural evaporation. في الطرق الميكانيكية تستخدم المرشّحات الإنفراغية Vac-uum filtration، أو الحزام الراشح الضاغط Belt filter press، أو المرشح الحزامي بالإنفراغ Vacuum Belt Filters، أو المكبس المرشحFilter press، أو الطرد المركزي Centrifuge dewatering.

- في التبخير الطبيعي للحمأة نستخدم أحواض التجفيف الرملية التقليدية، أو برك تجفيف الحمأة Lagoons ، أو أسرّة التجفيف بمساعدة الإنفراغ

Vacuum Assisted Drying Beds، أو البيوت الزجاجية، أو بواسطة الأراضي الرطبة wetland، أو بنزع المياه كهربائياً، وغيرها من طرق التجفيف المتبعة.

- ويحوي الفصل فقرة عن التجفيف والترميد بإستعمال الحرارة-Heat dry ing and incineration بطريقة غير مباشرة مثل مجفف الحمأة الدوّار Rotary sludge dryer ، أو بواسطة الايكو فلاش ECOFLASH. أو بطرق مباشرة، مثل الفرن متعدّد الطبقات Multiple hearth incineration، أو ترميد الحمأة في الفرن ذي السرير المميع Fluidized Bed incineration، أو الترميد بالأشعة تحت الحمراء Electric Infrared Incinerators، أو الترميد المشترك مع النفايات الصلبة البلدية.
- كما يتضمن الفصل فكرة عن الأكسدة الرطبة للحمأة (WAO, Wet Air Oxidation)، وأنظمة تغويز الحمأة sludge Gasification، والتحلُّل الحراري للحمأة Sludge pyrolysis treatmen .
- ويتضمن شرح الإنبعاثات الصادرة عن حرق الحمأة من غازات وروائح، وطرق معالجتها والتحكم فيها، وإدارة الرماد الناتج عن عمليات الحرق، مع إيراد أمثلة عن استرداد الطاقة من عمليات الحرق.
- ويتضمن الفصل معلومات هامة عن إسترداد الفوسفور من الحمأة المهضومة لاهوائياً، وطرق الاسترداد كيمائياً، بجانب ذكر استرداد الفوسفور من الرماد الناتج عن حرق الحمأة.

3. الفصل الثالث.

يتضمن الفصل الثالث تعريف وخصائص الحمأة الناتجة عن معالجة مياه الصرف الصناعي، وخيارات معالجتها، والتي قد تشمل التكثيف، التثبيت، التكيّيف، نزع الماء، التجفيف الحراري.. الخ. ويشرح الفصل بعض النقاط الهامة اللازمة لمعالجة الحمأة الصناعية مع شرح موسّع، مثل المكبس اللولبي ذو الأقراص (الحلقات) Multi-disc screw press، والتطويف بالهواء المنحل DAF.

4. الفصل الرابع.

تضمن الفصل الرابع، التخلُّص من الحمأة، وتطبيق الحمأة على الأراضي والطمر. ويُعرف تطبيق الحمأة على الأراضي Land Application of sludge بأنه عملية نشر أو توزيع الحمأة المتولدة من عمليات معالجة مياه الصرف على سطح التربة، أو تحت التربة لأغراض مختلفة. ويمكن تطبيق الحمأة المعالجة في الأراضي الزراعية، أو أراضي الغابات، أو المُسخرة لعمل معين، أو في مواقع مخصّصة للتخلص من الحمأة (المطامر).

ويركز الفصل على تصانيف الحمأة المعروفة عالمياً من أجل التطبيق على الأراضي، مثل وكالة حماية البيئية الامريكية USEPA وتوجيهات الإتحاد الأوربي Directive 86/278/EEC.

ويبين الفصل طرق استعمال الحمأة على الأراضي، والشروط الواجب إتباعها في التطبيق، وضبط كمية التسميد المسموح به، وإتباع لوائح التطبيق القائمة على كمية الطلب على الفوسفور والنيتروجين، وحدود المعادن، وكمية العوامل الممرضة في الحمأة المعدّة للتطبيق.

ويشرح الفصل الاستخدام الآمن لتطبيق الحمأة على الأراضي، وخصوصاً على الأراضي الزراعية، ويقدم شرحاً لكيفية إعداد الدراسة الشاملة لنوعية الحمأة، وأخذ العينات من الحمأة والتربة، ونقل الحمأة وتخزينها، ونوعية التربة، ونوعية المحاصيل المستهدفه، وحاجتها من المغذيات، وطرق التطبيق على الأراضي، وطرق الحماية من التلوّث الممكن حدوثه، والناتج عن هذه العمليات، والمراقبة المستمرة، وطرق حساب كميات الحمأة اللازمة للأراضي وإحتياج المحاصيل.

وأخيراً يتضمن الفصل التخلص من الحمأة في المطامر Landfill sludge disposal، وشروط الطمر، وأنواع المطامر، ومواصفات الرشّاحة الناتجة، والتخلص المشترك من النفايات الصلبة البلدية، ومواصفات المطامر، وكيفية حساب المساحة اللازمة للطمر، وكيفية مراقبة المطامر.

بعض التعاريف الهامة:

المواد الصلبة العضوية (أو الحيوية) Biosolids

تم طرح مصطلح المواد الصلبة العضوية في أوائل التسعينيات، للمساعدة في التمييز بين الحمأة المنتجة من معالجة مياه الصرف، والحمأة التي تمت معالجتها واعتُبرت مناسبة للاستخدام على الأرض. وأنها مواد عضوية غنية بالمغذيات نتيجة سلسلة من عمليات المعالجة على الحمأة، [EPA],[1].

وبشكل آخر :

- **المواد الصلبة الحيوية Biosolids**

هي نتاج عملية معالجة مياه الصرف، فأثناء المعالجة يتم فصل السوائل عن المواد الصلبة، ويتم بعد ذلك معالجة هذه المواد الصلبة فيزيائياً وكيميائياً لإنتاج منتج شبه صلب وغني بالمغذيات يُعرَف بإسم المواد الصلبة الحيوية، Biosolids.

غالباً ما يتم استخدام المصطلحين المواد الصلبة الحيوية وحمأة مياه الصرف بالتبادل. [EPA. Basic Information about Biosolids]

- **تكثيف الحمأة Sludge thickening**

هو تقليل حجم الحمأة وزيادة تركيز المواد الصلبة فيها، ليسهل التعامل معها بالنسبة لأعمال الضخ والهضم ونزع الماء، وتقليل حجم المنشآت التي تُستخدم لذلك.

- **تثبيت الحمأة Sludge stabilization**

هو عملية معالجة تهدف إلى تقليل المحتوى العضوي للحمأة عن طريق تثبيتها، وبالتالي القضاء على العوامل الممرضة وعلى الرائحة ومنع تعفُّنها. ويمكن أن يؤدي التثبيت إلى تقليل الحجم، وإنتاج غاز صالح للاستخدام (methane)، وتحسين قابلية نزع المياه من الحمأة. والطرق المتبعة هنا

هي الهضم اللاهوائي والهوائي، أو الكيميائي، أو الأسمدة composting، إضافة لطرق أخرى عديدة.

- **تكيِّيف الحمأة Sludge conditioning**

تكيِّيف الحمأة هو عملية المعالجة التي تعمل على تحسين خصائص الحمأة، وذلك لتحسين أداءها، ولتعزيز فصل الماء عن الجسيمات الصلبة. وتتم بطرق كيميائية أو فيزيائية، وتتم عملية تكيّيف الحمأة قبل عملية نزع الماء. ويؤدي التكيّيف الكيميائي إلى تشكُّل النّدف (تكتُّل) في الحمأة والمواد الصلبة الحيوية لتحقيق فصل فعاّل بين السائل والصلب. أما في التكيّيف الفيزيائي، فتستعمل عدة طرق، ومن أشهرها التكيّيف الحراري، الإهتزازات فوق الصوتية، التسخين المسبق وغيره.

- **سوائل خزانات التحلُّل Domestic septage**

هي المادة السائلة أو الصلبة التي تتم إزالتها من خزانات التحلُّل المنزلي، أو المراحيض المتنقلة، أو المحمولة، أو خزانات مياه الصرف في السفن، أو أي نظام مماثل يتلقى فقط مياه الصرف المنزلي، [EPA 503].

ملاحظة: إن الحمأة الناتجة عن أمهوف أو خزانات التحلُّل (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 ناتجة عن الصرف المنزلي [3].

- **معدّل تحميل الملوّثات السنوي**

هو الحد الأقصى لكمية الملوّث الذي يمكن تطبيقه على مساحة من الأرض خلال فترة 365 يوماً.

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

يُعرَّف (تطبيق) إستعمال الحمأة على الأراضي بأنه عملية رش الحمأة

السائلة أو السقاية بالحمأة أو حقنها [4] أو نشرها [3]، ويشمل ذلك أي مادة مشتقّة من الحمأة. على سبيل المثال الحمأة الخاضعة لعملية الأسمدة (الكومبوست)، الحمأة المهضومة المجفّفة، وكذا الحمأة السائلة، والحمأة المهضومة المكثفة..الخ، إن كان ذلك على سطح الأرض أو داخل التربة، من أجل تحسين خصائص وبنية التربة. كما يتم استخدام الحمأة كسماد من أجل المحاصيل الغذائية وغير الغذائية كالورود وغيرها من الزراعات، [3].

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 والحدائق المنزلية.

وكذلك تستعمل الحمأة في الأراضي التي تقع قرب معامل الاسمنت، والمناجم، .. حيث تكون ركيزة التربة قد إختفت أو تغيَّرت، إذ يمكن من خلال هذا التطبيق الحفاظ على الغطاء النباتي، أو إعادة تأسيس الغطاء النباتي الأساسي. ويتم ذلك بتطبيق الحمأة مرةً واحدة ومن ثمّ يتم زراعتها.

التخلُّص من الحمأة على سطح الأرض Landfarming

وهي طريقة معروفة للتخلُّص من حمأة مياه الصرف، حيث يتم وضع الحمأة على سطح الأرض بغرض التخلُّص منها، و تشبه هذه الطريقة استخدام وتطبيق الحمأة على الأراضي، إلا أن الفرق الرئيسي بين الاثنين هو أنه في حالة التخلُّص على السطح تكون الغاية بغرض التخلُّص النهائي من الحمأة دون إعتبار لخصائص تحسين التربة [3].

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

وهي عناصر مغذّية ضرورية لنمو النبات بتراكيز منخفضة، ولكن يمكن أن تكون كل هذه العناصر سامة للإنسان أو للحيوانات أو النباتات اذا كانت تراكيزها عالية. وتتضمن الأخطار المحتملة، بتراكم المعادن الثقيلة Accumu-

lation في التربة وقدرتها على التسبب في السميّة النباتية (أي ضرر للنباتات)، أو زيادة تركيز المواد الخطرة المحتملة في السلسلة الغذائية.

- **العناصر النزرة:**

وتشمل الألومنيوم (Al)، والبريليوم (Be)، والكوبالت (Co)، والفلورايد(F)، والحديد(Fe)، والليثيوم(Li)، والمنغنيز(Mn)، والموليبديوم(Mo)، والسيلينيوم (SE)، والقصدير (Sn)، تيتانيوم (Ti) ، Tungsten (W)، Vanadium (V) [5 , FAO] .

- **المعادن الثقيلة:**

هي مجموعة خاصة من العناصر النزرة التي ثبت أنها تسبب 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 5 غ / سم ^{3}. [5, FAO].

<u>وسندعو مجازاً المجموعتين بالمعادن الثقيلة.</u>

- **الكائنات الممرضة Pathogens**

هي الكائنات الحيّة المسببة للأمراض، وتشمل البكتيريا والفيروسات والبروتوزوا والديدان الطفيلية...الخ، ويمكن لمسببات الأمراض هذي أن تشكل خطراً على الصحة العامة، إذا تم نقلها إلى المحاصيل الغذائية التي تزرع في الأراضي التي يتم فيها إستعمال الحمأة كمخصّب، وخصوصاً عند هطول الأمطار وجريان المياه السطحية من مواقع الإستعمال، وقد يتم نقل الحمأة بعيداً عن موقع الاستخدام بواسطة الحشرات والقوارض والطيور [6].

- **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)، و S و B و Cu و Fe و Mn و Mo و Zn. ويمكن أن تتباين التراكيز في الحمأة

تبايناً كبيراً، ولذلك، يجب تحليل الحمأة التي يراد تطبيقها على الأرض.

- محاصيل الأعلاف Feed crops animals هي محاصيل يتم إنتاجها بشكل أساسي لاستهلاك الحيوانات.
- محاصيل الألياف Fiber crops هي محاصيل مثل الكتان والقطن.
- المحاصيل الغذائية Food crops هي محاصيل يستهلكها البشر، وتشمل على سبيل المثال لا الحصر الفواكه والخضروات والتبغ....
- نظام تجميع المادة الراشحة Leachate collection system هو نظام أو جهاز يتم تركيبه مباشرة فوق البطانة التي تقوم بجمع المادة الراشحة وإزالتها أثناء تسربها عبر موقع التخلص [EPA 503].

- **الحمأة الصناعية**

هي المواد الصلبة المتكونة بعد معالجة مياه الصرف الصناعي. تحتوي مياه الصرف الصناعي بشكل عام على كمية كبيرة من الملوثات العضوية وغير العضوية بتراكيز مختلفة. وتشمل في بعض الأحيان مواد خطرة أخرى، بالإضافة إلى مكونات غير قابلة للتحلُّل.

- **مياه الصرف المنزلية Domestic wastewater**

وهي مياه الصرف التي يتم تصريفها من المغاسل أو الأجهزة المنزلية الأخرى كالمراحيض وأحواض الاستحمام ومرافق غسيل الملابس، ومرافق غسيل الأطباق والتخلص من القمامة.

قد تشمل مياه الصرف المنزلية، مياه الصرف من المباني التجارية، ومتاجر البيع بالتجزئة، وبعض المطاعم، أو من المنشآت الصناعية حيث يتم فصل مياه الصرف المنزلي عن مياه الصرف الصناعي. وقد تشمل مياه الصرف المنزلية كذلك التخلص العرضي من خزان المركبات الترفيهية RV.

لا تشمل مياه الصرف المنزلية مياه الصرف الناتجة عن العمليات الصناعية.

- **مياه الصرف، والمعروفة أيضاً باسم مياه المجاري**

(also known as sewage،Wastewater) [7]

مياه الصرف تشمل مياه الصرف المنزلية، ومياه الصرف الصناعي، وجريان العواصف المطرية، وتسرب المياه الجوفية.

إن مياه الصرف هي في الأساس تدفق المياه المستخدمة في المجتمع -com munity.

- **TSP:** إجمالي الجسيمات العالقة في الهواء، جميع الجسيمات التي أقل من 50-100 µm (ميكرومتر).

1. **PM10:** جسيمات في الهواء قابلة للاستنشاق، يقل قطرها عن 10 ميكرومتر (diameter <10 µm)، تخترق الأنف عن طريق التنفس، وأكبر من هذا القطر تدعى الجسيمات الخشنة . coarse particles
2. **PM2.5:** «الجزء الناعم من الجسيمات التي في الهواء»، القطر <2.5 ميكرومتر،(diameter <2.5 µm) تخترق الرئتين.
3. **ultrafine particles:** تسمى الجسيمات الموجودة في الجزء الناعم والأصغر من 0.1 ميكرومتر بالجسيمات متناهية الصغر.

1

خصائص
حمأة محطات معالجة مياه الصرف

1. معلومات عامة عن حمأة محطات معالجة مياه الصرف

1-1. تعريف حمأة محطات معالجة مياه الصرف Definition of waste-water 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 Domestic wastewate أو كانت من الصرف waste-water عموماً [7] و[4]، وكذلك يمكن أن تكون الحمأة صناعية ناتجة عن معالجة مياه الصرف الصناعي أو الصرف الزراعي.

(توفر العديد من طرق المعالجة البيولوجية والفيزيائية والكيميائية إمكانية معالجة مياه الصرف الزراعي).

و تتناول المعالجة 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 تحدّد نجاح محطة المعالجة.

(تتراوح كمية المواد الصلبة الكلية الناتجة بين 0,25% إلى 12% وزناً وذلك حسب طريقة المعالجة والحمولات في مياه الصرف) [4].

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

تعتمد كمية ونوعية الحمأة على نوعية مياه الصرف (المصدر) وطريقة المعالجة المتبعة، ففي إحصائية واسعة شملت (12750 محطة معالجة صرف منزلي) لمعرفة كمية الحمأة الجافة للشخص الواحد في دولة كالولايات المتحدة، وُجد أن الشخص ينتج 21 كغ/عام (57.5غرام/يوم) مواد صلبة عضوية (biosolids) (Federal Register USA) وفي دراسة أخرى (إدارة الحمأة ir.Sveen-stra) وEPA أوضحوا أن الشخص ينتج كمية من 30 - 40 ليتر حمأة في العام، بتركيز من 5 - 10% الجدول (1-2-1)

ملاحظة: الوزن النوعي للحمأة وسطياً (1.02 - 1.05)، وللمواد الصلبة في الحمأة (1.2- 1.45)، وللمواد الصلبة للحمأة مع مواد كيميائية (1.28- 1.9)،

كما تبلغ كثافة الحمأة الجافة (1300 - 1500) كغ/م^3.

وتتضمن دراسة خصائص الحمأة المواد الصلبة الكلية، المواد الصلبة العضوية (قابلة للتطاير)، والمغذيات وPH، الكائنات الممرضة، المعادن، المواد العضوية الكيميائية، والملوثات الخطرة. الجدول (1-2-2) يعطي أنواع الحمأة في أنظمة المعالجة المختلفة.

الجدول (1-2-1) كمية الحمأة المتولدة، ومحتوى المواد الصلبة، والقدرة على المعالجة، لبعض أنواع الحمأة

EPA, WEF and ASCE (1991)

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

الجدول (1-2-2) خصائص وكميات الحمأة المنتجة في أنظمة معالجة مياه الصرف المختلفة [EPA], [8]

Wastewater treatment system نظام المعالجة	Characteristics of the sludge produced and wasted from the liquid phase (directed to the sludge treat-(ment stage خصائص الحمأة المنتجة السائلة قبل المعالجة			
	kgSS/ kgCOD applied	Dry solids Content % محتوى المادة الصلبة	Mass of sludge (gSS/ (inhabitant.d (a) غ/شخص. يوم	Volume of sludge (L/ (inhabitant.d (b) ليتر/شخص.يوم
حمأة أولية Primary treatment (conventional)	0.35-0.45	2-6	35-45	0.6-2.2
أولية خزانات تحلّل Primary treatment (septic tanks)	0.20-0.30	3-6	20-30	0.3-1.0
Facultative pond برك إختيارية	0.12-0.32	5-15	12-32	0.1-0.25
Anaerobic pond - facultative pond Anaerobic pond - برك لا هوائية Facultative pond - برك إختيارية Total - مجموع	 0.20-0.45 0.06-0.10 0.26-0.55	 15-20 7-12 -	 20-45 6-10 26-55	 0.1-0.3 0.05-0.15 0.15-0.45
Facultative aerated lagoon برك مُهوّاة إختيارية	0.08-0.13	6-10	8-13	0.08-0.22
Complete-mix aerated sedim. Pond مزج كامل	0.11-0.13	5-8	11-13	0.15-0.25
Septic tank + anaerobic filter Septic tank -خزان تحلّل Anaerobic filter - فلتر لاهوائي Total - مجموع	 0.20-0.30 0.07-0.09 0.27-0.39	 3-6 0.5-4.0 1.4-5.4	 20-30 7-9 27-39	 0.3-1.0 0.2-1.8 0.5-2.8
Conventional activated sludge **منشطة تقليدية** Primary sludge -أولية Secondary sludge -ثنائية Total	 0.35-0.45 0.25-0.35 0.60-0.80	 2-6 0.6-1 1-2	 35-45 25-35 60-80	 0.6-2.2 2.5-6.0 3.1-8.2
Activated sludge - extended aeration تهوية مديدة	0.50-0.55	0.8-1.2	40-45	3.3-5.6

High-rate trickling filter **مرشح تقطير** Primary sludge - أولية Secondary sludge - ثنائية Total	 0.35-0.45 0.20-0.30 0.55-0.75	 2-6 1-2.5 1.5-4.0	 35-45 20-30 55-75	 0.6-2.2 0.8-3.0 1.4-5.2
UASB reactor	0.18-0.12	3-6	12-18	0.2-0.6
UASB + aerobic post-treatment Anaerobic sludge (UASB) لاهوائي Aerobic sludge (post-treatment) هوائي ما بعد المعالجة Total	 012-0.18 0.12-0.18 0.20-0.32	 3-4 3-4 3-4	 12-18 8-14 20-32	 0.3-0.6 0.2-0.5 0.5-1.1
(a) Assuming 0.1 kg COD/inhabitant.d and 0.06 kg SS/inhabitant.d (b) Litres of sludge/inhabitant.d = [(gSS/inhabitant.d)/(dry solids (%))]×(100/1,000) (assuming a sludge density of 1,000 kg/m^3)				

- **الحمأة من أحواض الترسيب الأولي:** تحتوي على نسبة (3-7)% مواد صلبة، (60-80)% مواد عضوية وهي ذات لون رمادي موحل طيني متوسط الخشونة ذات رائحة كريهة وهي بحاجة للمعالجة لهضم المواد العضوية.
- **الحمأة الناتجة عن أحواض الترسيب الثنائية:** تكون بُنيّة اللون ورائحتها تشبه رائحة الأرض، فإذا كان اللون معتماً فيعني هذا أن الحمأة متعفّنة ((septic condition، وإذا كان كاشفاً فهناك إحتمال وجود نقص في التهوية. وتتألف الحمأة الثانوية (75% -90%) من مواد عضوية ومن كائنات دقيقة microorganisms ومواد قابلة للتحلُّل البطيء. مع ملاحظة الشبه مع حمأة الهضم الهوائي.

- الحمأة اللاهوائية المهضومة:

تكون ذات لون بني غامق إلى أسود، وتحتوي على كمية من الغاز. وعندما يتم هضمها جيداً، فإنها لا تكون كريهة الرائحة، وتكون رائحتها خفيفة نسبياً وتشبه رائحة القطران الساخن أو المطاط المحروق أو شمع الختم.

وتعطي الجداول التالية معلومات هامة عن الحمأة:

(1-2-3) الذي يعطي إنتاج الحمأة في منطقة الإتحاد الأوربي والتصرف بها.

(1-2-4) النسبة المئوية للمواد الصلبة في مختلف أنواع الحمأة.

(1-2-5) الحالة الفيزيائية للحمأة كدالّة على محتوى المواد الصلبة.

(1-2-6) كميات نموذجية للحمأة حسب مرحلة ونوع المعالجة (للاستئناس).

(1-2-7) التركيب الكيميائي النموذجي للحمأة الأولية والمنشطة غير المعالجة.

الجدول (1-2-3) إنتاج الحمأة في دول الإتحاد الأوربي ومجالات تصريفها [9]*

Member State	2010					2020				
	Total Sludge	Recycled to land	Incineration	Landfill	Other	Total Sludge	Recycled to land	Incineration	Landfill	Other
	tds/a	%	%	%	%	tds/a	%	%	%	%
EU12										
Bulgaria	47,000	50	0	30	20	151,000	60	10	10	20
Cyprus	10,800	50	0	40	10	17,620	50	10	30	10
Czech Republic	260,000	55	25	10	25	260,000	75	20	5	5
Estonia	33,000	15			85	33,000	15			85
Hungary	175,000	75	5	10	5	200,000	60	30	5	5
Latvia	30,000	30		40	30	50,000	30	10	20	30
Lithuania	80,000	30	0	5	65	80,000	55	15	5	25
Malta	10,000			100		10,000	10		90	
Poland	520,000	40	5	45	10	950,000	25	10	20	45
Romania	165,000	0	5	95		520,000	20	10	30	40
Slovakia	55,000	50	5	5	10	135,000	50	40	5	5
Slovenia	25,000	5	25	40	30	50,000	15	70	10	5
EU12 Total	1,411,000	41	8	35	17	2,457,000	37	16	17	31
EU15										
Austria	273,000	15	40	>1	45	280,000	5	85	>1	10
Belgium	170,000	10	90			170,000	10	90		
Denmark	140,000	50	45			140,000	50	45		
Finland	155,000	5			95	155,000	5	5		90
France	1,300,000	65	15	5	15	1,400,000	75	15	5	5
Germany	2,000,000	30	50	0	20	2,000,000	25	50	0	25
Greece	260,000	5		95		260,000	5	40	55	
Ireland	135,000	75		15	10	135,000	70	10	5	10
Italy	1,500,000	25	20	25	30	1,500,000	35	30	5	30
Luxembourg	10,000	90	5		5	10,000	80	20		
Netherland	560,000	0	100			560,000	0	100		
Portugal	420,000	50	30	20		750,000	50	40	5	5
Spain	1,280,000	65	10	20		1,280,000	70	25	5	
Sweden	250,000	15	5	1	75	250,000	15	5	1	75
UK	1,640,000	70	20	1	10	1,640,000	65	25	1	10
EU15 total	10,153,000	43	29	11	17	10,530,000	44	37	4	15
EU27 total	**11,564,000**	**42**	**27**	**14**	**16**	**13,047,000**	**44**	**32**	**7**	**16**
EU12 (% of EU27 total)	*88*	*5*	*1*	*5*	*1*	*81*	*8*	*3*	*4*	*4*
EU15 (% of EU27 total)	*12*	*38*	*26*	*9*	*15*	*19*	*36*	*30*	*3*	*12*

Source: Based on consultant estimates and information from the consultations; see the annexes to the Report on the Baseline Scenario and Analysis of Risk and Opportunities

Notes: As working estimates, 2010 production rates have been taken to be the same as 2020 production for Member States expected to be in full compliance in 2010. For non-compliant states, rounded 2006 production rates have been used – see Annex 2 of Report 2 for details. The estimate for Belgium includes 110,000 t ds for the Flemish region; 50,500 t ds for the Walloon Region and 5,000 t ds for the Brussels region.

. [Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land] *

.(Milieu Ltd, WRc and RPA for the European Commission) إعداد

في الجدول(1-2-3) نلاحظ أنه عند تقسيم إنتاج الحمأة الجافة في ألمانيا على عدد سكانها البالغ حوالي 85 مليون نسمة، نجد أن نصيب الفرد من الإنتاج يبلغ 23.5 كغ سنوياً. بينما في إيطاليا، كان إنتاج الفرد من الحمأة الجافة في عام 2010 حوالي 25.3 كغ سنوياً. بعد نزع الماء من الحمأة يصبح الحجم للشخص في اليوم لكل أنواع المعالجة من 0.01 الى 0.29 ليتر/شخص.يوم, ومن اجل الحمأة المنشطة المديدة 0.11-0.29 ليتر/ شخص.يوم, ومن أجل مفاعل UASB يصبح الحجم 0.03 - 0.06 ليتر/ شخص.يوم [8]..

الجدول (1-2-8) تحليل عينة حمأة مجففة بالطاقة الشمسية في المملكة العربة السعودية الطائف.

الجدول (1-2-4) النسبة المئوية للمواد الصلبة في مختلف أنواع الحمأة [63]

نوع الحمأة	النسبة المئوية للمواد الصلبة في الحمأة	
	حمأة مهضومة	حمأة غير مهضومة
حمأة منفصلة:		
من الترسيب الأولي		
1. غير مكثّفة	5.5 - 2.5	12 - 6
2. مكثّفة	10 - 5	-
من المرشح البيولوجي:		
1. غير مكثفة	6 - 3	8 - 6
2. مكثّفة	9 - 7	-
من الحمأة المنشطة:		
1. غير مكثّفة	1.2 - 0.5	3 - 2
2. مكثّفة	3.3 - 2.5	-
حمأة مشتركة:		
ترسيب أولي ومرشحات بيولوجية		
1. غير مكثّفة	6 - 3	10 - 6
2. مكثّفة	9 - 7	-
ترسيب أولي وحمأة منشطة:		
1. غير مكثّفة	4.8 - 2.6	7 - 3
2. مكثّفة	9 - 4.6	-

الجدول (1-2-5) الحالة الفيزيائية للحمأة كدالة على محتوى المواد الصلبة [8]

Total solids content (%) المواد الصلبة الكلية	Water content (%) محتوى الماء	Physical state الحالة الفيزيائية
0-10	90-100	Liquid sludge
10-25	75-90	Pasty sludge - 14- 17% of TS: difficulty in storage in high piles - >18% of TS: storage in stable piles with up to 45° slopes
>25	<75	Solid sludge

*الجدول (1-2- 6) كميات نموذجية للحمأة حسب مرحلة ونوع المعالجة (للأستئناس) [11]

الوزن النوعي للحمأة	الوزن النوعي للمادة الصلبة في الحمأة	الرطوبة (%)	Typical Quantity of Sludge كمية الحمأة			المعالجة
			لتر لكل 1000 شخص	طن لكل 1000 متر مكعب من مياه الصرف	$l/1000m^3$ من مياه الصرف	
						ترسيب ابتدائي:
1.02	1.4	95	1100	47.32	2,950	مهضومة
1.03	-	94	538	23.66	1,450	مهضومة في حوض مستقل
-	-	60	161	3.55	-	Digested & dewatered sand beds مهضومة ومنزوعة الماء بأسرّة الرمال
1.00	1.33	92.5	280	12.00	45	أحواض ترشيح حجرية
1.03	1.93	92.5	1940	83.28	5,120	**ترسيب كيميائي:**

منزوعة الماء بالمرشّح الإنفراغي	-	22.71	546	72.5	-	-
ترسيب ابتدائي وحمأة منشطة:						
غير مهضومة	6,900	110.72	2600	96	-	1.02
غير مهضومة ومنزوعة الماء بالمرشّح الإنفراغي	1,480	22.14	566	80	-	0.95
مهضومة في حوض مستقل	2,700	44.17	1020	94	-	1.03
مهضومة ومنزوعة الماء بالمرشح الرملي	-	6.62	510	60	-	-
مهضومة ومنزوعة الماء بالمرشح الإنفراغي	-	13.25	331	80	-	0.95
الحمأة المنشطة:						
حمأة رطبة	19,400	283.9	7300	98.5	1.25	1.005
منزوعة الماء بالمرشح الإنفراغي	-	21.28	538	80	-	0.95
مجففة حرارياً	-	1.17 4.43	85	4	-	1.25
أحواض تعفن مهضومة	900	-	340	90	1.4	1.14

*Wastewater flow of 378.5 l/person d, and 300 mg/ L of suspended solids in wastewater.

الجدول (1-2-7) التركيب الكيميائي النموذجي للحمأة الأولية والمنشطة غير المعالجة [12] , [USEPA 1979]

Item البند	Untreated primary sludge أولية غير معالجة		Untreated activated sludge منشطة غير معالجة	
	Range المجال	Typical نموذجي	Range المجال	Typical نموذجي
Total dry solids (TS),%	1-6	3	0.4-1.2	0.8
Volatile solids (% of TS)	60-85	75	60-85	70
Grease and fats (% of TS)	5-8	6	5-12	8
Protein (% of TS)	20-30	25	32-41	36
Nitrogen (N, % of TS)	1.5-4	2.5	2.4-5	3.8
Phosphorus (P_2O_5, % of TS)	0.8-2.8	1.6	2.8-11	5.5
Potash (K_2O,% of TS)	0-1	0.4	0.5-0.7	0.6
Cellulose (% of TS)	8-15	10		
Iron (not as sulfide)	2-4	2.5		
Silica (SiO_2, % of TS)	15-20			
pH	5-8	6	6.5-8	7.1
Alkalinity (mg/L as $CoC0_3$)	500-1500	600	580-1100	790
Organic acids (mg/L as HAc)	200-2000	500	1100-1700	1350
Energy content, kJ/kg VSS	23,000-29,000	25,000	19,000-23,000	20,000

الجدول (1-2-8) نموذج تحليل عينة حمأة مجففة بالطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية، الطائف

Analysis Results Table					
Code	Parameter	Result	Unit	Ministry of Environment water & Agriculture Limits	STA Limits
AS	Arsenic	3.31	mg/kg	75	15
Cd	Cadmium	1.99	mg/kg	85	6
Cr	Chromium	45.21	mg/kg	3000	200
CU	Copper	41.39	mg/kg	4300	100
Pb	Lead	23.22	mg/kg	840	200
Hg	mercury	0.001	mg/kg	57	4
MO	molybdenum	32.88	mg/kg	75	50
Ni	Nickel	49.85	mg/kg	420	200
Se	selenium	2.77	mg/kg	100	40
Zn	Zinc	143	mg/kg	7500	200
Microbiology					
E. coli	Escherichia coli	56	MPN/1 g TS (dry matter)	1000	100
salmonella	salmonella	<1	MPN/4 g TS (dry matter)	3	2
Helminths ova	Egg of intestinal worm (viable Eggs) Helminths ova	ND	Per 4 g TS (dry matter)	1	1
Dryness					
TS	total dry solid (TS)content	95	%	More than 90 %	

مسألة.

مدينة عدد سكانها 100.000 نسمة تعالج الحمأة الناتجة عن محطة المعالجة بواسطة مفاعل UASB.

من الجدول (1-2-2) نجد أن نصيب الفرد من إنتاج الحمأة من مفاعلات UASB يتراوح من 12 إلى 18 غ/ شخص. يوم. والإنتاج الحجمي يبلغ حوالي 0.2 إلى 0.6 لتر/ شخص. يوم..

بافتراض أننا إعتمدنا القيم المتوسطة في كل مجال، إحسب وزن وحجم الحمأة النهائي بعد عملية نزع الماء:

1- المخرجات بعد المفاعل مباشرة:

يبلغ حمل SS الكلي في الحمأة بفرض 15 غ /شخص. يوم:

100,000 inhabitants × 15/100 = 1500 Kg/SS ·d

تدفق الحمأة بفرض 0.4 ليتر/شخص.يوم:

100,000 inhabitants×0.4 = 40,000 L/d = 40 m^3/d

2- المخرجات بعد نزع الماء من الحمأة:

- حجم الحمأة النهائي بعد نزع الماء:

بعد نزع الماء من الحمأة ومن أجل مفاعل UASB يصبح الحجم 0.03 - 0.06 ليتر/ شخص.يوم [8].

- بأخذ 0.04 ليتر/شخص يوم. منه يصبح حجم الحمأة:

100,000 inhabitants × 0.04 L/inhabitant.d = 4,000 L/d = 4 m^3/d

- كتلة الحمأة المرسلة إلى الطمر أو للتطبيق:
- بإفتراض أن الوزن النوعي للحمأة هو 1.05، فإن إجمالي كتلة الحمأة:

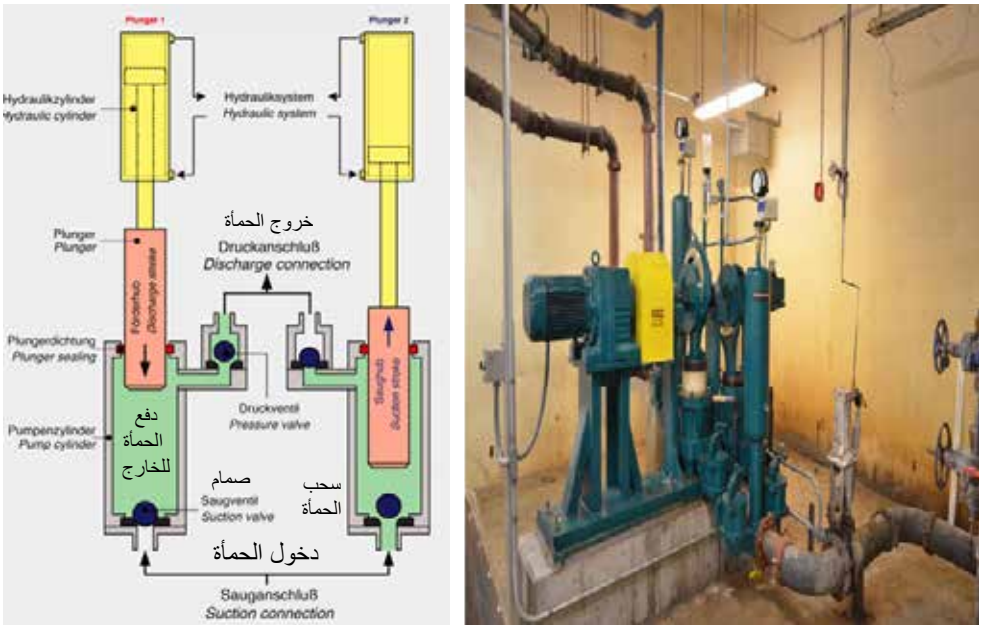
4 × 1.05 = 4.2 ton/d

3-1. مضخّات الحمأة والرغوة.

تستعمل مضخّات خاصة لنقل الحمأة من أحواض الترسيب إلى أحواض التكثّيف، ومن أحواض التكثّيف إلى مراحل الهضم المختلفة، ومنه إلى مواقع التكيّيف ونزع الماء، ومن ثم التصرُّف في الحمأة. وإختيار المضخّات يعتمد على نسبة الرطوبة في الحمأة ونوعية المواد الصلبة فيها.

1-3-1. المضخة المكبسية (Plunger pump)

وتسمى أحياناً (المضخة الدافعة)، وتستعمل لضخ الحمأة والرغوة. ويمكن أن يصل تركيز المواد الصلبة فيها إلى 15% أنظر الشكل (1-3-1-1)، وهي تعتمد على مبدأ حركة المكبس لإحداث فراغ في قميص المضخة مما يتسبب في سحب الحمأة إلى الفراغ، ومن ثم يتم إغلاق صمّام الدخول، وفتح آخر في الأعلى للخروج، ويقوم نفس المكبس بدفع الحمأة للأعلى. ويمكن أن يكون السحب من عمق 3م وحتى ارتفاع 60م، وأن يصل التدفق حتى 30 ليتر/ثا. وهي تحتاج إلى صيانة دائمة، وتنتج ضغوط عالية تصل إلى 750 kpa (7.5 بار او ضغط 76.5 متر)



a b

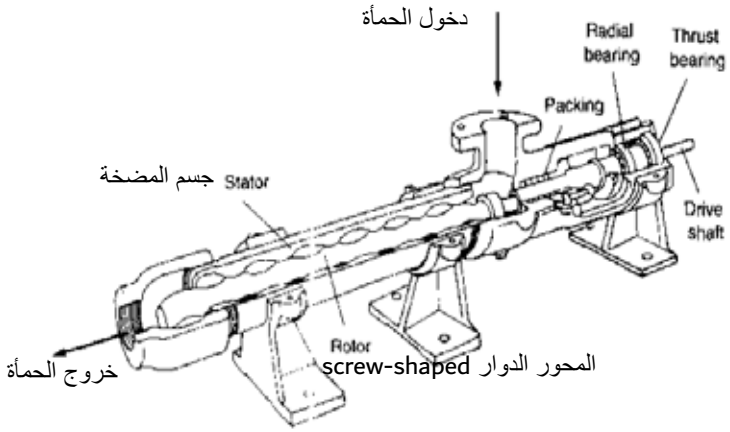
الشكل (1-3-1-1) المضخة المكبسية

a.مخطط يبين مبدأ عمل المضخة المكبسية b. صورة لمضخة مكبسية

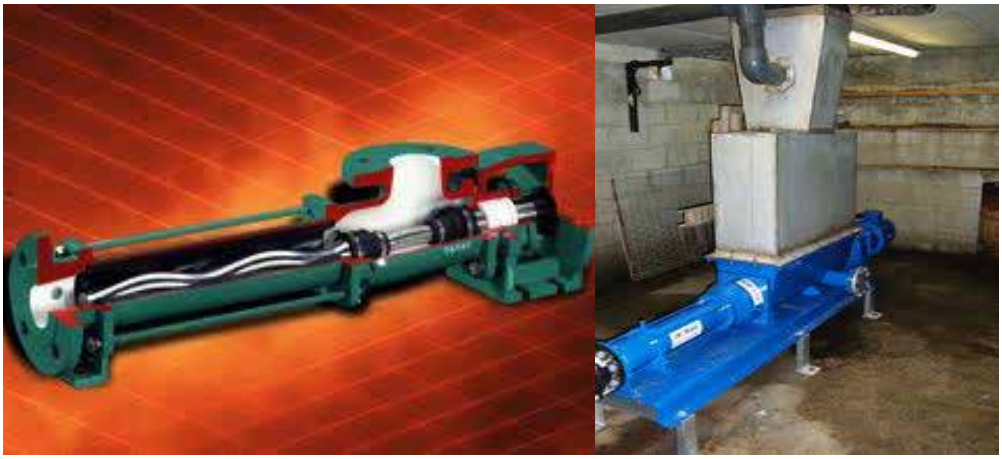
[Austunnel], [wastecorp pump]

1-3-2. المضخَّة ذات الحركة التقدّمية Progressive cavity(PC)

وهي من نوع positive displacement pump، ومن أشهر المضخّات التي تستعمل لنقل الحمأة، يصل تدفقها إلى 75 ليتر/ثا، وتستطيع تمرير مواد صلبة تصل حتى قطر 20 ملم. ولهذه المضخة صمّام عدم رجوع لمنع عودة الحمأة. يجب أن تكون الحمأة خالية من الرمال والحصى لمنع الإنسداد والإهتراء. وتستعمل المضخة لكافة أنواع الحمأة تقريباً، وبإمكانها السحب من عمق 8.5 م، والضخ حتى إرتفاع 135 م. الشكل (1-3-2-1) (a,b) يبين أشكال توضيحية للمضخّة ذات الحركة التقدّمية. وعموماً يعد عمل المضخة سهلاً، وصيانتها قليلة، كما يمكن التحكُّم في كمية التدفّق بسهولة. ويُنصح أن لا تعمل وهي جافة حتى لا تتآكل. الشكل (1-3-2-1) (c) صورة أثناء ضخ كعكة الحمأة.



(a)



(b) (c)

الشكل (1-3-2-1),a,b,c المضخة ذات الحركة التقدمية PC

1-3-3. المضخّات ذات الطّرد المركزي Centrifugal pumps

وهي مضخّات جيدة لأعمال الحمأة الأولية ومنها:

1. المضخّة غير القابلة للإنسداد (non clog):

هي مضخّات طرد مركزي ديناميكية دورانية Rotodynamic centrifugal pumps، تم تصميمها لضمان أقصى قدر من منع الإنسداد عند ضخ سوائل

تحتوي على مواد صلبة أو مواد خيطية. وغالباً ما تُستخدم هذه المضخات في مياه الصرف، الحمأة المنشطة غير المرسّبة، ومياه الصرف الصناعي. الشكل (1-3-3-1)-a.

2. المضخّة Torque flow (المضخّة اللفّافة)

وهي مضخّة نابذه لا تمرّر الحمأة على المروحة، ولا يحدث فيها إنسداد. الشكل (1-3-3-1)-b، وتنتقل الحمأة عن طريق تهييج الحمأة المارّة في جسم المضخة. ويمكن زيادة الضغط بوضع أكثر من مضخّة، وكذلك يمكن تغيّير كمية التدفّق عن طريق تعديل سرعة المضخّة.

3. المضخّة ذات السكاكين (القطّاعة) Chopper sludge pump

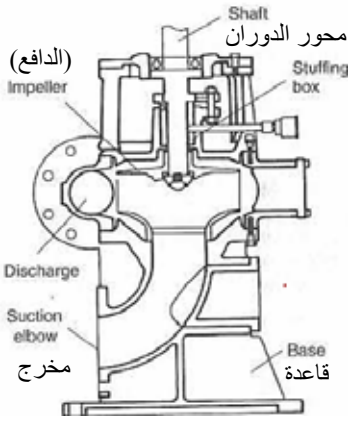
وهي مضخّة تحوي داخلها سكاكين حادة خاصة لتقطيع المواد الصلبة الكبيرة التي تحاول سد المضخة. ويصل تدفق المضخّة حتى 150 ليتر /ثا، ويوجد منها مضخّات أفقية وشاقوليه الشكل (1-3-3-2).

4. المضخّة ذات التدفُّق المختلط (mixed-flow pumps)

تُستخدم مضخّات الطرد المركزي ومضخات التدفق المختلط ذات السرعة البطيئة بشكل كبير لإعادة الحمأة المنشطة إلى أحواض التهوية. الشكل (1-3-3-3) يبيّن شكل الدافع في مضخّات التدفّق المختلط.

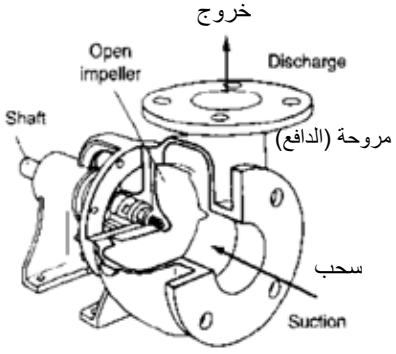
5. المضخّات اللولبية (الحلزونية) Screw pumps

وتستخدم المضخّات اللولبية (الحلزونية) من أجل ضخ الحمأة الراجعة، خاصةً عند وجود ممانعة كبيرة. أنظر الشكل (1-3-3-4). وعموماً تستعمل مضخّات الطرد المركزي اللولبية Screw centrifugal pumps لضخ الحمأة إلى أحواض التهوية، وتتميّز بأنها تسبب مشكلات إنسداد أقل لمثل هذه التطبيقات. أنظر الشكل (1-3-3-5)a,b.

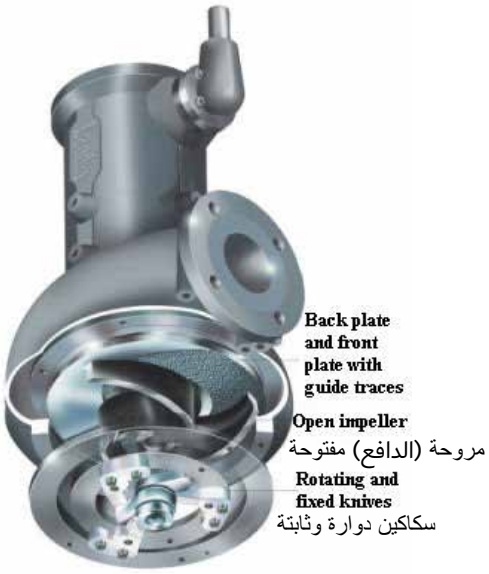


الشكل (1-3-3-1).a مضخّة الطّرد المركزي التي لا تُسَد

[Metcalf & eddy,12] , [EDDY Pump]



الشكل (1-3-3-1).b المضخّة Torque flow [12]



الشكل (1-3-3-2) المضخة ذات السكاكين chopper sludge pump

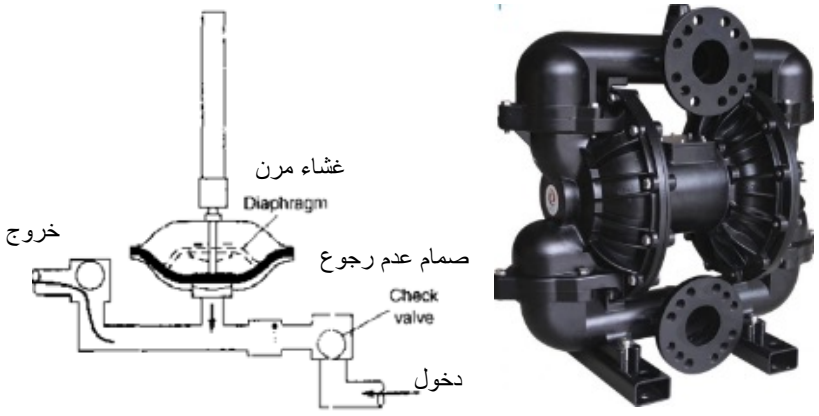
الشكل (1-3-3-3) شكل الدافع في المضخّات ذات التدفُّق المختلط

الشكل (1-3-3-4)a. المضخة اللولبية

الشكل (1-3-3-4)b. المبدأ العام لمضخّة الطرد المركزي اللولبية [EVO pump]

1-3-3-4. المضخّة ذات الحجاب (غشائيّة) Diaphragm pump

وهي مضخّة تمرّر الحمأة بدون عوائق ميكانيكية، حيث يقوم مكبس بسحب غشاء مرن، مما يؤدي إلى حدوث فراغ يؤدي لدخول الحمأة إلى قناة خاصة، وعند ضغط المكبس للغشاء يتم إغلاق صمام الدخول وفتح صمام الخروج، لتمر منه الحمأة تحت الضغط، ويمكن أن يكون للمضخّة غشائين يعملان بشكل متناوب، الشكل (1-4-3-3-1) مخطّط مع صورة للمضخة ذات الأغشية.

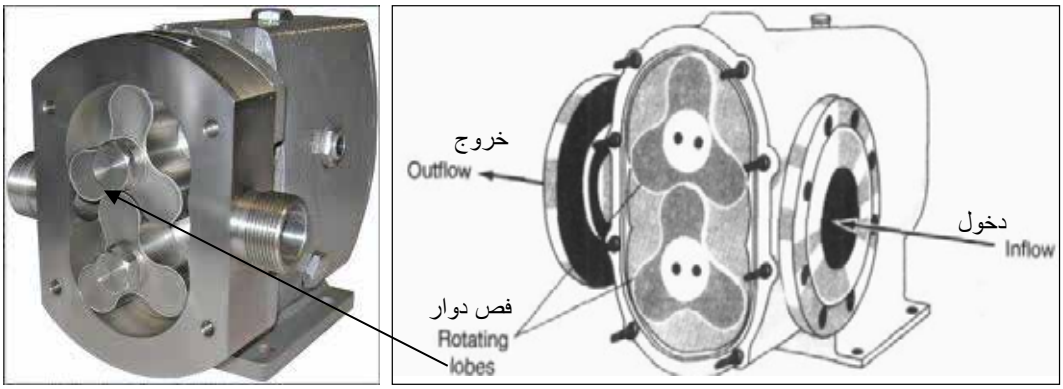


a b

الشكل (1-4-3-3-1) a. مخطط يبين مبدأ عمل المضخّة الأحاديّة ذات الغشاء
b. المضخّة ذات الغشاء الثنائية

1-3-3-5. المضخة ذات الفصوص الدوارة Rotary- lobe pump

وهي مضخَّة مشهورة جداً، تستعمل لضخ السوائل اللّزجة والكثيفة مثل الحمأة وفيول المراجل، وهي من نوع الإزاحة الإيجابية. ومن أجل مضخّات الحمأة تكون الفصوص معدنية أو مطاطية قاسية. وتتميّز بأن سرعة المضخّة بطيئة وأعطالها قليلة. الشكل (1-3-3-5-1).

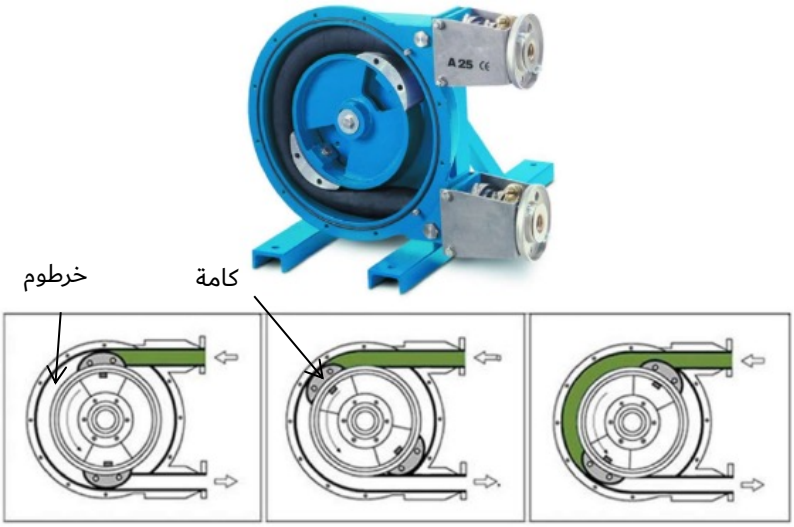


الشكل (1-3-3-5-1) المضخّة ذات الفصوص الدوارة
[12] (rotary- lobe pump)

1-3-3-6. المضخَّة ذات الخرطوم peristaltic hose

يوجد داخل هذه المضخّة خرطوم تشغيل عالي المقاومة، مضغوط بالكامل في قسم منه بواسطة بكرتين على محامل متقابلة 180 درجة. خلال المساحة الفاصلة بين الأسطوانتين يستعيد الخرطوم شكله الهندسي الأصلي مما يخلق فراغاً يمتص وينقل السائل الذي يتم ضخّه. وللمضخّة إستعمال واسع من السوائل إلى المواد اللزجة، وهي قابلة للعكس وقليلة الأعطال.

أنظر الشكل (1-3-3-6-1).



الشكل (1-6-3-3-1) مقطع في المضخّة ذات الخرطوم

[uploaded by Valeri Souchko] (peristaltic hose pump)

2

خيارات
معالجة حمأة مياه الصرف

2. خيارات معالجة الحمأة Sludge Treatment Alternatives

تختلف طرق إدارة ومعالجة الحمأة حسب كمية ونوع الحمأة. و تتضمن المبادئ الأساسية للمعالجة: التكثيف، التثبيت، نزع الماء، التجفيف، التخلص النهائي.

الشكل (2-1) يوضح الطرق العامة لمعالجة الحمأة.

ويمكن تلخيص مراحل المعالجة حسب الحالة وحسب درجة المعالجة وفق مايلي:

أ - التخزين قبل المعالجة

- في أحواض الترسيب.
- أحواض مستقلة (أقل حجم ممكن للتخزين).

ب - التكثّيف قبل نزع الماء.

- الترسيب بالثقالة.
- التطويف بالهواء المُنحل DAF.
- السير المكثّف.
- بالقوة النابذة.
- المكثف الحلزوني.
- البرميل الدوّار.

ج - تثبيت الحمأة.

- التثبيت بالكلس، وقد يستعمل أيضاً كمعالجة أولية قبل الهضم اللاهوائي.
- التثبيت بالحرارة.
- الهضم اللاهوائي.
- الهضم الهوائي.

د - نزع الماء ميكانيكياً.

- الترشيح بالإنفراغ.
- الطرد المركزي.

- الترشيح تحت الضغط.
- التجفيف بالحرارة.

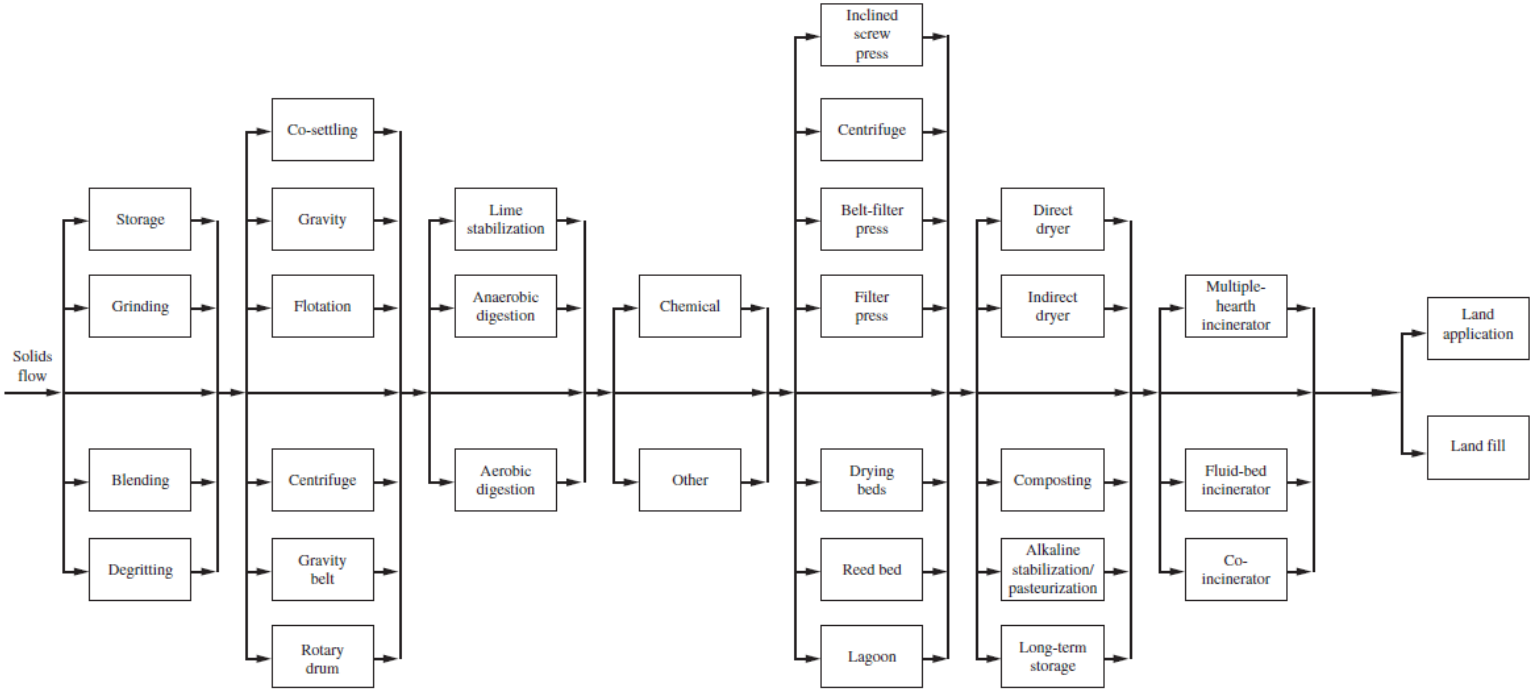
هـ - التّبخير الطبيعي للحمأة المهضومة.

- أحواض التجفيف الرملية.
- البحيرات قليلة العمق.

و - التخلص من الحمأة المنزوعة المياه.

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

الشكل (2-2) يبين مواصفات وشكل الحمأة في كل مرحلة من مراحل المعالجة. مثال 1000 كغ حمأة رطبة [13].



الشكل (2-1) المراحل الرئيسية لمعالجة الحمأة [11]

الشكل (2-2) مواصفات وشكل الحمأة في كل مرحلة من مراحل المعالجة. مثال 1000 كغ حمأة رطبة [13].

2-1. تكثيف الحمأة Sludge thickening

الهدف من التكثيف هو تقليل حجم الحمأة، وزيادة تركيز المواد الصلبة فيها ليسهل التعامل معها بالنسبة لأعمال الضخ والهضم ونزع الماء وتقليل حجم المنشآت المعنية – فمثلاً، لدينا حمأة منشطة من حوض الترسيب تكون فيها نسبة المواد الصلبة 0.6%، نجد أنها ستصبح بعد التكثيف 3%، أي أنه يتحقق تخفض للحجم بحدود 5 مرات تقريباً.

2-1-1. التكثيف بالثقالة (بالجاذبية) Gravity thickener

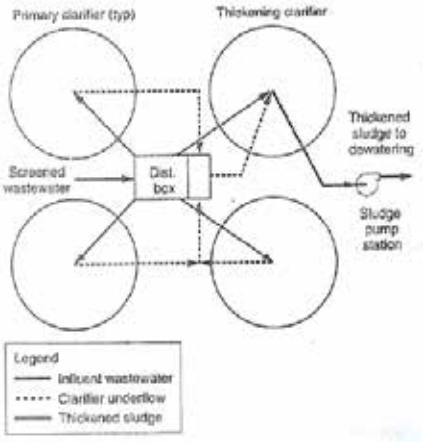
لا يُنصح باستخدام أحواض التكثيف بالثقالة للحمأة غير المستقرة بسبب مشاكل التحلّل وصدور الروائح، إلا إذا تم التحكم الكافي في مشاكل التشغيل والروائح الصادرة عن المكثّف.

في محطات المعالجة التي تقل طاقتها عن 4000 م^3/يوم، نادراً ما يتم إجراء عمليات تكثيف منفصلة للحمأة. حيث يمكن إجراء التكثيف بالثقالة في خزان الترسيب الأولي، أو في وحدات هضم الحمأة، أو كليهما [12].

في مرافق المعالجة الأكبر حجماً، يتم تبرير التكاليف الإضافية لتكثيف الحمأة من خلال تحسين التحكُّم في عملية التكثيف والحصول على تركيز أعلى للحمأة.

1. التكثيف المشترك في حوض الترسيب الأولي:

يستعمل التكثيف المشترك للحمأة في أحواض الترسيب الأولية في محطات المعالجة المتوسطة والصغيرة. ويبين الشكل (2-1-1-1) التكثيف المشترك في أحد أحواض الترسيب الأولية، ومن الضروري إضافة مواد كيميائية مخثّرة مثل البوليمر وكلوريد الحديد الثلاثي، polymer and ferric chloride. وتكون مدة المكوث 6-12 ساعة، ويتم التحكّم بالعملية من خلال منسوب طبقة الحمأة في الحوض والتدفق تحت سفلي.



الشكل (2-1-1-1) مخطط لطريقة التكثيف المشترك في حوض الترسيب [12]

2. التكثيف التقليدي بالثقالة (بالجاذبية) Gravity thickening:

تشبه هذه الطريقة حوض الترسيب التقليدي، حيث يتم دخول الحمأة من مركز الحوض من خلال الموجه، وخروج المياه الطافية (الروّاقة) من الهدّارات.

ويمكن أن تضاف مواد كيميائية لتحسين فصل المياه عن الحمأة.

فيما يلي ضوابط التصميم لحوض التكثيف، وفق المرجع [7].

- تحميل المواد الصلبة , m^2 (30- 60 $kg/m^2.d$) من سطح قاع الحوض.
- معدّل التحميل الهيدروليكي النموذجي {16 to 32 $m^3/(m^2. d)$} .

- ومن أجل الحمأة المنشّطة الترسيب النهائي (أي ندف خفيف) {4-8 $m^3/(m^2. d)$}.
- ومن أجل حمأة حوض الترسيب الأولي {16 to 32 $m^3/(m^2. d)$}.
- زمن المكوث للحمأة المنشطة في حوض التكثيف تؤخذ بشكل عام من 6-12 ساعات [12].
- ميل القاع: 6 : 1 ، 4 : 1. ويمكن أن يصل قطر الحوض إلى 25)m).
- يتم سحب الحمأة من أسفل القمع المركزي السفلي بالضخ أو بالجاذبية (بالراحة).
- الشكل النموذجي للمكثّف هو حوض دائري، ارتفاع جدار الحوض m (3-4)
- كما يتم سحب المياه الطافية (الرواقة) من خلال هدارات جانبية كما في أحواض الترسيب، وتعاد هذه المياه إلى محطة المعالجة. وينصح حالياً بمعالجتها بشكل مستقل لحمولتها العالية وغناها بالفوسفور. الشكل (2-1-1-2) نموذج مكثف حمأة.
- يتم اختيار معايير التصميم عادةً من التجربة والقياسات المخبرية، ويستعان بالجدول (2-1-1-1).

الشكل (2-1-1-2) صورة لمكثّف حمأة نموذجي

الجدول (2-1-1-1) أهم معايير التصميم للمكثف بالثّقالة [4]، [15] وغيره

نوع الحمأة	تحميل الحمأة	نسبة المواد الصلبة في الحمأة %	
	Kg/m²/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 - 45	4.25 - 2.25	8 - 4.5

2-1-2. تكثيف الحمأة بالتطويف DAF

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

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

الشكل (2-1-2-1) يبين حوض تطويف حمأة منشطة في مدينة روستوك بألمانيا. الجدول (2-1-2-1) يوضح مختلف حالات التحميل لمكثف DAF،

الشكل (2-1-2-2) يبين مخطط لإحدى طرق إعطاء المياه المتشبعة بالهواء في DAF.

وفيما يلي أهم ضوابط التصميم:

- نسبة تحميل الحمأة (29 - 300 kg solids/m². d [4]) (في [7] تحميل الحمأة 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 (solids and biosolids) A/S : 1- 4%.

في التطبيقات البلدية، تكون A/S عادةً بين **0.02** و **0.04 (بالوزن)**. وفي المياه الصناعية يمكن تحقيق معدلات أقل بكثير مع الأنظمة الحديثة، والتي قد تصل إلى 0.0006. لذا، فإن الاختبار التجريبي مطلوب. من [Industrial wastewater + management and disposal federation, WEF7].

- الضغط : (2.80 - 5.50 bar).
- التحميل الهيدروليكي: $m^3/m^2/d$ (12-200).
- النسبة المئوية للمواد الصلبة في الزبد وزنا: 3-6% [4].

الجدول (2-1-2-1) يوضح مختلف حالات التحميل لمكثف DAF [4]

نوع الحمأة أو المواد الصلبة العضوية	التحميل مواد صلبه kg /(m^2. h)	
	بدون إضافة مواد كيميائية	مع إضافة مواد كيميائية
حمأة منشطة.		
- المزيج المنحل.	1.2- 3	حتى 10
- مرسبة.	2.4- 4	حتى 10
- حمأة منشطة بالأوكسجين الصافي.	3- 4	حتى 10
- حمأة مرشح بيولوجي.	3- 4	حتى 10
- حمأة أولية مع حمأة منشطة.	3- 6	حتى 10
- حمأة أولية مع حمأة مرشح بيولوجي.	4- 6	حتى 10
- حمأة أولية فقط.	4- 6	حتى 12.5

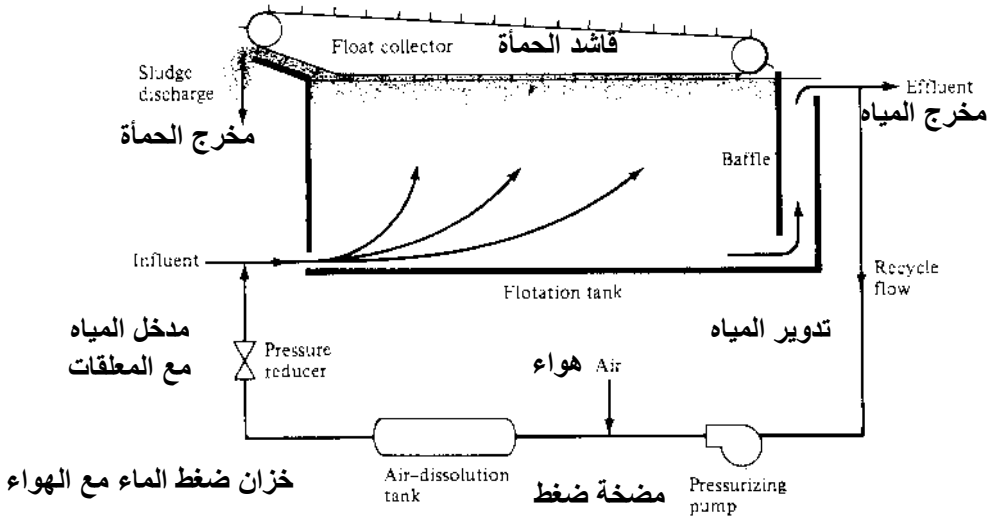
ملاحظة: لحساب كمية المياه المدورة إلى خزان الضغط يوجد معادلات ناظمة خاصة، ويمكن فرض نسبة التدوير /1.25-1/ وادخالها في حساب زمن المكوث والتحقق [4 وغيره].

مسألة 1.

إحسب نسبة التحميل الهيدروليكي والمواد الصلبة لمكثفDAF قطره 9m يعالج 303 L/min من الحمأة المنشطة، علماً بأن TSS للحمأة 7800 mg/L.

الحل:

الشكل (2-1-2-1) حوض تطويف حمأة منشطة - مدينة روستوك بألمانيا



الشكل (2-1-2-2)DAF يوضح إحدى طرق إعطاء المياه المتشبعة بالهواء

الخطوة 1. المساحة الأفقية للحوض: $A = 3.14 (9\ m/2)^2 = 63.6\ m^2$

التحميل الهيدروليكي:

$$= (303\ L/min)/63.6\ m^2 = 4.76\ L/(min\ .\ m^2)$$

الخطوة 2. إحسب تحميل المواد الصلبة: TSS (WAS) = 7800 mg/L = 0.78%

حمل المواد الصلبة:

$$= 303\ L/min \times 60\ min/h \times 1\ kg/L \times (0.78\%/100\%) = 141.8\ kg/h$$

نسبة تحميل المواد الصلبة:

$$= (141.8\ kg/h)\ /63.6m^2 = 2.23\ kg/(m^2.\ h) = 53.3\ kg/(m^2.\ d)$$

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

يعمل جهاز المكثّف النابذ (جهاز الطرد المركزي)، كمكثّف 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.

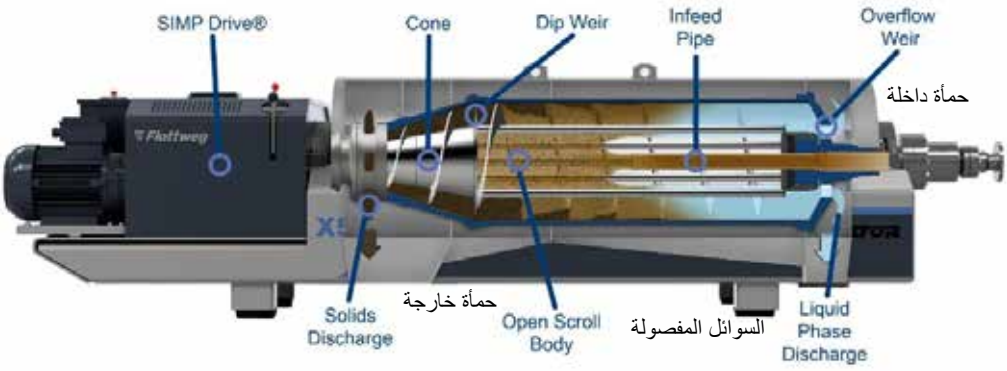
في المكثّف الحلزوني أو (البرميل الدوّار)، يقوم حلزون داخل أسطوانة من الشّبك بدفع الحمأة نحو الجوانب وإلى الأمام، وتخرج المياه في هذه الأثناء عبر الشبك.

1- المكثّف النابذ Centrifuge thickening:

يعمل جهاز الطرد المركزي (وعاء الطرد المركزي بالحلزون) كمكثّف للحمأة المنشطة، ويضاف عادة للحمأة مادة البوليمر، بكمية تبلغ 0-4 كغ/طن مواد صلبة [4] - أنظر الشكل (2-1-3-1). عندما يدور الوعاء بسرعة تتراكم المادة الثقيلة (الحمأة)، وتتكثّف وتتوجّه إلى المخرج. (الحلزون يدور داخل الوعاء بسرعة مختلفة قليلاً)، والطريقة جيدة في حال التدفُّق أكبر من 0.2 م^3/ثا [4].

2- طريقة البرميل الدوّار مع حلزون أو المكثّف الحلزوني (screw thickener):

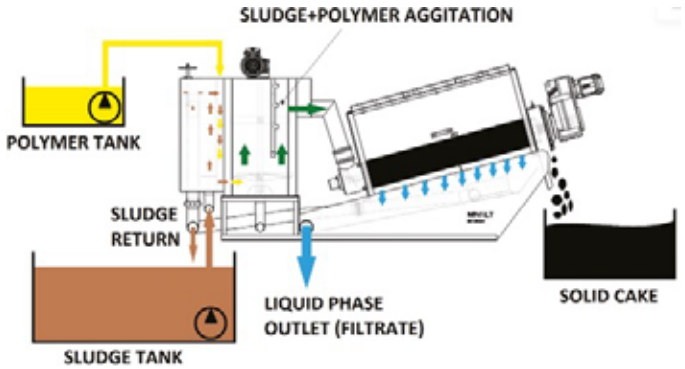
وهو برميل يدور على محور أفقي أو مائل، ويتم تغذيته بشكل مستمر، حيث تتجمع الحمأة على محيطة (وهو من الشبك)، ويقوم الحلزون بدفع الحمأة إلى مكان خاص في المقدمة، بينما يتم فصل الماء إلى الخارج. وعادةً ما يتم إضافة البوليمر ومزجه مع الحمأة. ويصل التدفُّق حتى 24 ليتر/ثا [4]. الجدول (2-1-3-1) يوضح أداء البرميل الدوار مع حلزون. علماً أن التكاليف التشغيلية له أعلى مقارنة بالطرق الأخرى. الشكل (2-1-3-2) المكثف الدوار مع حلزون. بعض أجهزة البرميل الدوار مع حلزون تقوم بدمج التكثيف مع نزع الماء في نفس الجهاز وقد نجد فيه مرحلتين). وهو من الأجهزة التي يتم تطويرها حالياً ، إذ لا يحتاج لطاقة كهربائية كبيرة، كما أن أعطاله وصيانته أقل. وقد تصل نسبة المواد الصلبة في بعض الأجهزة التي تنتجها بعض الشركات إلى 18%. الشكل (2-1-3-3) نماذج تحضير البوليمر - خزانات ومضخات البوليمر. (وسيتم شرح البرميل الدوّار بشكل أوسع لاحقاً).



الشكل (2-1-3-1) مبدأ عمل جهاز تكثيف الحمأة بالطرد المركزي (Flottweg Co)

الجدول (2-1-3-1) أداء المكثف الحلزوني [4]

نوع المواد الصلبة أو 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 لا هوائياً	5 - 2.5	50	9 - 5	98 - 90



الشكل (2-1-3-2) المكثف الحلزوني الدوّار.

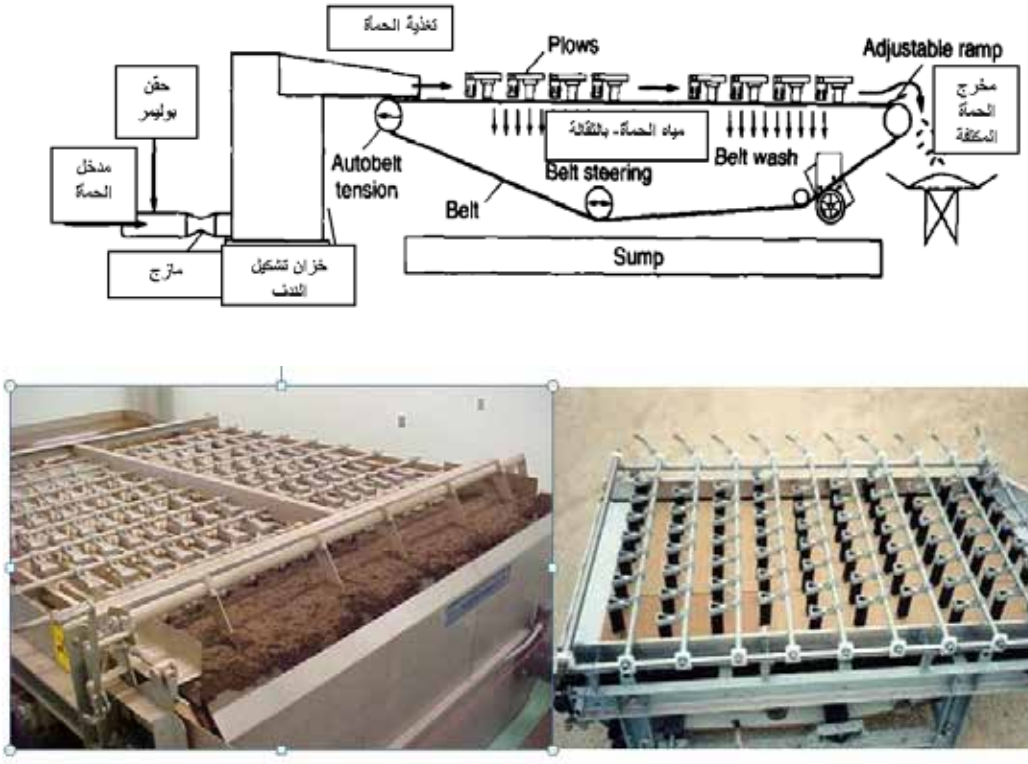
مخطّط لمبدأ عمل المكثف الحلزوني + صورة لمكثف حلزوني أثناء العمل+ صورة لمضخة الحمأة PC، صورة لنوعية الحمأة.

[Hubber Co] , [Mivalt Co]

الشكل (2-1-3-3) نموذج لمعدات تحضير البوليمر - خزان المزج ومضخات البوليمر [prominent Co.]

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

يتم توزيع الحمأة المكيّفة conditioned على سير مثقّب يتحرك أفقياً. حيث تخرج المياه من الحمأة بالثقالة - أنظر الشكل (2-1-4-1). والمكثّف جيد للحمأة الخفيفة (مواد صلبة 2%)، ويصل عرض السير من (1-3)م، والتحميل النموذجي من (6.7-47) ليتر/ثا حسب عرض السير، أو (800 ليتر/م/دقيقة من [4]). وتحتاج الحمأة إلى تكيّيف بواسطة البوليمر. ويتم تحريك الحمأة أثناء سيرها بواسطة محاريث تشجع خروج الماء من الحمأة. بعد إزالة الحمأة المكثّفة ينتقل الحزام إلى دورة الغسيل. ويتم استخدام السير المكثّف لتكثيف الحمأة المنشطة، والحمأة المهضومة لاهوائياً وهوائياً، وبعض أنواع الحمأة الصناعية.

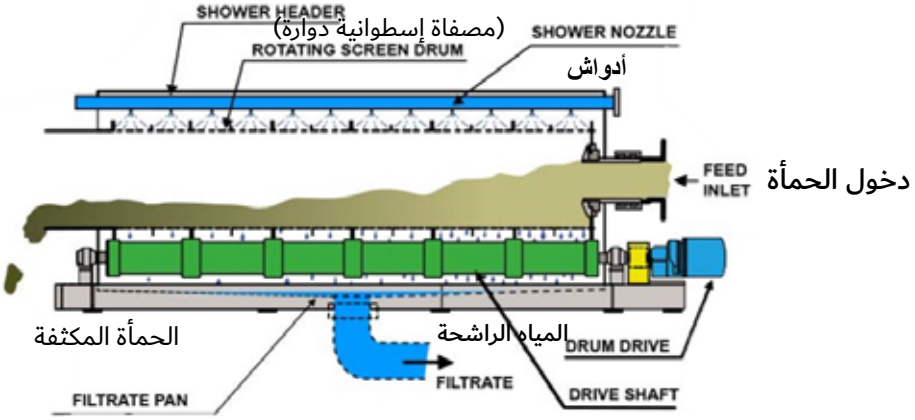


الشكل (2-1-4-1) السير المكثّف للحمأة

2-1-5. مكثّف البرميل الدوّار RDT. Rotary drum thickening

وهو عبارة عن وعاء يدور حول محور أفقي، تتم تغذيته بالحمأة المكيّفة بشكل مستمر. وتتجمّع الحمأة على محيط الجهاز (الوعاء من الشبك الناعم)، وبواسطة موجهات داخلية خاصة يتم دفع الحمأة إلى المقدمة، ومن ثم إلى خارج الوعاء، وأثناء ذلك يتم فصل المياه عبر الشبك بالثقالة، ويتم رش الماء على الشبك بشكل متكرر لتنظيفه - أنظر الشكل (2-1-5-1). تُصمّم أجهزة RTD لتعمل من أجل أنواع مختلفة من المواد الصلبة والتراكيز، وعادة ما يتم توفيرها من قبل الشركات المصنعّة حسب الشروط المحددة. وتصل نسبة التكثيف هنا إلى 7-9% للمواد الصلبة. وبالمقارنة مع الطرق الأخرى نجد أن نسبة الكلفة على السعه قليلة، ونجد أن المساحة المشغولة والاشراف

أقل، وأن كمية المواد الكيميائية اللازمة هي نفسها، ولكن بفعالية أقل نسبياً في بعض الأحيان. ويستعمل RDT في كثير من الأحيان قبل الحزام الراشح الضاغط Belt-press dewatering، ويستعمل للمحطات الصغيرة حتى إستطاعة 24 ليتر /ثا [12]. تبلغ سرعة دوران البرميل 5-20 RPM. الجدول (1-5-1-2) يبين أداء مكثف RTD. قطر الفتحات من أجل الحمأة المنشطة 0.5–1.5 mm



الشكل (1-5-1-2) مكثف البرميل الدوار RDT [parkson]

الجدول (2-1-5-1) الأداء النموذجي لمكثف البرميل الدوارRDT [12]

Type of feed نوع الحمأة	Feed, %TS المواد الصلبة الداخلة	Water removed, % 	Thickened solids, % نسبة المواد المكثفة	Solids recovery %
Untreated sludge حمأة غير معالجة				
Primary أولية	3.0-6.0	40-75	7-9	93-98
WAS الحمأة المنشّطة الزائدة	0.5-1.0	70-90	4-9	93-99
Primary + WAS أولية وزائدة	2.0-4.0	50	5-9	93-98
Anaerobically digested biosolids حمأة مهضومة لاهوائياً	2.5-5.0	50	5-9	90-98
Aerobically digested biosolids حمأة مهضومة هوائياً	0.8-2.0	70-80	4-6	90-98

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

لا يمكن إستعمال الحمأة المكثّفة مباشرة كسماد، وإنما يجب تثبيت المواد العضوية المتبقية، والقضاء على العوامل الممرضة وعلى الرائحة ومنع تعفن الحمأة. ويمكن أن يؤدي التثبيت إلى تقليل الحجم، وإنتاج غاز صالح للاستخدام (methane)، وتحسين قابلية نزع المياه من الحمأة. الطرق المتبعة هي الهضم اللاهوائي والهوائي أو الكيميائي أو أسمدة composting إضافة لطرق أخرى سيتم الإشارة اليها.

2-2-1. الهضم اللاهوائي للحمأة Anaerobic digestion

هو تحلُّل بيوكيميائي في غياب الهواء، ويتم فيه إطلاق طاقة، وتتحوّل المواد العضوية الطيّارة إلى غازات الميثان وثاني أوكسيد الكربون وماء، وهو يتم على ثلاث مراحل، (الحلمهة - تشكل الحمض (ويدعى أيضاً التخمر) - تشكل الميثان)

(hydrolysis, fermentation, and methanogenesis) [12].

- **في المرحلة الأولى:** تقوم الإنزيمات extracellular enzymes بتحطيم

المواد العضوية (البروتين والسيللوز والدهون) إلى حموض دُهنية عضوية منحلّة، وكحول وثاني أوكسيد الكربون وأمونيا.

- **المرحلة الثانية:** تقوم بكتريا تشكيل الأحماض ومنها الإختيارية بتحويل المنتجات في المرحلة الأولى إلى سلاسل قصيرة من المركبات العضوية الحمضية مع ثاني أوكسيد الكربون والهيدروجين، ويسبب ذلك إنخفاض الرقم الهيدروجيني.
- **المرحلة الثالثة:** هي لاهوائية بامتياز حيث تقوم مجموعتان من البكتريا اللاهوائية، وهي بكتريا الميثان (methanogens). تحول الأولى الكربون والهيدروجين إلى ميثان، والمجموعة الثانية تحول الخلات (acetate) إلى ميثان وثاني أوكسيد الكربون وغيره.

العوامل الأساسية في تصميم المفاعل اللاهوائي هي زمن مكوث المواد الصلبة، وزمن المكوث الهيدروليكي، القلوية، ودرجة الحرارة، و PH، والمواد السامّة، علماً ان بكتريا الميثان حساسة جداً لهذه العوامل. ويتم تسخين المفاعل للحفاظ على درجة حرارة بين 34C°-36C° ويدعى هذا المجال ميسوفيلك (mesophilic) والبكتريا تكون ذات نمو بطيء نسبياً، ومجال PH من (6.8-7.2).

يزيد إنخفاض درجة الحرارة الزمن اللازم للهضم، وكذلك زيادة وجود المعادن الثقيلة أو الأمونيا ammonia، أو الكبريتيد sulfide، أو الكاتيونات المعدنية الخفيفة التي يمكن أن تثبط عمل البكتريا وتعكس عمل المفاعل.

زمن المكوث: في المفاعلات اللاهوائية النظامية (دون تدوير)، زمن المكوث هو نفسه عمر الحمأة SRT (30-60) يوم، 60 يوم بدرجة حرارة 20C° و30 يوم بدرجة حرارة 34C° أما في المفاعلات غير النمطية فتكون مع تدوير ومع تحريك مستمر، فتدعى المفاعلات ذات المعدل العالي (high rate) حيث زمن المكوث (10-20) يوم. ويوجد معيار هام مطلوب هو تحميل المواد الصلبة الطيارة لمنع الزيادة في التحميل في وقت قصير، وفق الجدول (1-1-2-2).

تستخدم حديثا أنظمة مطورة، مزيجاً من الهضمmesophilic و-thermo philic في مراحل منفصلة. تكون المفاعلات على مرحلة أو مرحلتين.

المفاعل ذو المعدل المنخفض التقليدي، أنظر الشكل (2-2-1-1). يكون المفاعل ذو المعدل المنخفض على مرحلة واحدة، ويتكوّن داخله من ثلاث طبقات هي الزبد scum، وطبقة المياه الطافية (الرواقة) وتدعى super-natant، وطبقة الحمأة، حيث تترسب الحمأة المهضومة في الأسفل، وتُعاد المياه الطافية عادةً إلى محطة المعالجة. (نادراً ما يتم استخدام الهاضم القياسي، أو المعدل المنخفض في التصاميم، بسبب حجم الخزان الكبير وعدم وجود خلط مناسب).

- **المفاعل المعدل العالي الأحادي single-stage high-rate**

الشكل (2-2-1-2)a.

ما يميز عملية الهضم في مفاعل المعدل العالي ذو المرحلة الواحدة هو التسخين والخلط الجيد والتغذية الموحّدة ونوع الحمأة المكثفة. ويتم خلط الحمأة بواسطة أحد الأنظمة العديدة مثل إعادة تدوير الغاز، أو الضخ، أو خلاطات بأنبوب السحب، حيث لا يحدث فصل للرغوة (الزَّبد) والسائل العلوي الطافي، كما يجب تسخين الحمأة لتحقيق معدلات الهضم المثلى.

الجدول (2-2-1-1) أهم ضوابط تصميم الهاضم اللاهوائي النظامي وذو المعدل العالي [7] ,[US EPA], [4]

المعيار التصميمي	الواحدة	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:	m^3 /شخص		
• حماة 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 منشطة		0.18 - 0.12	0.11 - 0.07
نسبة إنقاص المواد الصلبة الطيارة	%	60	50
معدل إنتاج الغازات من الهاضم		0.810	1,120
محتوى الميثان في الغازات الناتجة	m^3/kgVSSمدمرة %	65	69

VSS, volatile suspended solid

تُعد التغذية الموحدة أمراً مهماً للغاية، ويجب ضخ الحمأة إلى الهاضم بشكل مستمر، أو على دورة زمنية تتراوح من 30 دقيقة إلى ساعتين، للمساعدة في الحفاظ على ظروف ثابتة في الهاضم. من المهم سحب الحمأة المهضومة من الهاضم قبل إضافة حمأة التغذية في الهواضم التي يتم تغذيتها على دورة يومية مدتها 8 أو 24 ساعة، ذلك لتحسين إزالة البكتريا [12]. كما يجب أن يُزوّد الهاضم باغطية ثابتة أو عائمة.

- في المفاعل المعدّل العالي بمرحلتين Two - stage high-rate، الشكل b.(2-1-2-2)

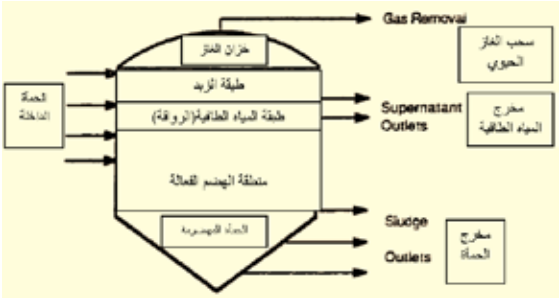
في المرحلة الأولى يتم تثبيت الحمأة، وفي الثانية تتم عملية ترسيب وتكثيف. وقد قلّ إستعمال هذا المفاعل وفي السنوات الأخيرة، وأصبح نادر الإستعمال.

الجدول (2-1-2-3) يبين زمن الاحتفاظ بالمواد الصلبة المقترحة (زمن المكوث) لاستخدامها في تصميم المفاعلات اللاهوائية المزج الكامل، ونرى أنه يعتمد على الحرارة.

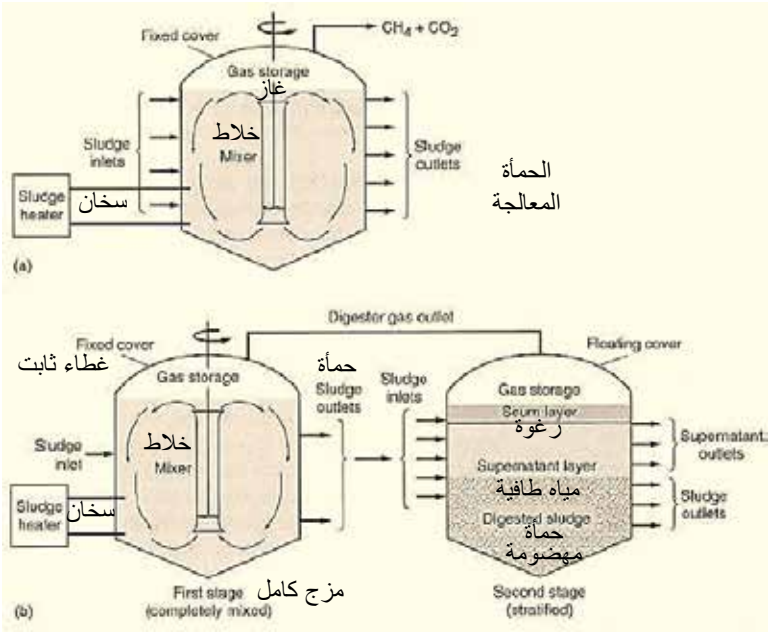
يجب مراقبة القلوية وأن تكون: (2000-3500 mg/L as $CaCO_3$). يتم بناء غطاء خاص للمفاعلات ثابت أو طافي، ويتم تركيب خلّاط آلي داخل المفاعل، أويتم التحريك بواسطة تدوير الغاز الحيوي المنتج (إن مُستَهلك القلوية الرئيسي هو ثاني أوكسيد الكربون المنحل المنتج من عمليات الهضم اللاهوائي).

- إنتاج الغازات. Gas production

يتألف الغاز الحيوي المنتج في المفاعلات من عدة غازات، أنظر الجدول (2-1-2-2)، وتوجد عادة معادلات ناظمة لحساب الغازات المنتجة، تعتمد على الأحمال الداخلة إلى المفاعل [7]. ويتم تقدير إجمالي إنتاج الغاز من النسبة المئوية لتخفيض كمية المواد الصلبة المتطايرة، وتختلف القيم النموذجية من 0.75 إلى 1.12 $م^3$/كغ من المواد الصلبة المتطايرة التي تم (تدميرها) استهلاكها [12].



الشكل (2-2-1-1) الهاضم اللاهوائي - مرحلة واحدة [7]



الشكل (2-2-1-2) الهاضم اللاهوائي المعدل العالي، aمرحلة واحدة، b مرحلتان [12]

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

يمكن تقدير إنتاج الغاز على أساس الفرد، فالحمأة الأولية في محطات المعالجة التي تعالج الصرف الصحي العادي تعطي 15 إلى 22م^3/ 1000

شخص. وفي محطات المعالجة الثنائية يكون إنتاج الغاز حوالي 28م^3/ 1000 شخص [4].

ويتراوح إنتاج الغاز في الهاضم من 810 إلى 1120 لتراً لكل كغ من المواد الصلبة المتطايرة التي تم تدميرها [7].

هنا، يجب الإنتباه إلى أنه إذا تجاوزت كمية ثاني أوكسيد الكربون 35% فهذا يعني وجود مشكلة ما في المفاعل.

الجدول (2-2-1-3) مقترح زمن الاحتفاظ بالمواد الصلبة لاستخدامه في تصميم الهاضمات اللاهوائية مزج كامل [12]

complete-mix anaerobic digesters

Operating temperature,°c	SRT (minimum)	SRT
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

2-2-1-1. حساب حجم الغاز.

يمكن حساب كمية غاز الميثان المنتج من المعادلة (2-2-1-1) [7]، [2].

$$V = 350[Q(S_0-S)/ (1000)-1.42\ P_x] \quad (2\text{-}2\text{-}1\text{-}1)$$

V - حجم الميثان المنتج في الظروف النظامية

(درجة حرارة 0 cº و1 ضغط جوي) L/d.

350-عامل تحويل لكمية إنتاج الميثان من 1 كغBOD النهائي المؤكسد (350 L/kg)

1000 - 1000 g/kg.

Q - معدّل التدفق m^3/d.

S_0 - Ultimate mg/L BOD الداخل .

S - Ultimate mg/L BOD الخارج .

P_X - الكتلة الصافية المنتجة من الخلايا kg/d. (المواد الصلبة الطيارة).

من أجل هاضم لاهوائي معدّل عالي ذو مرحلتين بدون إعادة تدوير، يمكن تقدير كتلة المواد الصلبة البيولوجية التي يتم انتاجها يومياً، P_x، بالمعادلة (2-1-2-2-2).

$$P_X = y\{Q(S_0-S)\}/1+K_d\,\theta_c \qquad (2\text{-}1\text{-}2\text{-}2\text{-}2)$$

Y - عامل الإنتاج الخلوي الصافي kg/kg [2]

k_d - عامل الإضمحلال /يوم أو 1/t [2]

θ_c- mean cell residence time. زمن الاحتفاظ بالحمأة (أو عمر الحمأة أو SRT(d.

مسألة.

نستعمل هاضم حمأة لا هوائي مزج الكامل، لمعالجة حمأة أولية، حدد حجم، ومن ثم دقق نسبة التحميل واحسب كمية غاز الميثان والغاز الكلي المنتج وفق المعطيات في الجدول التالي.

التدفق الوسطي	3785 m^3/d
المواد الصلبة الجافة المزالة	0.15 kg/m^3
النهائي المزال Ultimate BOD_L	0.14 kg/m^3
نسبة المواد الصلبة	5% (نسبة الرطوبة 95%)
الوزن النوعي للمواد الصلبة	1.01
θ_c	15 d
درجة الحرارة	35 C°
Y	0.05 kg cells/kg BODL
K_d	0.04 / d
كفاءة الاستغلال	0.66

الحل.

الخطوة 1. حساب كمية الحمأة المنتجة في اليوم.

حجم الحمأة المنتجة في اليوم

$$(3785m^3/d)(0.15kg/m^3)/\ 1.01\ (1000\ kg/m^3)\ (0.05\ kg/kg)=$$

$$Q = 11.24 m^3/d$$

الخطوة 2. حساب معدل التحميل BOD_L

$BOD_L = 0.14\ kg/m^3 \times 3785\ m^3/d = 530\ kg/d$.

الخطوة 3. حساب حجم المفاعل من الخطوة 1.

$$V = Q\,\theta_c = (11.24 m^3/d)(15d) = 169 m^3$$

إستعمل نفس الحجم للمفاعل للمرحلة الأولى والثانية.

الخطوة 4. التحقق من التحميل الحجمي BOD_{LO}.

$$BOD_{LO} = 530 kg/d / 169\ m^3 = 3.14\ kg/(m^3.d)$$

الخطوة 5. حساب كتلة المواد الصلبة الطيارة المنتجة في اليوم بإستعمال المعادلة (2-2-1-1-2-2)

$$QS_0 = 530\ kg/d$$

$$QS = 530\ kg/d\ (1 - 0.66) = 180\ kg/d$$

$$P_X = yQ(S_0-S)\ /1+K_d\,\theta_c$$

$$P_X = 0.05\ (530-180)/1+0.04 \times 15d = 10.9\ kg/d$$

الخطوة 6. حساب نسبة التثبيت للمواد العضوية.

$$\%=\{(530-180)-1.42(10.9)\}kg/d/530\ kg/d = 6.31$$

الخطوة 7. حساب حجم غاز الميثان المنتج باليوم من المعادلة (2-2-1-1-2-1).

$$V = 350\ L/kg\ [(530 - 180) - 1.42\ (10.9)]\ kg/L = 117000\ L/d = 117\ m^3/d$$

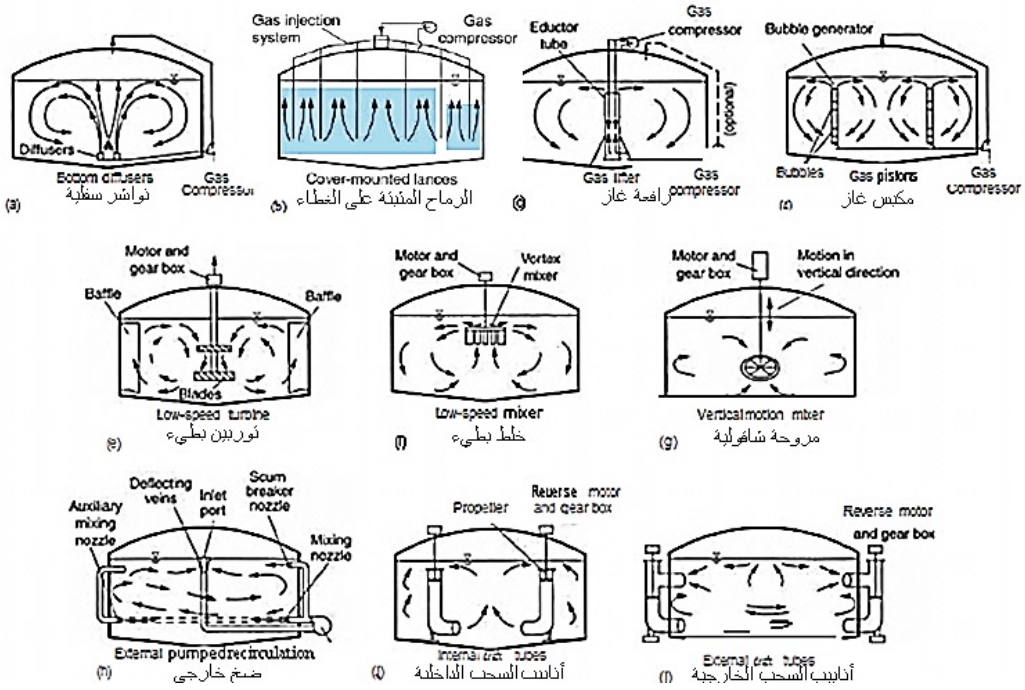
الخطوة 8. حساب حجم الغاز الكلي V_T المنتج (CH_4 + CO_2) وعادةً من (65-69)% من الغاز ميتان - نختار 0.67.

$$V_T = (117\ m^3/d)/0.67 = 175\ m^3/d$$

2-1-2-2. أنواع الهواضم اللاهوائية وطرق المزج.

2-1-2-1-2-2. الهاضم الإسطواني.

يتم مزج الحمأة داخل المفاعل إما بواسطة الغاز الحيوي المنتج، حيث يتم ضغطه ضمن الهاضم، أو يتم المزج ميكانيكياً. الشكل (2-2-1-2-1-1) يبين الأدوات المستخدمة لمزج محتويات الهواضم اللاهوائية عالية الأداء. الجدول (2-2-1-2-1-1). معاملات (مُعلمات) التصميم النموذجية لأنظمة المزج في الهاضم اللاهوائي.



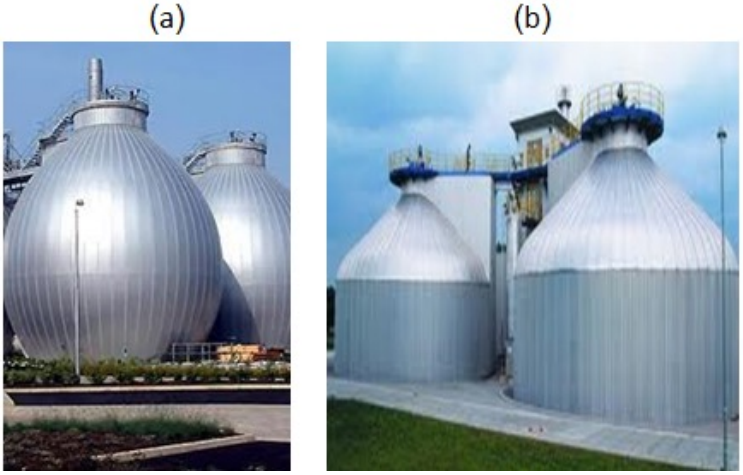
الشكل (2-2-1-2-1-1). الأجهزة المستخدمة لمزج محتويات الهواضم اللاهوائية عالية الأداء: (a) و (b) أنظمة حقن الغاز غير المحصورة unconfined gas injection. (c) و (d) أنظمة الحقن المحصورة confined gas injection systems. (e), (f), (g) أنظمة المزج الميكانيكية. (h),(i),(j) أنظمة الضخ الميكانيكية, [12]

الجدول (2-2-1-2-1-1) معاملات (المُعلمات) التصميم النموذجية لأنظمة المزج في الهاضم اللاهوائي [12] ,[EPA]

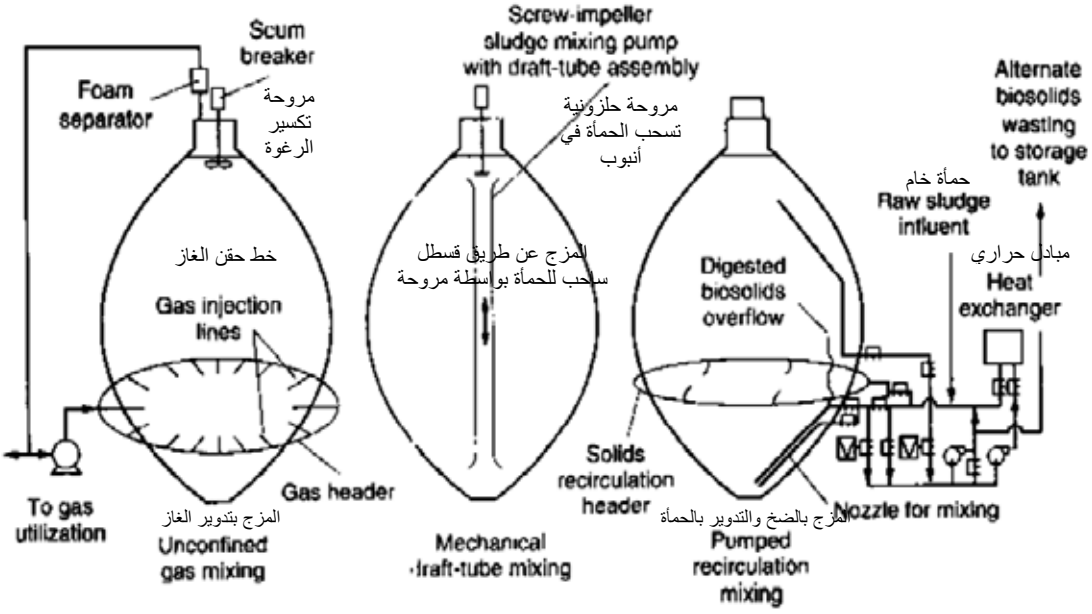
Parameters المعلاملات	Type of mixing system نوع المزج	Typical values القيمة النموذجية
Unit power واحدة القدرة	Mechanical systems مزج ميكانيكي	0.005-0.008 kW/m^3 of digester Volume من حجم الهاضم
Unit gas flow واحدة تدفق الغاز	**Gas mixing مزج بالغاز**	
	Unconfined	0 .0045-0.005m^3/m^3 ·min
	Confined	0 .005-0.007 m^3/m^3 ·min
Velocity gradient, G سرعة الدوران	All	50- 80 s^{-1}
Turnover time of tank contents زمن تدوير محتويات الخزان	Confined gas mixing and mechanical systems المزج بالغاز المحصور+ الأنظمة الميكانيكية	2~30 min

2-2-1-2-2. الهاضم اللاهوائي البيضوي Egg-shaped anaerobic digester

الهاضم البيضوي (وهو اختراع ألماني 1950)، الشكل (2-2-1-2-2-a, b,1)، a. يبيّن هاضم لاهوائي بيضوي b. هاضم لاهوائي إسطواني. والهاضم بشكل البيضة المقلوبة يقلل الحجم الغير فعال، ويكون أقل كلفةً بالنسبة لطاقة المزج، ويمكن ضخ المواد الراسبة من الأسفل إلى الأعلى لتغطيس المواد الخفيفة، أو عمل مزج ميكانيكي، أو مزج بالغاز الحيوي المنتج. يبنى الهاضم عادةً من الفولاذ ويصل إرتفاعه إلى أكثر من 40 م. الشكل (2-2-1-2-2) يوضح نماذج لطرق مزج الحمأة في الهاضم البيضوي.



الشكل (2-2-1-2-2-1,a ,b) هاضم لاهوائي a. البيضوي b. هاضم إسطواني



الشكل (2-2-1-2-2) نماذج لطريقة مزج الحمأة في الهاضم شكل البيضة [4]

3-2-1-2-2. الهضم اللاهوائي المتقدم Advanced Anaerobic Digestion

تم تطوير عمليات الهضم اللاهوائي المتقدمة لزيادة تقليل المواد الصلبة المتطايرة أثناء الهضم اللاهوائي، و/أو إنتاج حمأة من الفئة A عالية الجودة من أجل الاستخدام الزراعي. من بين عمليات الهضم اللاهوائي المتقدمة الهضم thermophilic، والهضم بـ ثيرموفيليك مرحلي staged thermophil-ic digestion والهضم ميسوفيلك مرحلي، staged mesophilic digestion، والهضم في الطور الحمضي/الغازي، acid/gas phase digestion و-temper ature phased digestion .

سنذكر كمثال حالة الهضم اللاهوائي المتقدم بمفاعل ثيرموفيلك.

1-3-2-1-2-2. الهضم اللاهوائي بمفاعل ثيرموفيلك Thermophilic Anaerobic Digestion

يتم تصنيف كل من الهضم mesophilic , thermophilic كعمليات لتقليل مسببات الأمراض بشكل كبير (PSRP).

ويحدث الهضم thermophilic في درجات الحرارة بين 50 و57 درجة مئوية، وهي ظروف مناسبة لبكتيريا thermophilic نظراً لأن معدلات التفاعل الكيميائي الحيوي تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة، وتتضاعف مع كل 10 C°، وبذلك فإن الهضم الحراري Thermophilic يكون أسرع بكثير من الهضم اللاهوائي العادي الميسوفيليك mesophilic. تم استخدام طريقة الهضم Thermophilic ذات المرحلة الواحدة فقط في تطبيقات محدودة، وتم استخدامها في معالجة الحمأة البلدية بشكل أساسي كمرحلة أولى من عملية الهضم اللاهوائي على مراحل [12].

2-2-2. الهضم الهوائي للحمأة Aerobic digestion

يستعمل الهضم الهوائي لكافة أنواع الحمأة، أولية أو ثنائية أو مشتركة بتهوية مطوّلة، أو من المرشحات البيولوجية، وقد يصل تدفُّق المحطات التي تعمل بهضم الحمأة الهوائي إلى (2) م^3/ثا [12]. في الهضم الهوائي يتم إرجاع

المواد الصلبة العضوية في الحمأة إلى ثاني أوكسيد الكربون وأمونيا وماء بواسطة بكتريا هوائية، ويتم بهذه الطريقة القضاء على الروائح والكائنات الممرضة. يتم تزويد المفاعل بالحمأة عموماً بالدفقات أو نصف دفقات أو تدفق مستمر. عادة يكون تركيز المواد الصلبة المتطايرة VSS في حدود (1.6 -4.8) كغ/م^3/يوم [12]، الجدول (2-2-1) يعطي أهم ضوابط التصميم للهواضم الهوائية.

يكون زمن المكوث (15-20) يوم [7], وأيضاً يمكن أن يكون الهضم بواسطة الأوكسجين الصافي. حوض المعالجة النموذجي يكون على مرحلة واحدة ويشبه عمل الحمأة المنشطة.

في الحالات التي تكون فيها قدرة التخزين المؤقتة غير كافية، سيؤدي ذلك إلى إنخفاض قيمة الأس الهيدروجيني إلى أقل من 5.5, عندها يكون من الضروري تركيب معدات لإضافة القلوية للحفاظ على الرقم الهيدروجيني المطلوب.

- ميزات الهضم الهوائي:

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

- ومن أهم المساوئ:

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

فنجد مثلاً في الهضم اللاهوائي أن تركيز المواد الصلبة أكبر منه في الهضم الهوائي، وقد يصل إلى أكثر من مرة ونصف إلى مرتين. وغالباً ما يتم استخدام التهوية المغمورة (المذرورة) للمحطات الصغيرة والمتوسطة، في هذه العملية يتم توفير الأكسجين وتأمين خلط الحمأة، كما تستعمل التهوية السطحية في المحطات الكبيرة حيث تحصل الحمأة على الأوكسجين والمزج.

ويُتبع إحدى الطرق التالية في المعالجة الهوائية:

- المعالجة بالدفقات Batch يتم إملاء الحوض بالحمأة ويتم التهوية من 2-3 أسبوع ثم يوقف الهضم وتترسب الحمأة ويتم سحب المياه الطافية من الأعلى والحمأة المهضومة الراسبة من الأسفل، من (US EPA 1991).
- نصف دفقات 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.

ويحدّد حجم الهاضم نوع الحمأة وتحميل المواد الصلبة العضوية الطيّارة. إن درجة الحرارة المناسبة للهضم الهوائي تتراوح بين (18-27) درجة مئوية. ويزداد زمن الهضم إلى أكثر من مرتين في الدرجة 15 C°. ويتم تخفيض المادة العضوية من (40-50)% والكائنات الممرضة حتى 90% في المعالجة الهوائية للحمأة.

الجدول (2-2-2-1) يعطي أهم ضوابط التصميم للهواضم الهوائية [4] + wef

العنصر التصميمي	الوحدة	المجال
- زمن الحجر الهيدروليكي بدرجة حرارة 20 C°:	يوم	
• **حمأة منشطة دون وجود أحواض ترسيب أولي.**		20 -15
• **حمأة أولية + حمأة منشطة أو حمأة من مرشح**		25 - 20
تحميل المواد الصلبة الطيارة.	$KgVSS/m^3/d$	3.2 - 1.1
الاحتياج الأوكسجيني لتهديم المواد العضوية:	$KgO_2/kgVSS/d$	3 - 1.5
- احتياج الهواء المذرور (المُذرر).	m^3هواء/hr/$\underline{m^3}$ هاضم	
• **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 الأوكسجين المنحل.	mg/L	2-1
- إنقاص المواد الصلبة الطيّارة.	%	50 -40

وهناك أيضاً طريقة أخرى للتصميم تعتمد على الحجم اللازم في المفاعل الهوائي لكل شخص مكافئ.

الجدول (2-2-2-2) يعطي الحجم الموصى به للشخص المكافئ.

يجب أن تحقق كمية الأوكسجين في الحوض DO (1-2) mg/L، وينصح بتسخين الهاضم الهوائي في درجات الحرارة المنخفضة. يعطى إحتياج الحمأة من الهواء المذرور (من أجل الحمأة المنشطة)

[EPA]. {(20 -30) L/ (mint . m^3)}

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

2-2-2-1. الهضم المزدوج Dual Digestion

تم استخدام الهضم الهوائي thermophilic على نطاق واسع في أوروبا كمرحلة أولى في عملية الهضم المزدوج للحمأة، والمرحلة الثانية هي الهضم

اللاهوائي. وقد تمت تجربة الهضم المزدوج كذلك في USA باستخدام الأوكسجين عالي النقاء.

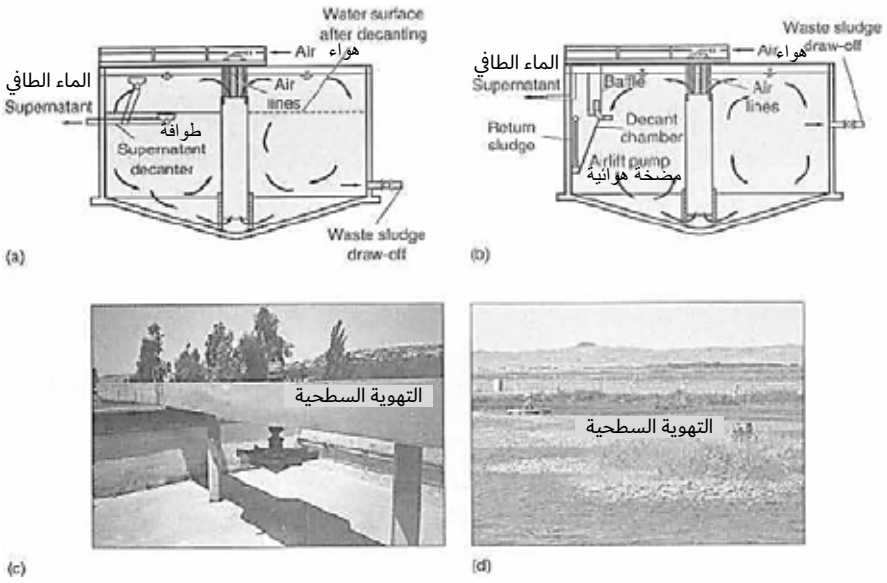
يتراوح زمن المكوث في الهاضم الهوائي عادةً من 18 إلى 24 ساعة، ودرجة حرارة المفاعل من 55C° إلى 65C°. زمن المكوث النموذجي في المفاعل اللاهوائي هو 10 يوم

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

نوع الحمأة	الحجم لكل شخص مكافئ m^3
الحمأة المنشطة بدون ترسيب أولي	0.13
حمأة أولية + حمأة منشطة	0.11
الحمأة المنشطة المصرفة WAS 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. [7] + Greater Lakes Upper Mississippi River Board)



الشكل (2-2-2-1 a,b,c,d) نماذج لأحواض الهضم الهوائي ويبين طريقة سحب الماء الطافي وطرق التهوية المختلفة [Metcalf&Eddy2014, 12]

تتمثل مزايا استخدام الهضم الهوائي Thermophilic في الهضم المزدوج في:

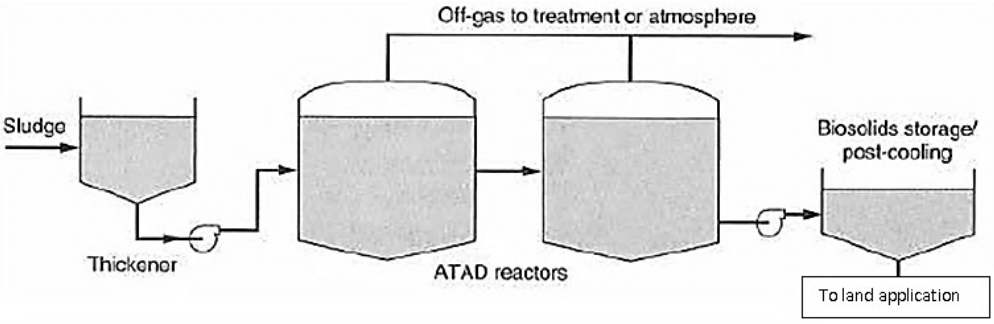
1. تقليل مستويات مسببات الأمراض.
2. تقليل المواد الصلبة المتطايرة بشكل عام.
3. زيادة توليد غاز الميثان في الهاضم اللاهوائي.
4. كمية أقل من المواد العضوية في الهاضم اللاهوائي ورائحة أقل.
5. حجم الأحواض أقل بمقدار الثلث مقارنة بالهاضم اللاهوائي أحادي المرحلة.

يؤدي التحلل المائي السابق في المفاعل الهوائي إلى زيادة التحلل أثناء عملية الهضم اللاهوائي اللاحقة وزيادة إنتاج الغاز. بالنسبة لموضوع الرائحة فيطلب ادارتها والتحكم بها بشكل مناسب [12].

2-2-2-2. هضم الحمأة بطريقة (ATAD)

Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion

في طريقة الهضمATAD ، الشكل (2-2-2-2-1) يتم تكثيف حمأة التغذية مسبقاً، وتزويدها بالأوكسجين النقي، كما يتم عزل المفاعلات للحفاظ على الحرارة الناتجة عن أكسدة المواد الصلبة الطيّارة أثناء عملية الهضم. تكون درجات حرارة التشغيل وفق نطاق Thermophilic (عموماً في حدود 55 إلى 70 درجة مئوية) دون إدخال حرارة خارجية حيث يتم استخدام الحرارة الناتجة عن عملية Exothermic microbial oxidation Process. وتُسمى العملية بالحرارة الذاتية Autothermal. (وتدخل أيضاً تحت بند تثبيت الحمأة) [12].



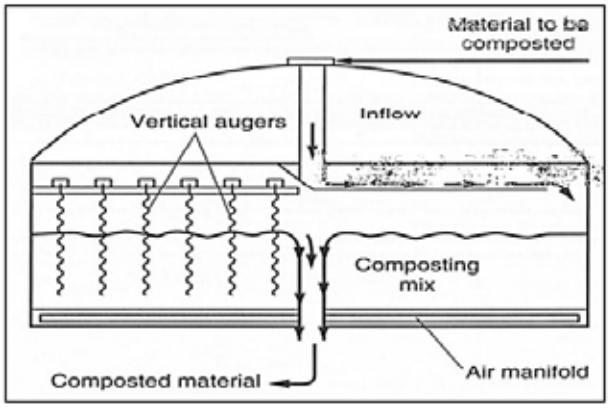
الشكل (2-2-2-2-1) نظام هاضم الحمأة (ATAD) - مخطّط سير العملية

[Metcalf & Eddy 2014 ,12]

3-2-2-2. طرق أخرى للهضم الهوائي

أنظمة الأسَمدة داخل الوعاء In-Vessel Composting Systems

وهو نظام حاوية مغلقة، حيث يتم تصميم الأنظمة الميكانيكية في هذا النظام آخذين في الإعتبار تقليل الروائح، وزمن المعالجة من خلال التحكّم في الظروف البيئية، مثل تدفق الهواء، ودرجة الحرارة، وتركيز الأوكسجين. يمكن تقسيم أنظمة الأسمدة داخل الوعاء إلى فئتين رئيسيتين: التدفُّق الكُتليPlug flow ، والديناميكي Dynamic. في أنظمة التدفُّقplug flow ، تظل العلاقة بين جزيئات الحمأة في كتلة التسميد كما هي طوال العملية، ويعمل النظام على أساس من دخل أول خرج أول. في النظام الديناميكي، يتم خلط المادة المسمدة ميكانيكياً أثناء المعالجة. الشكل (2-2-2-3-1).



الشكل (2-2-2-3-1) وحدات الأسَمدة الديناميكية داخل الوعاء، مفاعل شاقولي [12]

3-2-2. التثبيت بالكلس Lime stabilization

في عملية تثبيت الحمأة بالكلس يتم رفع درجة PH حتى 12 لمدة 2 ساعة زمن تماس مع المواد الصلبة [12]. وفي أثناء المعالجة ترتفع درجة الحرارة، مما يعطّل النمو الحيوي ويدمِّر كثير من العوامل المُمرضة، ولكن - عملياً لم - تعالج الحمأة، لأنه بمجرد تخفيضPH إلى 11 تبدأ البكتريا بالعمل ثانيةً، ويمكن أن تنشط العوامل المُمرضة من جديد، ولذلك يجب معالجة

الحمأة قبل تصريفها بوقتٍ كافٍ، وخصوصاً عند تطبيقها على الأراضي. الجدول (2-2-3-1) يبيّن جرعات الكلس النموذجية لتثبيت الحمأة. وتتضمن عملية تثبيت الكلس مجموعة متنوعة من التفاعلات الكيميائية التي تغيّر التركيب الكيميائي للحمأة. وفيما يلي بعض المعادلات المبسطة التي توضح أنواع التفاعلات التي قد تحدث.

Calcium

$$Ca^{2+} + 2HCO_3^- + CaO \rightarrow 2CaCO_3 + H_2O$$

Phosphorus

$$2PO_4^{3+} + 6H^+ + 3CaO \rightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 3H_2O$$

الجدول (2-2-3-1) جرعات الكلس النموذجية لتثبيت الحمأة [12], [WEF95]

نوع الحمأة Type of sludge	نسبة المواد الصلبة % solid concentration		الجرعة Lime dosages g $Ca(OH)_2$/ kg dry solids	
	Range	Average	Range	Average
Primary	3-6	4.3	60-170	120
Waste activated	1-1.5	1.3	210-430	300
Septage	1-4.5	2.7	90-510	200

2-2-3-1. تقنيات التثبيت القلوية المتقدمة

Advanced Alkaline Stabilization Technologies

يمكن إجراء التثبيت القلوي للحمأة باستخدام مواد أخرى غير الكلس، مثل غبار الأسمنت، أو غبار الكلس، أو الرماد.. الخ، حيث يمكن أن تثبّت الحمأة وتمنع انتشار الرائحة.

2-2-3-2. محاسن ومساوئ إستعمال التثبيت بالكلس.

أهم محاسن إستعمال التثبيت بالكلس:

هو القضاء على مسببات الأمراض، ورخص كلف التثبيت، وسهولة

التعامل مع مادة الكلس، إضافة إلى أنها طريقة معتمدة.

من مساوئ إستعمال التثبيت بالكلس:

- الحمأة الناتجة غير مناسبة للاستخدام على جميع أنواع التربة عند التطبيق، وخاصة التربة ذات القلوية العالية.
- يتم زيادة حجم الحمأة الناتجة بحوالي 15 إلى 50% مقارنة بتقنيات التثبيت الأخرى.
- محتوى النيتروجين في المنتج النهائي أقل، بسبب تطاير الأمونيا ammo-nia volatiliza
- محتوى الفوسفور أقل، بسبب تكوين فوسفات الكالسيوم calcium phosphate

2-2-4. الأسَمدة Composting

هو تحلُّل هوائي للحمأة إلى منتج نهائي مكون من المواد الثابتة (دبال) بدرجات حرارة عالية (مع ملاحظة أن بعض عمليات الأسَمدة تتم لا هوائياً) ويتحوّل حوالي 20 - 30% من المواد الصلبة الطيّارة إلى ماء وثاني أوكسيد الكربون بدرجة حرارة بين 60 C° - 70 C°، وكذلك فإنه في نطاق البسترة التي تحدث، يتم القضاء على مسببات الأمراض المعوية. تعمل على عمليات التحليل بكتريا خاصة تدعى (ثيرموفيلك) Thermophilic (بكتريا تكون درجة الحرارة المثالية لنموها 60 C° - 70)، وتكون نسبة الرطوبة اللازمة 50 - 60% وتصبح بعد الأسَمدة حوالي 40 - 50% وقد تصبح نسبة المواد العضوية المتطايرة 40%[US EPA 1991]،[7]. ويجب ألا تزيد الرطوبة في الحمأة عن 60% وإلا إحتاجت إلى نزع للماء. لتحسين أداء الأسَمدة، يمكن أن تضاف مواد مُخَلخِلة مساعدة كقطع الخشب والنشارة والتبن، وذلك لإحداث فراغات في الحمأة تساعد في التهوية والمعالجة. ويتم تزويد الهواء إما قسراً أو بالتقليب، للحفاظ على مستوى الأوكسجين بنسبة بين 5-15، [7] لضمان عدم صدور الروائح.

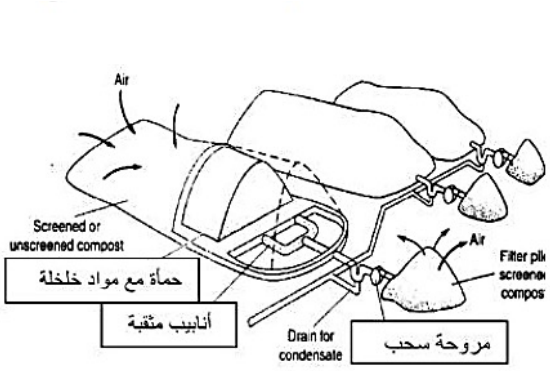
كما يمكن خلط الحمأة مع المخلفات الصلبة البلدية بمعدل 1 حمأة 2 نفايات صلبة.

في اليوم الخامس يجب أن تكون الحرارة 40 C°، ويجب أن نقلبها كحد أدنى 3 مرات خلال مدة 15 يوم، وبدرجة حرارة على الأقل 55 C° لقتل مسببات الأمراض. الجدول (2-2-4-1) يوضح معايير تصميم عملية أسَمدة الحمأة. (للمزيد من التوسع، الرجاء الإطلاع على المراجع في نهاية الكتاب). الشكل (2-4-1,a,b) أكوام حمأة منعزلة مع تهوية آلية. الشكل (2-2-4-2, a, b, c) يبين أكوام حمأة مستمرة مع تقليب آلي وتدعى windrow.

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

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

(a)



(b)

الشكل (2-2-4-1 ,a,b) أكوام حمأة منعزلة مع تهوية قسرية. [12]
(Force-aerated static pile)

a

b

c

الشكل (2-2-4-2 ,a, b, c) أكوام حمأة منعزلة مع تهوية آليةwindrow ، وآلة لتقليب الحمأة [Ope Co .ua], [EYS]

2-2-5. تكييف الحمأة Sludge conditioning

يتم تكييف الحمأة قبل عملية نزع الماء، وذلك لتحسين أداءها، وزيادة إزالة المياه منها، وتتم بإحدى طريقتين (كيميائية، وفيزيائية):

2-2-5-1. الطرق الكيميائية.

عند تكييف الحمأة كيمائيا يمكن أن تنخفض الرطوبة من 90 - 99% إلى 65 - 80% [WPCF a. 1988]، ويؤدي التكييف الكيميائي إلى تشُّكل الندف (تكتُّل) في الحمأة والمواد الصلبة الحيوية لتحقيق فصل فعَّال بين السائل والصلب. ويستخدم التكييف الكيميائي مواد كيميائية غير عضوية وبوليمرات عضوية قابلة للذوبان في الماء organic polyelectrolytes، أو كليهما. وتستخدم عادةً المكيفات غير العضوية التالية:

Lime, ferric chloride, ferrous sulfate, aluminum sulfate, aluminum chloride.

ولكن في بعض التطبيقات عندما يصعب نزع الماء من الحمأة ويتطلب جرعات بوليمر عالية، فغالباً ما تُستخدم أملاح الحديد في التكييف. لا تزيد البوليمرات من محتوى المواد الصلبة الجافة، بينما يمكن أن تزيد أملاح الحديد والكلس من محتوى المواد الصلبة الجافة بنسبة 20 إلى 30 بالمائة [12].

2-2-5-1-1. تحضير المواد الكيميائية من أجل تكييف الحمأة.

- **البوليمرات Polymers**

البوليمرات عبارة عن مواد كيميائية عضوية خاصة قابلة للذوبان في الماء، ويمكن ان تدعى organic polyelectrolytes، وتختلف أنواع البوليمرات وفقاً للشحنة الكهربائية وكثافتها، والوزن الجزيئي، والبنية الجزيئية.

نظراً لأن الحمأة بشكل أساسي مشحونة بشكل سلبي، فإن البوليمرات الكاتيونية تستخدم بشكل شائع للتكييف، وهي ذات وزن جزيئي كبير وكثافة كهربائية عالية. ويعد بولي أكريلاميد الكاتيوني Cationic polyacrylamide (PAM) العمود الفقري لمعظم البوليمرات المتاحة تجارياً إن لم يكن كلها،

وذلك من أجل الحمأة وتكييف الحمأة [12].

الشكل (2-2-5-1-1-1) يبين نموذجاً لجهاز آلي لتحضير البوليمرات ومزجها مع الحمأة.

يمكن تقدير الكمية المحتملة لجرعات البوليمر المطلوبة بناءً على مصدر الحمأة. (فعلى سبيل المثال، الحمأة الأولية، الحمأة المنشطة المصرفة، الحمأة المهضومة.. الخ)، وتشمل الخصائص المهمة المطلوب دراستها تركيز المواد الصلبة والشحنة الكهربائية للحمأة.

يؤدي زيادة تدمير المواد الصلبة المتطايرة في مفاعلات الهضم الهوائي واللاهوائي إلى زيادة الطلب على البوليمر. ويوصى بإجراء تجارب مخبرية لتحديد أنواع البوليمرات والجرعات المطلوبة، خاصة بالنسبة لنوعيات من الحمأة تكون من الصعوبة نزع الماء منها [12]. كما يجب إستشارة الشركات المصنّعة للبوليمر للحصول على معلومات التطبيق والجرعات.

- **المواد الكيميائية بشكل بودرة.**

يسهّل استخدامنا للمواد الكيميائية في شكل بودرة عملية تكييف الحمأة، حيث يتم تحضير المواد الكيميائية وقياسها وضخّها ومزجها في شكل سائل. ويلزم الأمر توفير خزانات مقاومة للتآكل لحل بودرة المواد الكيميائية بما يكفي لاستيعاب يوم واحد على الأقل من المواد الكيميائية السائلة، وعادة يجب أن تُجهّز المحطة بمجموعتي عمل، وفي المحطات الكبيرة يجب ان يكون الخزان كافٍ لوردية واحدة.

تستعمل عموماً المضخات نوع الإزاحة الإيجابية مع محركات متغيّرة السرعة، أو محركات ثنائية الأشواط، للتحكُّم في معدل التدفُّق.

الشكل (2-2-5-1-1-1) نموذج وحدة تحضير المواد الكيميائية مع مضخّات الجرعات [Mid-Chem Technology]

2-2-5-2. الطرق الفيزيائية.

من أشهر الطرق الفيزيائية المستخدمة في تكييف الحمأة التكييف الحراري، الإهتزازات فوق الصوتية، التسخين المسبق وغيره.

2-2-5-2-1. التكييف الحراري

Thermal conditioning (او Thermal Hydrolysis TH)

التحلُّل الحراري (TH) هو عملية تكييف حراري تعمل عند درجات حرارة منخفضة في نطاق 150 - 200 C°, 8-9 bar [12]. المخطط في الشكل (2-2-5-1-2) يبين التكييف الحراري في أنظمة الإدارة والإستفادة من الحمأة إما للزراعة، أو للمعالجة اللاهوائية أو للحرق. والآن انتشر التحلُّل الحراري كخطوة مسبقة لتحسين أداء المعالجة اللاهوائية وإنتاج غازات مفيدة بكمية أكبر.

تشمل فوائد التحلل الحراري:

1. تعمل المعالجة الحرارية على فتح الخلايا وإطلاق البروتوبلازم البروتيني بشكل رئيسي، كما أنها تكسر البروتين، وينتج سائل بني داكن يتكون من متعددات الببتيد القابلة للذوبان، ونيتروجين الأمونيا، والحموض الطيّارة، والكربوهيدرات. إن المادة الصلبة المتبقية هي مادة معدنية وبقايا جدران الخلايا [47]، وهذا يساعد في تحقيق زيادة كبيرة في إنتاج الغاز الحيوي في مرحلة الهضم اللاحقة وإنخفاض في حجم الهاضم.
2. تحسين خصائص إزالة المياه من الحمأة التي ستُهضم لاحقاً، حيث يؤدي في كثير من الحالات إلى إرتفاع نسبة المواد الصلبة بعد التكثيف، حيث بلغت نسبة المواد الصلبة 30%.
3. الحمأة الناتجة عالية الجودة من حيث الرائحة والملمس، و تقع نسبة إزالة العوامل المُمرضة ضمن الفئة الممتازة، وعادة تدعى A.
4. تخفيض كبير في حجم الهاضم اللاهوائي، من خلال تقليل لزوجة الحمأة المعالجة بالتحلُّل الحراري، مما يسمح بضخ وخلط تراكيز أعلى من المواد الصلبة أثناء عملية الهضم.

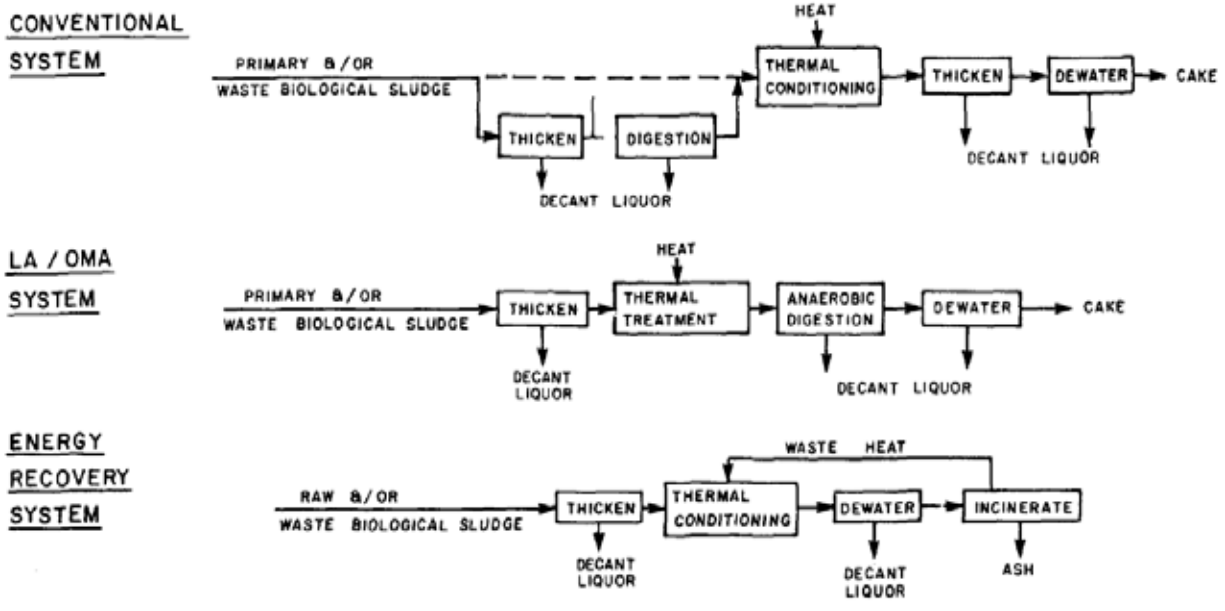
2-2-5-1-1-2. طريقة كامبي في التكييف الحراري للحمأة Cambi process

تدعى الطريقة أيضاً طريقة كامبي للتحلّل الحراري Cambi Thermal Hydrolysis، وهي تزيد الغاز المنتج في المفاعلات اللاهوائية، وتخفّف بصمة الكربون، وتُحسّن نوعية المادة العضوية، وتزيد من كمية تحميلها في المفاعل اللاهوائي لاحقاً، وبالتالي تصّغر من حجمه، وتُحّسن من عملية نزع الماء.

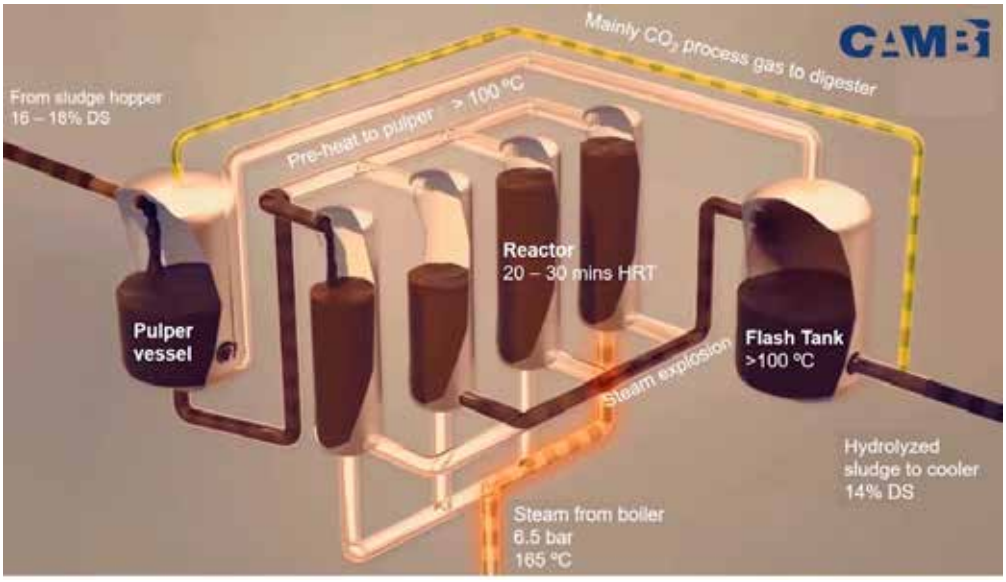
- تدخل حمأة محطة المعالجة الأولية والثانوية المكثفة بنسبة 16-18% بشكل مستمر إلى خزان خاص (pulper vessel)، يعمل على تجانس وتسخين الحمأة مسبقاً إلى درجة حرارة قريبة من 100 C°، وذلك باستخدام البخار المُسترد من خزّان التحرُّر الأخير (Flash tank). أنظر الشكل (2-2-5-1-1-1-2) والشكل (2-1-1-2-5-2-2).

- يتم تغذية الحمأة الساخنة بشكل مستمر إلى المفاعلات في عملية متتابعة تضمن تزويد كل مفاعل على حدة لمدة 30-20 دقيقة. وبمجرد امتلاء المفاعل تتدفّق الحمأة إلى المفاعل التالي (الفارغ). ويوجد عادةً ما بين 2 و5 مفاعلات، اعتماداً على حجم الحمأة وحجم المفاعل ووقت الاحتفاظ الهيدروليكي.
- عندما يمتلئ المفاعل ويُغلق الصمّام، يتم ضخ البخار لرفع درجة الحرارة إلى 160 C° إلى 180 C° عند ضغط حوالي 6 بار [حسب طريقة cambi] لضمان قتل مسببات الأمراض.
- ومن المفاعل يتم تمرير الحمأة المعقّمة والمتحلّلة مائياً إلى خزان التحرُّر الأخير (Flash tank) الذي يعمل عند الضغط الجوي. ويؤدي الإنخفاض المفاجئ في الضغط إلى تدمير كبير لخلايا المادة العضوية الموجودة في الحمأة. كما يتم إعادة البخار الناتج عن تحرّره إلى خزان التحضير الأول (pulper vessel)، وذلك لتسخين الحمأة الواردة.
- بعد مغادرة الحمأة لخزان التحرُّر (Flash tank)، يتم تبريدها إلى درجة الحرارة النموذجية اللازمة لعمل المفاعل اللاهوائي.

للحصول على تفصيل المعلومات يمكن الرجوع الى
[Cambi process], [12], [Giotto water Co].



الشكل (2-2-5-2-1-1) التكييف الحراري في أنظمة إدارة الحمأة [57]



الشكل(2-2-5-2-1-1-1) مخطّط عام لطريقة كامبي (Cambi process)
في التحلّل الحراري للحمأة

الشكل(2-2-5-2-1-1-2) صورة لجهاز التحلّل الحراري للحمأة من شركة
[Hrarslev Giotto, water co]

2-2-5-2-2. الموجات فوق الصوتية Ultrasonic sludge dewatering

تتسبب الموجات فوق الصوتية عالية التردُّد في إهتزاز الحمأة، وتتسبب الإهتزازات في ظهور فقّاعات الحمأة وإنفجارها، وعندما تنفجر الفقّاعة تكون مصحوبة بقوة قص قوية، ودرجة حرارة عالية تتسبب في تمزق جدران الخلايا، وكذا في تحلّل الندف وإطلاق الماء من البروتينات. إن ميزة الموجات فوق الصوتية هي أن الترتيب بسيط وينتج تلوّثاً قليلاً [16].

تبين في الابحاث [17] أن الظروف المثالية لاستخدام الموجات فوق الصوتية للتحلّل المائي للمواد الصلبة العضوية في الحمأة البيولوجية الخام عند تردد 50 kHz لمدة 10 دقائق يوفر نتائج فعّالة، في حين أن أعلى كفاءة لتثبيت الحمأة تتم عند تردد 50 kHz في 40 دقيقة، وذلك لتحقيق إزالة للمواد العضوية الصلبة بنسبة 38%، إضافة إلى أنه ثَبُت أن الظروف المثالية لنزع المياه من الحمأة يمكن أن يتم عند تردد 30 kHz مع وقت إتصال قدره دقيقة واحدة [17].

2-2-5-2-3. التسخين المسبق Sludge preheating

يزيد التسخين المسبق حتى 60 C° من عملية إزالة المياه من الحمأة.

2-2-5-2-4. تكييف الحمأة بالتجميد والذوبان Freeze-Thaw Conditioning

يساعد تخفيض حرارة الحمأة إلى 10 C° - 30تحت الصفر ومن ثم رفعها على نزع المياه من الحمأة.

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

نزع الماء من الحمأة هي عملية فيزيائية الغرض منها إنقاص الرطوبة من الحمأة. وتتم عملية نزع الماء:

1. بعد تثبيت الحمأة و/أو تكييفها.
2. قبل أسمدة الحمأة composting.
3. أو قد ينزع منها الماء مسبقاً لتخفيف تكاليف الضخ والنقل.
4. تخفيف كمية الرشاحة من أجل طمرها.

5. أو لإجراء معالجة لاحقة كالحرق، حيث أن الحرق يحتاج إلى تخفيف نسبة الرطوبة في الحمأة.
6. أو لكي يتم إستعمالها منزوعة الماء في الزراعة.

يتم نزع الماء بطرق ميكانيكية أو بالتبخير الطبيعي. وسندرس كل حالة على حدة في الفقرات التالية.

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

2-2-6-1-1. المرشّح الإنفراغي Vacuum filtration

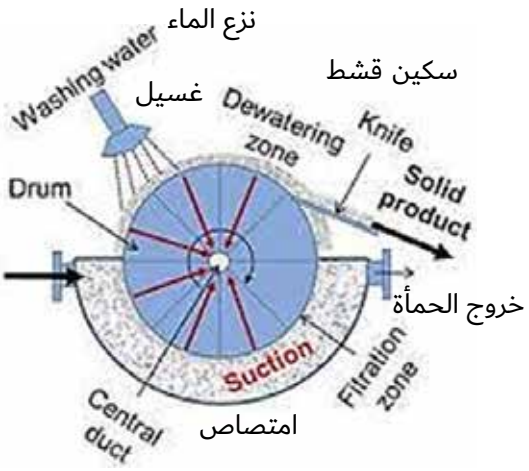
منذ فترةٍ طويلةٍ تُستخدم المرشحات الإنفراغيية (الفراغ) لإزالة الماء، الشكل (2-2-6-1-1-1) نموذج لمرشح إنفراغي مع قشط مباشر للحمأة. وهو يتألف من إسطوانة عليها قماش يسمح بمرور الماء ولا يسمح بمرور الحمأة، وتتعرّض الأسطوانة لضغط سلبي (38-75 سم زئبقي)، ويتم تغطيس الأسطوانة في الحمأة بنسبة 40-60% من السطح، وكلما دارت الأسطوانة مع الضغط السالب، تتكون طبقات من الحمأة على القماش، ويتم إخراج الأسطوانة من الحمأة وقشط الحمأة المتراكمة على القماش إلى وعاء خاص، ومن ثم غسيل القماش. يصل متوسط زمن عمل المرشح إلى 16-20 ساعة في الحمأة، ويستغرق الباقي قشط وغسيل. وعادة ما تضاف مواد مخثرة إلى الحمأة مثل $Fecl_3$ و Cao.

الجدول (2-2-6-1-1-1) يبين أداء المرشح الإنفراغي لحمأة بلدية مكيفة.

ويكون معدل التحميل على سطح المرشح:

- من أجل الحمأة الأولية {(20-60) kgd.s/m^2/h}،
- ومن أجل الحمأة المنشطة {(12-17) kgd.s/m^2/h}،
- ومن أجل حمأة أولية + حمأة منشطة يكون{(20-25) kgd.s/m^2/h}.

وعملياً يقسّم البرميل من الداخل إلى خلايا، منها خلايا ذات ضغط سلبي وأخرى بدون ضغط لتسهل عملية القشط.



(a) (b)

الشكل(2-2-6-1-1-1)a نموذج لمرشح إنفراغي مع قشط مباشر للحمأة، b مقطع يبين مبدأ عمل المرشح الانفراغي

الجدول (2-2-6-1-1-1) أداء مرشح إنفراغي لحمأة بلدية مكيّفة بواسطة Ferric chloride وCao

نوع الحمأة	حمولة المادة الصلبة ($kg/hr-m^2$)	Solids Percent Cake نسبة المواد الصلبة
حمأة أولية	30-40	25-38
حمأة أولية وحمأة منشطة زائدة	20-25	16-25
حمأة أولية وحمأة منشطة زائدة (أكسجين نقي)	25-30	20-28
حمأة أولية وحمأة دبالية من المرشح الحجري	20-30	20-30
حمأة أولية مهضومة (لا هوائياً)	25-40	25-32
حمأة أولية وحمأة منشطة زائدة مهضومة (لا هوائياً)	20-25	14-22

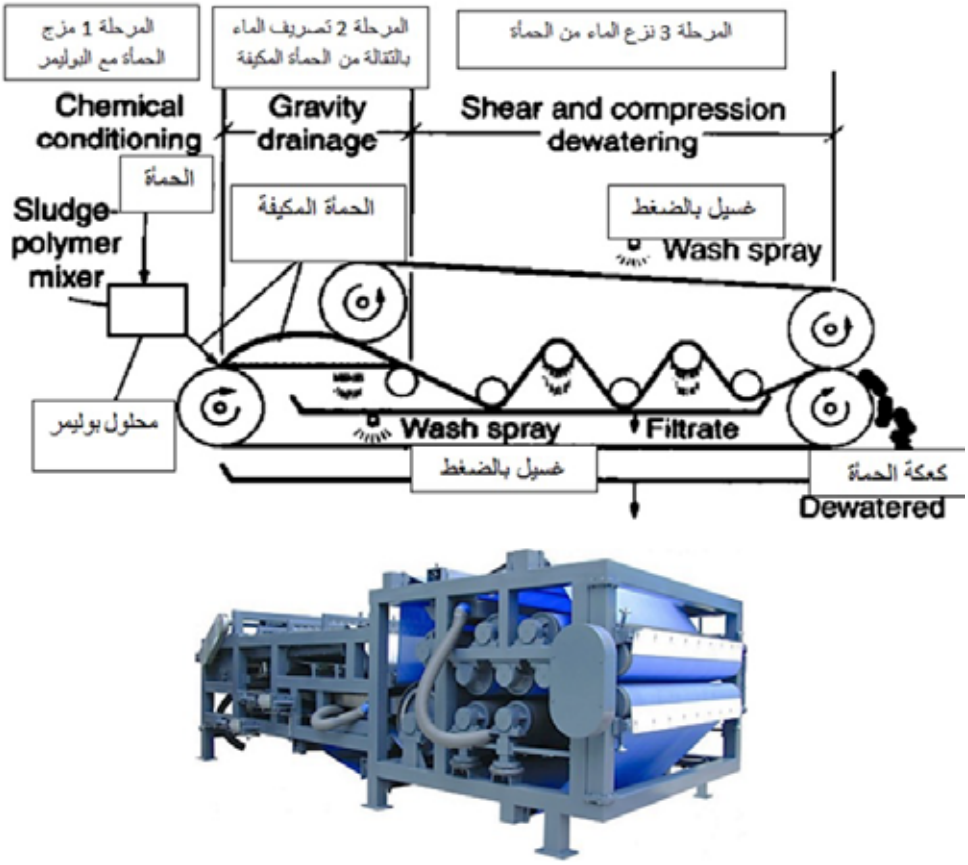
Adapted from The EPA, Sludge Treatment and Disposal, FPA Process Design Manual - Washington, D.C .1979

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

أو (المكبس المرشّح بالحزام)، وهو نوع شائع من المرشّحات يستعمل لنزع الماء من الحمأة، يستهلك طاقة قليلة بالنسبة للمرشح الإنفراغي، ويتألف من حزام مشدود مثقب توضع عليه الحمأة، ويسير الحزام على عدة بكرات لها أقطار مختلفة، حيث تقوم بعصر الحمأة، وبذلك يسهل سقوطها من الحزام بعد جفافها. الشكل (2-2-6-1-2) مخطط رمزي مع صورة لعمل الحزام الراشح الضاغط. يجب تكييف الحمأة لزيادة فعالية المرشح حيث يضاف للحمأة بوليمر كاتيوني cationic polymers. يكون عمل المرشح على ثلاث مراحل: تصريف الماء بالثقالة، ثم الضغط الخفيف، ثم الضغط العالي بين حزامين يمران مع الحمأة ضمن بكرتين تقومان بعصر الحمأة. عرض المرشح من (0.5 إلى 3.5)م (والعرض الشائع 2) م.

الجدول (2-2-6-1-2) يعطي أداء الحزام الراشح الضاغط من أجل أنواع مختلفة من الحمأة. وغالباً ما تشكل الرائحة مشكلةً مزعجة، ولذلك يجب تهوية لصالة العمل لإزالة كبريتيد الهيدروجين وغيرها من الغازات، وعادةً يُمرر هواء الصالة على وحدة معالجة خاصة. الكعكة الناتجة تحوي عادةً مواد صلبة من 18% إلى 25%، ويعتمد ذلك على خصائص المواد الصلبة والتكييف الكيميائي.

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



الشكل (2-2-1-6-2-1) مخطط وصورة لمراحل عمل فلتر الحزام الراشح الضاغط (المكبس المرشح بالحزام) [12], [Johnson screens]

الجدول (2-2-6-1-2-1) أداء الحزام الراشح الضاغط (المكبس المرشح بالحزام) لأنواع مختلفة من الحمأة [4]، [2]

نوع الحمأة	المادة الجافة الداخلة %	التحميل لكل متر طولي من المرشح		بوليمر g/ kg مواد صلبة جافة	نسبة المواد الصلبة في كعكة الحمأة%	
		L /S	Kg/h		المجال	النموذجي
أولية	3-7	1.8-3.2	550 -360	1-4	28	26-32
was*	1-4	0.7-2.5	180 -45	3-10	15	12-20
أولية + was	3-6	1.3-3.2	320 -180	2-8	23	20-28
أولية + WAS 50:50	3-6	1.3-3.2	320 -180	2-10	20	18-25
أولية + WAS 40:60	3-6	1.3-3.2	320 -180	2-8	25	23-30
مع هضم لا هوائي :						
أولية	3-7	1.3-3.2	550 -360	2-5	28	24-30
WAS	3-4	0.7-2.5	135 -45	4-10	15	12-20
أولية + WAS	3-6	1.3-3.2	320 -180	3-8	22	20-25
مهضومة هوائياً:						
أولية + WAS غير مكثفة	1-3	0.7-3.2	225 -135	2-8	16	12-20
أولية + WAS مكثفة50:50	4-8	0.7-3.2	225 -135	8 -2	18	12-25
أوكسجين WAS	1-3	0.7-2.5	180 -90	4-10	18	15-23

*Was حمأة منشطة مصرفة

2-2-6-1-2-1. المرشح الحزامي بالإنفراغ Vacuum Belt Filters

يتم استخدام مرشّحات الحزام بالإنفراغ (عمل فراغ) في مجالات مختلفة من عمليات المعالجة. إذ يمكن للمرشح الحزامي ترشيح المياه من أي شكل من أشكال الحمأة بشكل فعّال، كما أن لديه خيارات إضافية إعتماداً على المتطلبات، مثل تغيير سرعة الأسطوانة، أنظر الشكل (2-2-6-1-2-1). إن السِّمة الرئيسية لنظام مرشّح الحزام بالإنفراغ هو الوجود الإضافي لقماش الترشيح وحزام مطاطي خاص مقوى مع أخاديد تصريف المياه. ويتم إنشاء عملية التفريغ بواسطة نظام صندوق التفريغ (the vacuum box). في نهاية مرحلة الترشيح تتم إزالة الكعكة بواسطة سكين خاصة يتحرك القماش تحت الحزام المطاطي ويتم تنظيفه بواسطة نظام غسيل بواسطة المرشّات.

وللحصول على الأبعاد الصحيحة للجهاز يتم إجراء الإختبارات المعملية مسبقاً.

كما أن هنالك نماذج لمرشح الحزام بالتفريغ بدون حزام مطاطي أي فقط قماش مستمر متحرك.

الشكل (2-2-6-1-2-1-1) مرشحات الحزام بالإنفراغ [MORSELT Co.]

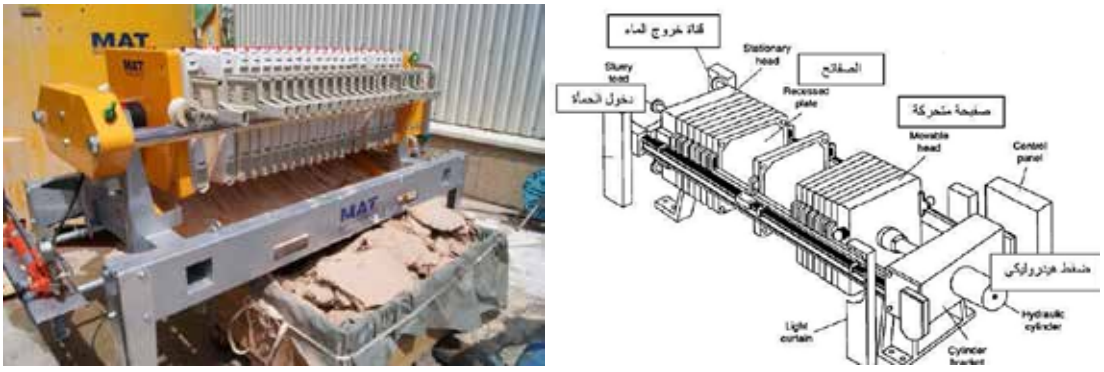
2-2-6-1-3. المكبس المرشّح Filter press

وهو أحد المرشحات المشهورة المستعملة في نزع الماء من الحمأة، بسبب بساطته في الأداء، وفعاليته الكبيرة، مقارنة بالمرشحات المذكورة سابقاً. تصل نسبة المواد الصلبة في الكعكة إلى (35-50)% بينما تكون في الطرق الأخرى أقل من ذلك، بالإضافة إلى أنها تستهلك طاقة قليلة. يُستعمل المكبس المرشح بشكل واسع في محطات المعالجة الصغيرة، وفي تجفيف الحمأة الصناعية. ويتألف المرشّح من صفائح معدنية سميكة من الحديد أو الألمنيوم أو من مواد أخرى (كالبولياميد). ويوجد فراغ خاص داخل الصفائح، وعندما يتم إحكام الصفائح على بعضها تتشّكل فجوة بين الصفيحتين تمتلئ

بالحمأة بعد ضخّها في الفلتر. وتُضخ الحمأة إلى الفجوات تحت ضغط يصل إلى 15 بار أو أكثر، ويبقى الضغط مطبقاً لمدة قد تصل إلى ساعتين [7]، [4]. وبعد انتهاء الدورة يُحَرّر ضغط الحمأة، ويتم تحرير ضغط الصفائح وإبعادها عن بعضها لتظهر كعكة الحمأة، وتسقط في قُمع خاص. يوجد أنواع أخرى من هذه الأجهزة ذات تنظيف آلي. الجدول (2-2-6-1-3-1) يبين أهم ضوابط تصميم المكبس المرشّح. الشكل (2-2-6-1-3-1) شكل منظوري للمكبس المرشّح. عادةً ما يتم طلاء الصفائح بمواد خاصة أو رماد لمنع التصاق القماش بها.

الجدول (2-2-6-1-3-1) أهم ضوابط تصميم المكبس المرشح [18]

نوع الحمأة	المواد الكيميائية المضافة %		زمن الدورة hr	تركيز المواد الصلبة في الكعكة %
	$FeCl_3$	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 [12]، صورة من [Mat Co.]

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

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

- **أجهزة الطرد المركزي بتركيز مواد صلبة كبير High-Solids Centrifuge.**

وهي أجهزة طرد مركزية معدلة مصممة لإنتاج كعكة حمأة مجففة. تحتوي هذه الوحدات على وعاء أطول، وسرعة تفاضلية للوعاء أقل لزيادة زمن المكوث. تصل محتويات المواد الصلبة إلى اكثر من 30% للحمأة البلدية مع بوليمر.

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

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

* تصنف ضعيفة بالنسبة لفعالية البوليمر ويمكن إستعمال مواد كيمائية أخرى ككلور الحديديك والكلس [4]

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

تُستخدم عدة طرق لنزع الماء من الحمأة بواسطة التبخير والرشح، منها أحواض (مفترشات) التجفيف الرملية، وأحواض التجفيف المرصوفة، وبرك

التجفيف وغيرها. وتستعمل من أجل محطات معالجة أقل من 20000 شخص [12].

تستعمل الأحواض (المفترشات) الرملية لتجفيف الحمأة المهضومة، وكذلك للحمأة المرسّبة بدون تكثيف من محطات المعالجة بالحمأة المنشّطة. وتعد هذه الطريقة إقتصادية، حيث نحصل فيها على حمأة تكون نسبة المواد الصلبة فيها عالية، كما أن الطريقة لا تحتاج إلى تكنولوجيا متقدمة، إذ يمكن استخدامها في حالة توفر مساحات كافية من الأراضي، وفي مناطق المناخ الحار، ومع وجود عمال مدربيين يمكن توظيف هذه التقنية لتخدم مدناً ذات كثافة سكانية عالية، وخاصة في الدول النامية، شريطة القيام بدراسة الأثر البيئي والأخذ في الإعتبار التاثيرات السلبية التي قد تنتج عنها.

ومن مساوئها إحتمال إنتشار الروائح، لذا يجب أن تكون أقرب فعالية على بعد 100م [15]، وأن تكون مساحات أحواض التجفيف كبيرة، وأن تتوفر الأيدي العاملة بما يلزم لجمع الحمأة الجافة، واستبدال الرمل. ومن المساوئ كذلك إحتمال انتشار الحشرات.

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

تتألف أحواض (مفترشات) التجفيف الرملية من طبقتين، عُلوية من الرمل، وسفلية من الحصى، بحيث تكون سماكة الرمل (23-30) سم، وقطر الحبيبات من (0.3- 1) ملم، وأن لا يتجاوز معامل الانتظام (4)، والقطر الفعّال (0.3-0.75) ملم، ومن حصى أو حجر مكسر سماكة (20-50) سم، حيث تكون أبعاد الحصى من: (0.3-2.5) سم. ويبلغ عرض الأحواض 6م، ويجب أن لا يتجاوز الطول 30 م، وإرتفاع جدار الحوض (0.3- 1)م، وسماكة الحمأة (30-45) سم، وأن لا يقل إنحدار الأرضيات عن 1%، الشكل (2-2-6-2-1-1) صورة للحمأة في أحواض التجفيف الرملية.

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

تزود الأحواض بأنابيب خاصة لسحب المياه الراشحة، و يجب أن لا تقل أقطار الأنابيب عن 10 سم، وهي مثقبة أو مفتوحة الوصلات، ويكون البعد بين الانابيب (2.5 - 6)م، ويتم إعادة المياه الراشحة من الأنابيب إلى محطة المعالجة.

يتأثر تصميم حوض التجفيف بنوعية الحمأة (مكيّفة)، وكذلك بنسبة التحميل، وسماكة الحمأة، والظروف الجوية.

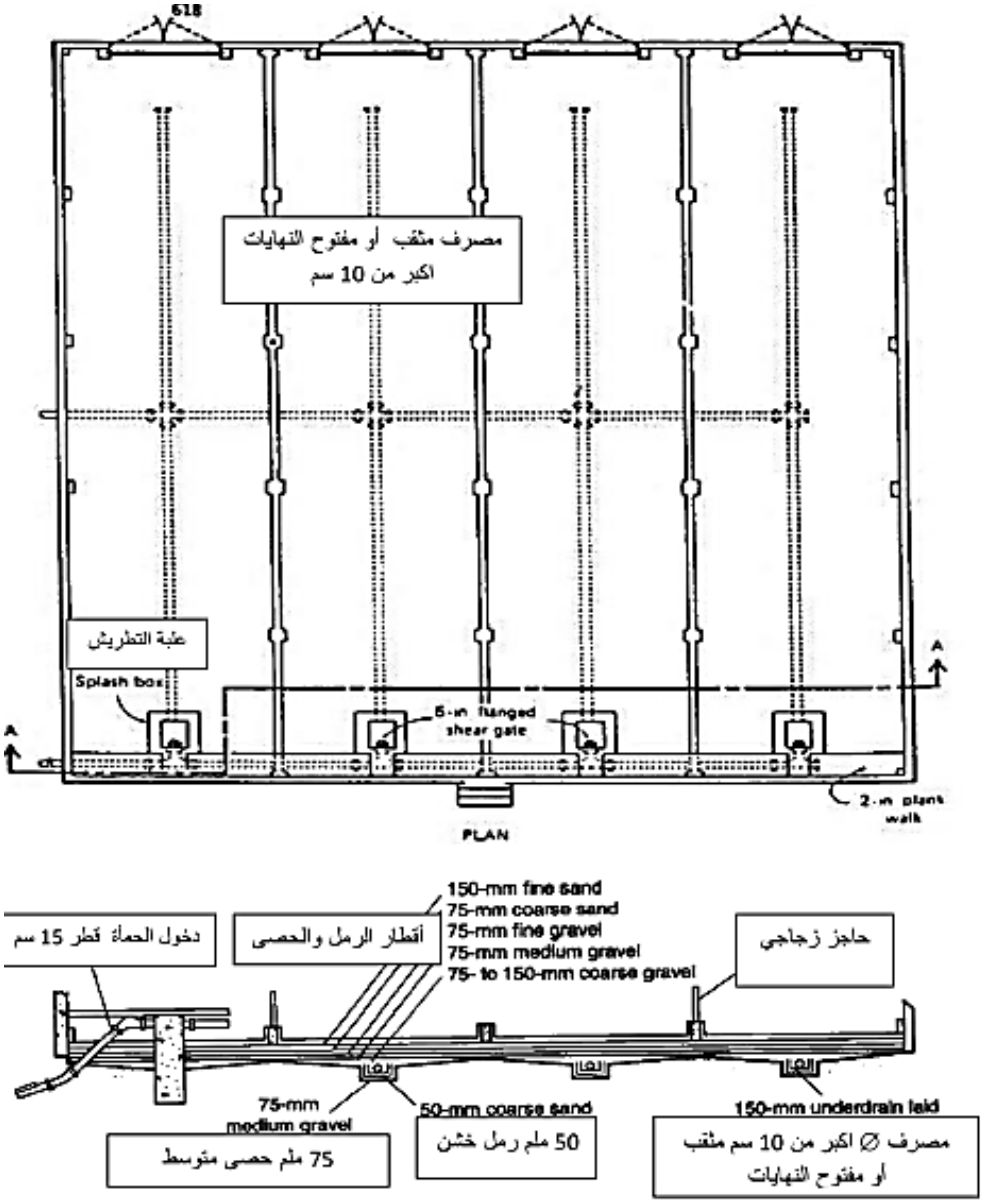
تعتمد مساحة الحوض اللازمة للتجفيف على نسبة تحميل الحمأة، والتي تحسب للشخص أو تحميل المواد الصلبة (كغ على المتر المربع /عام). تصل نسبة المواد الصلبة بعد التجفيف إلى 20%، ويمكن أن تصل إلى 60% بزمن تجفيف كاف من 10-15 يوم وتحت ظروف جيدة، [4].

- المساحة اللازمة للشخص (0.09-0.3) م^2 وحسب نوع الحمأة [19].
- التحميل السنوي للحمأة، المواد الصلبة {(58-161)كغ/م^2.عام } [19].

الجدول (2-2-6-2-1-1) يبين المساحة والتحميل لأحواض التجفيف الرملية المفتوحة [12].

يجب تركيب صمامات لتوزيع الحمأة إلى الأحواض المحددة، وصمامات فتح وإغلاق، كما يتم وضع ألواح (لوح رش) أمام مخارج الحمأة فوق الرمل لمنع تآكلها. أما إذا كان أنبوب التغذية مضغوطاً، فيجب استخدام (كوع) بزاوية 90 درجة لضمان وصول الحمأة إلى لوح الرش في جميع نقاط التغذية.

الشكل (2-2-6-2-1-1) صورة للحمأة في أحواض التجفيف الرملية
[SM sustainability mater magazine]



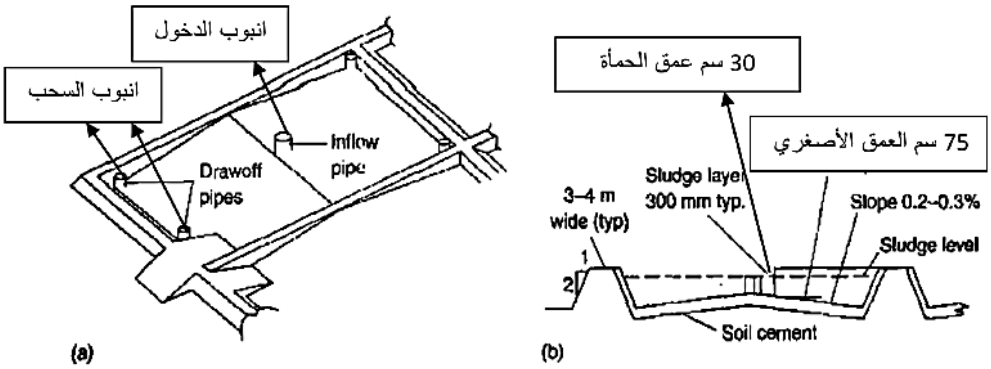
الشكل(2-2-6-2-1-2) مسقط ومقطع حوض تجفيف حمأة رملي نموذجي
[Metcalf&eddy , Fourth Edition]

الجدول (2-2-6-2-1-1) المساحة والتحميل في أحواض التجفيف الرملية [12]

Type of sludge نوع الحمأة	Area	Dry sludge loading rate [a] معدّل التحميل
	m^2/person	kg/m^2·y
Primary digested أولية	1 .0	120-150
Primary and trickling filter humus digested أولية ومرشّح التنقّيط	0.12-0.16	90-120
Primary and waste activated digested أولية وحمأة منشّطة مهضومة	0.16-0.23	60-100
Primary and chemically precipita ted digested أولية وترسيب كيميائي	0.19-0.23	100-160
a. الاحواض الرملية المغطاة تكافئ حوالي 70 إلى 75 % من الأسرة المفتوحة		

2-2-6-2-2. أحواض التجفيف المرصوفة Paved sludge drying bed

وهي أحواض تتألّف من خلايا مرصوفة بالخرسانة المسلحة، أو من الأسفلت. تتجمّع مياه الحمأة في القسم السفلي وتخرج من فوهة الخروج، الشكل (2-2-6-2-1) مقطع ومسقط للخلية. الميول 2-3%، العرض من 6-15 م، والطول من 21-46 م، وإرتفاع الجدران مشابه لارتفاع جدران حوض التجفيف بالرمال، وعمقه الأدنى 75 سم. وتبلغ سماكة الحمأة 30 سم في الطقس الجاف، وتصل نسبة المادة الجافة إلى 50% خلال 30-40 يوماً. حالياً أصبح إستعمال هذا الحوض قليلاً.



الشكل (2-2-6-2-1) مقطع ومسقط لأحواض التجفيف المرصوفة [4]

3-2-6-2-2. برك تجفيف الحمأة Lagoons

تُعتبر برك تجفيف الحمأة من أبسط طرائق معالجة وتجفيف وتخزين الحمأة، ويتم فيها أيضاً تكثيف ونزع مياه الحمأة. أنظر الشكل (2-2-6-2-3-1). وهي برك توضع فيها الحمأة المهضومة ليتم تجفيفها بحرارة الشمس، ويتم سحب الماء المتشكّل على سطحها بشكل مستمر. يكون عمق البركة 0.75-1.25 م [4]، ويشبه تصميمها تصميم أحواض الرمال، وتكون مدة التبخُّر 2-5 شهر، ويصل تركيز المواد الصلبة إلى 20-30%. وينصح بتحميل المواد الصلبة (36-39 $kg/m^3/yr$) [4]. وعادةً يكون هناك حوض آخر للعمل بالتوازي أثناء التجفيف. وقد تحتاج الحمأة إلى تخزين من أجل المعالجة اللاحقة، فإذا تم استخدام البركة للتخزين فعندها تختلف بحيرات الحمأة بشكل كبير، إذ تصبح أعماقها تتراوح من 3 إلى 5 أمتار

[Industrial Wastewater Management, Treatment, and Disposal wef- 3]

الشكل (2-2-6-2-3-1) بحيرة تجفيف حمأة (Batseta oe)

4-2-6-2-2. أسرّة التجفيف بمساعدة الإنفراغ
Vacuum-Assisted Drying Beds

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

1. الحمأة مكيفّة جاهزة وممزوجة مسبقاً مع البوليمر preconditioning.
2. ملء السرير بالحمأة.
3. إزالة الماء من الحمأة مبدئياً بواسطة الثقالة متبوعاً بتطبيق إنفراغ.
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 عالي حتى إزالة بقايا الحمأة.

وتكمن محاسن هذه الطريقة في تقليل وقت الدورة اللازمة لنزع الماء، وبالتالي تخفيف تأثير الطقس على التجفيف، إضافة إلى صغر المساحة بالمقارنة مع الأنواع الأخرى من أسرة التجفيف.

a b

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

الجدول (2-2-6-2-4-1) يبيّن أداء حوض تجفيف الحمأة بالإنفراغ. ويكمن العيب الرئيسي في هذه الطريقة في أن الحمأة يجب أن تكون مكيفة وممزوجة مسبقاً مع البوليمر، وأيضاً قد تكون هناك حاجة إلى مزيد من المعالجة لتقليل الرطوبة في الحمأة (EPA1987a).

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

نوع الحمأة	المادة الجافّة الداخلة %	البوليمر اللازم غ/كغ	نسبة المواد الصلبة في كعكة الحمأة %	التحميل كغ/م^2
مع هضم لا هوائي:				
أولية	1-7	2-20	12-26	10-20
أولية +trickling filter	3-10	20-26	20-26	15-30
أولية + WAS	1-4	15-20	15-20	5-20
مهضومة هوائياً:				
حمأة مصرفة تقليدية was	1-4	1-17	10-23	5-15
قنوات الأكسدة	1-2	10-20	20-10	5-10

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

تعمل أسرَّة تجفيف الحمأة بالطاقة الشمسية على تجفيف الحمأة السائلة أو المكثفة أو المنزوعة الماء بواسطة أشعة الشمس، حيث يتم فرش الحمأة في بيت زجاجي (دفيئة)، وهو تصميم مُطوَّر عن البيت الزجاجي العادي، ويكون بشكل مستطيل، ويحوي أجهزة قياس ظروف العمل، كما يحوي فتحات ومراوح تهوية، وجهاز متنقل يدعى mole (الخَلد)، يعمل على تحريك وتجفيف الحمأة، أو جهاز آلي يمتد على عرض البيت الزجاجي متنقل يقوم بتقليب الحمأة. أنظر الشكل (2-2-6-2-5-1) a,b. كما يحتوي البيت الزجاجي على كومبيوتر خاص يتحكّم في بيئة التجفيف.

(a) (b)

الشكل (2-2-6-2-5-1) a,b أسّرة تجفيف الحمأة بالطاقة الشمسية
[dryer] , [Arges]

2-2-6-2-6. أكياس الجيوتيوب Geotube

في هذه الطريقة يتم تكييف الحمأة وتشكيل الندف، ومن ثم يتم ضخّها في أكياس geotube، الشكل(2-2-6-2-6-1) تبقى الحمأة في geotube لمدة تصل إلى عدة أشهر تِبعاً لنوع الحمأة (من حيث المواد الصلبة العالقة، وترابط الماء مع المادة الصلبة). تحتجز الرشّاحة الناتجة عن geotube في منطقة محصورة ومن ثم يتم معالجتها أو يتم تصريفها. عند نزع كامل المياه من الحمأة يتم قص geotube وإزالة 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 [2].

الشكل (2-2-6-2-6-1) نزع مياه الحمأة بالجيوتيوب geotube [TenCate™]

2-2-6-2-6-1. نزع المياه من الحمأة بالأكياس القماشية.

في محطات معالجة الصرف الصحي والصناعي الصغيرة، يمكن نزع المياه من الحمأة بواسطة أكياس قماشية خاصة تُمرّر المياه دون الحمأة، و يجب في هذه الطريقة أن يتوفر كيسان لنزع الماء يعملان بالتتابع، يتلقى الأول الحمأة، وعندما يمتلئ يُنقل العمل إلى الكيس الثاني، وفي هذه الأثناء يتم نزع الماء من الكيس الأول وترحيله إلى المعالجة أو إلى المطامر. الشكل (2-2-6-1-6-2) a. يبيّن نموذج أكياس التجفيف، والصورة b. تبيّن نزع الماء من الحمأة بواسطة الأكياس في محطة معالجة صناعية في أحد المعامل.

a b

الشكل (2-2-6-2-6-1-1) a. نموذج أكياس تجفيف الحمأة b. نزع المياه من الحمأة بواسطة الأكياس في محطة معالجة صناعية

[sludge-dehydrators-MMG SRl] , [kitos]

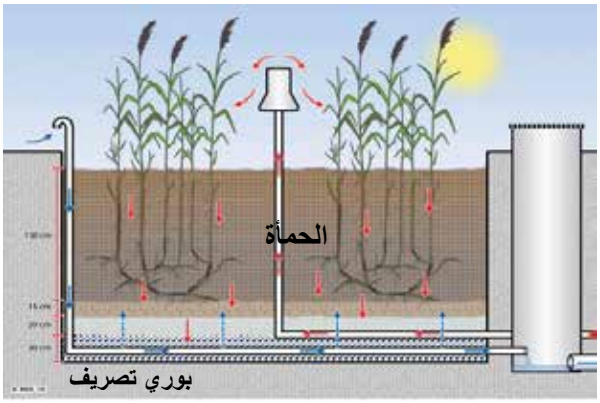
2-2-6-2-7. نزع المياه من الحمأة بواسطة الأراضي الرطبة wet lands

يمكن استخدام أحواض (مفترشات) القصب في الأراضي الرطبة لمعالجة وتجفيف وتخزين الحمأة. أنظر الشكل (2-2-6-2-7-1) والشكل (2-2-6-2-7-2). تستخدم هذه الطريقة في محطات المعالجة التي قد يصل التدفّق فيها إلى 0.2 م^3/ ثانية. الفرق بين أحواض القصب العادية وإستعمالها لنزع الماء

من الحمأة هو أن الحمأة السائلة يتم تطبيقها على سطح المفترش حتماً (مقارنة بالتطبيق تحت السطح لبعض تطبيقات المعالجة بواسطة الاراضي الرطبة)، حيث تتسرب المياه عبر طبقات الحصى إلى المصارف السفلية. ويساعد نقل الأوكسجين عند جذور النباتات في تثبيت الحمأة. ويصل معدل تحميل الحمأة إلى 100 $kg/m^2 \cdot y$، ولكنه مع ذلك يعتمد على الظروف الجوية في الموقع. تبلغ سماكة الحمأة المطبقة 10 سم كل 7 - 10 يوم. ويجب تأمين ما لا يقل عن 1 متر جوانب لحوض طبقة مفترش القصب من أجل تراكم الحمأة لمدة 10 سنوات. الجدول (2-2-6-2-7-1) ملخص مؤشرات الأداء لأحواض تجفيف الحمأة المزروعة حول العالم.

الشكل (2-2-6-2-7-1) مقطع تقليدي في حوض (مفترش) قصب لمعالجة الحمأة وتجفيفها

[Blumberg Engineers]



a

b

c

الشكل (2-2-6-2-7-2).a مخطط نموذجي لحوض قصب لتجفيف الحمأة، ويبين نظام توزيع الحمأة بأنابيب عمودية، ونظام الصرف مع تبادل هواء عبر أنابيب التهوية.b,c. صور لأحواض قصب تستعمل لتجفيف الحمأة [47], [Blumberg Eng]

الجدول (2-2-6-7-1) ملخص مؤشرات الأداء لأحواض تجفيف الحمأة المزروعة حول العالم

Country الدولة	SLR (kg TS/ m^2/year) التحميل	% Solids and moisture reduction نسبة تخفيض المواد الصلبة والرطوبة	% Nutrients and organics نسبة المواد المغذّية والعضوية	Plant used النبات المستعمل	References المرجع
France	≈ 70	85% (TS)	70% (COD) 79% (TKN) 66% (NH_4-N)	Phragmites australis	Lienard and Payrastre, 1996
USA	9.8-65	99% (TSS)	95% (COD) 90% (TKN) 42% (NH_4-N)	Phragmites australis	Burgoon et al., 1996
USA	16-106	46-49% (TVS) 15-47% (TS)		Phragmites australis	Kim and Smith, 1997
Poland	-	94.6% (volume reduction), 43-65% (moisture content)		Phragmites australis	Obarska-Pempkowiak et al., 2003

2-2-7. نزع المياه كهربائياً Electro-Dewatering EDW

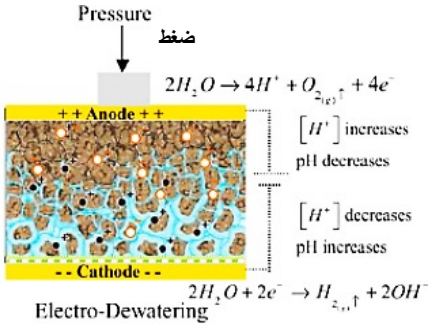
تستخدم هذه الطريقة لنزع المياه من الحمأة بمساعدة التيار الكهربائي المستمر DC، تُسمى أيضاً نزع المياه كهربائياً. يمكن إستعمال الطريقة من أجل الحمأة البلدية والحمأة الصناعية والحمأة الخام أو المهضومة.

تعد عملية نزع المياه كهربائياً أمراً جديراً بالاهتمام، خاصة بالنسبة لمحطات المعالجة الصغيرة إلى المتوسطة التي يقل حجمها عن 57000 م^3/ يوم [12].

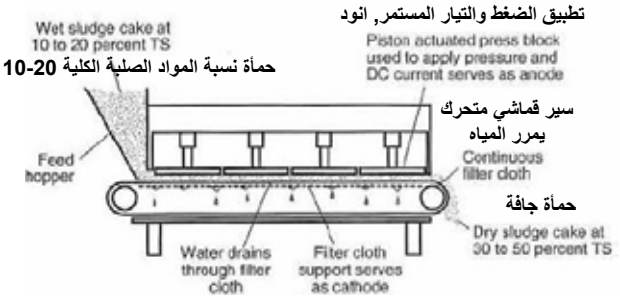
يتضمن مبدأ نزع المياه بالكهرباء تطبيق جهد مباشر Direct voltage على الحمأة الموضوعة بين قطبين كهربائيين، حيث تتحرك الحمأة ذات الشحنة السالبة (باتجاه، أو تتجمّع) عند القطب الموجب (anode)، وتتحرك جزيئات molecules الماء المشحونة بشكل إيجابي (نحو، أو تتجمع) عند القطب السالب (cathode)، ومنه يمر الماء عبر قماش السير المرشح الذي يغطي القطب السالب ليذهب إلى المعالجة. يبين الشكل (2-2-7-1).a مبدأ

نزع المياه الكهربائي. وفي الشكل (2-2-7-1).b مخطط يبيّن تغذية الحمأة، وعملية فصل الحمأة عن الماء. يتم في بداية كل دورة معالجة تشغيل نظام الناقل للحمأة، وتقوم وحدة التغذية بمد طبقة رقيقة وموحدة من الحمأة على حزام الترشيح بسماكة محددة مسبقاً. وبمجرد نقل الكعكة المشكلة حديثاً إلى منطقة المعالجة كما هو موضح في الشكل (2-2-7-1)b، تتحرك وحدات الطاقة للأسفل فوق الحمأة وتطبّق ضغطاً محدداً بشكل مسبق. ويسمح الضغط المطبق كذلك بتدفق التيار المستمر (المولد بواسطة محول تردد) عبر الحمأة وحزام الترشيح بين القطب الموجب والقطب السالب (الأنودات والكاثودات).

يتم تطبيق التيار المستمر عند مستويات محددة مسبقاً، ولفترة زمنية محددة بدقة، وذلك حتى يتم تحقيق نزع الماء من الحمأة، ومن ثمّ يتم رفع وحدة الطاقة مرة أخرى إلى موقعها العلوي، ويتم تفريغ الحمأة المعالجة من النظام.



(b)



(a)

(c)

الشكل (2-2-7-1) نزع المياه كهربائياً من الحمأة، a. مبدأ نزع المياه كهربائيا من الحمأة b. مقطع يبين تفاصيل تزويد الحمأة ونزع الماء c. صورة لجهاز نزع الماء كهربائيا من الحمأة [Bluewin], [12]

يتم تنظيف حزام الترشيح باستخدام نظام غسيل عالي الضغط (من

المياه المعالجة المرشحة أو من المياه الصالحة للشرب).

كما يتم استخدام نظام الغسيل بضغط عالي يومياً لتنظيف الكاثودات والمعدات الخرى.

النقاط التالية تبين أداء جهاز نزع الماء كهربائياً:

1. تنخفض إمكانية نزع الماء بزيادة الرطوبة. ولوحظ استجابة أفضل للمعالجة مع الحمأة التي تحتوي من 12 إلى 20 % TS [12].
2. تعتبر عملية إزالة الماء بالكهرباء مناسبة بشكل خاص للحمأة المهضومة، و/أو الحمأة الثانوية التي يصعب إزالة المياه منها بشكل فعَّال بالوسائل الميكانيكية التقليدية.
3. يتم استخدام معدات نزع الماء الميكانيكية التقليدية في مرحلة ما قبل نزع الماء الكهربائي، مثل: الطرد المركزي centrifuges، الحزام الراشح الضاغط belt filter presses، المرشح المكبسي pressure filters، المكابس اللولبية screw presses .
4. نسبة المواد الصلبة في الحمأة المعالجة بين 25 و50 % TS.
5. بالمقارنة مع التجفيف الحراري، نجد أنه يعطي وفراً في استخدام الطاقة من ثلاثة إلى خمسة أضعاف.
6. يتم تقليل حجم الحمأة بنسبة 50 إلى 75 %.
7. لوحظ إنخفاض كبير في عدد البكتيريا النشطة، وإنخفاض في نسبة الإشريكية القولونية E. coli.
8. لا يوجد إزالة ملحوظة للمعادن الثقيلة، مثل الكروم والنيكل والرصاص والنحاس والزنك، ولا يتأثر تركيز العناصر المغذية مثل الكربون والنيتروجين والفوسفور والكبريت بالعملية.
9. يحتاج إزالة 1 م^3 من الماء بواسطة التجفيف الحراري ما بين 617- 1200 kWh/m^3 [12]، فيما قد يخفض استخدام التيار الكهرباء المستمر في التجفيف الكهربائي الاستهلاك بمقدار 3 إلى 5 أضعاف.
10. عندما تكون تكاليف الكهرباء مرتفعة، يلزم إجراء تقييم اقتصادي بين

طرق التجفيف الأخرى، وطريقة التجفيف الكهربائي.
11. سُجل في التجارب، تطبق تيار مستمر 5-25 فولت.

2-3. التجفيف والترميد بإستعمال الحرارة
Heat drying and incineration

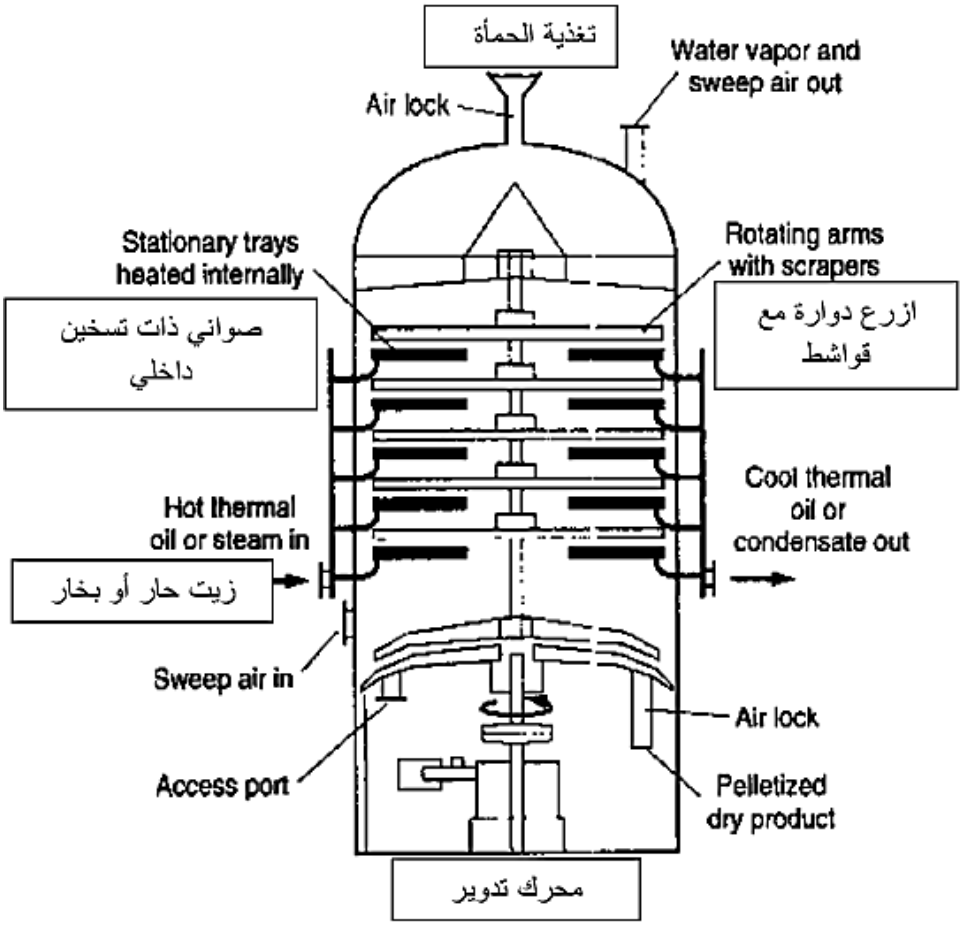
2-3-1. التجفيف غير المباشر للحمأة Indirect Dryers

تختلف المجفّفات بالحمل الحراري غير المباشر عن المجفّفات بالحمل الحراري المباشر، حيث تنقل المجفّفات بالحمل الحراري غير المباشر الحرارة إلى الحمأة الرطبة عن طريق التوصيل والإشعاع، ومن بين هذه المجففات: المجفّف الشاقولي متعدّد الطبقات، مجفّف الحمأة الدوّار Rotary sludge dryer.. الخ. سنقدم في الفقرات التالية شرحاً مبسطاً عن بعض المجفّفات غير المباشرة المستخدمة للحمأة الناتجة عن محطات المعالجة البلدية.

2-3-1-1. المجفّف الشاقولي غير المباشر
Vertical indirect dryer

المجفّف الشاقولي متعدّد الطبقات هو نموذج قديم ومشهور للتجفيف غير المباشر للحمأة. حيث يتم ضخ هواء ساخن أو زيت ساخن ضمن دائرة مغلقة على تماس مع الحمأة منزوعة المياه. تكون الحمأة بعد التجفيف في شكل قطع مكسّرة (شظايا)، يُفرز الصغير المدور منها ويعبأ مباشرة، أما الحجم الكبير منها فيُكسر بكسارات خاصة. وعادة يتم تدوير جزء من الحمأة المجفّفة ذات الحجوم المناسبة لتحسين أداء المجفّف [12]. الشكل (2-3-1-1) نموذج للمجفّف الشاقولي غير المباشر. ويتم تغذية الحمأة منزوعة الماء (تحوي حوالي 20 بالمائة من المواد الصلبة) الممزوجة بالمنتج المعاد تدويره من خلال المدخل العلوي للمجفف متعدّد المراحل، وتقوم الأذرع الدوّارة بتحريك ونقل الحمأة من صينية ثابتة ساخنة إلى أخرى بحركة متعرجة دوّارة حتى تخرج من الأسفل جافة. وعموماً يتم في المجفّفات غير المباشرة،

تجفيف الحمأة إلى مستوى محدّد من التجفاف إعتماداً على الاستخدام النهائي للمنتج، ويتراوح تركيز المواد الصلبة في المنتج من 65% إلى أكثر من 95%.



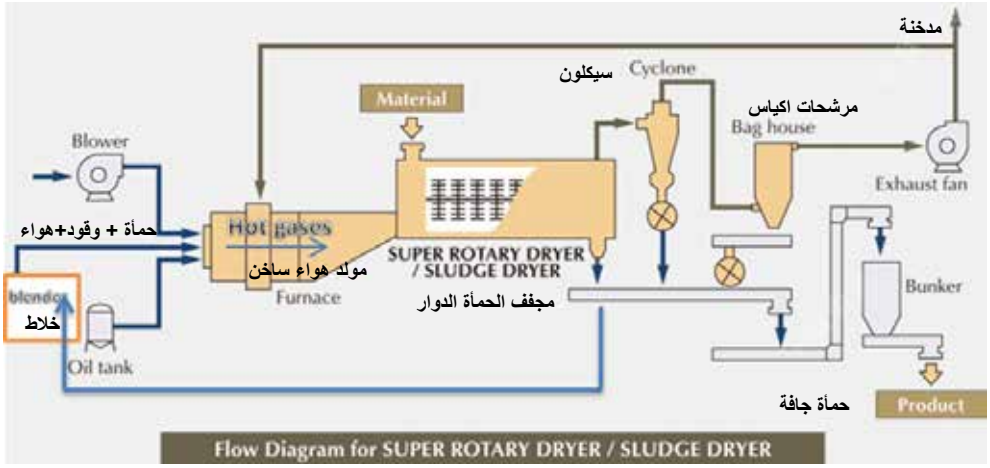
الشكل (2-3-1-1-1) مقطع في مجفف الحمأة الشاقولي غير المباشر متعدد الطبقات [4]

2-1-3-2. مجفّف الحمأة الدوّار غير المباشر
RSD, Rotary sludge dryer

يتم استخدام المجففات الدوارة غير المباشرة لتجفيف الحمأة الأولية الخام، والحمأة المنشطة المصرفة WAS، والحمأة المهضومة من الحمأة الأولية وWAS. أنظر الشكل (2-3-1-2-1). وعموماً، لا يُوصى بتجفيف الحمأة الأولية الخام بهذه الطريقة بسبب الرائحة ونوعية وثبات المنتج النهائي. عموماَ يستعمل المجفف الدوار لإعادة إستعمال وتدوير الحمأة الناتجة عن معالجة مياه الصرف.

يتكون المجفّف الدوار من غلاف فولاذي اسطواني يدور على مدحرجات Bearings، وعادةً ما يتم تركيب المحور مع ميل طفيف مع الأفق. ويتم تدوير جزء من الحمأة الجافّة ومزجها مع الحمأة الداخلة لتخفيض الرطوبة الى 65% لتحسين أداء المجفّف. تحتوي الحمأة الناتجة عن التجفيف على مواد صلبة جافة بنسبة 90 إلى 95 بالمائة، فيتم غربلتها وتمرير المواد الكبيرة من خلال كسّارة، ومن ثم يتم وضعها في حاويات خاصة لنقلها للتسميد أو من أجل استصلاح الأراضي. إن المنتج المجفف مناسب للتداول والتخزين والتسويق باعتباره سماداً أو محسناً للتربة.هناك ضرورة لأن يوضع بعد المخرج سيكلونات وفلاتر لإزالة الغبار ومعالجة الغازات.

يمكن استخدام مجفّف الحمأة الدوّار غير المباشر لتجفيف الحمأة الصناعية كحمأة مصانع البيرة، المأكولات البحرية، مصانع الألبان، مصانع اللحوم، العصائر، الورق، براز الدواجن. ويستعمل أيضاً للصناعات الكيميائية كمصانع هيدروكسيد النحاس، هيدروكسيد الألومنيوم.. الخ، ويعتمد ذلك على طبيعة التصنيع، كما يجب في هذه الحالة أخذ الإجراءات اللازمة لإدارة الروائح.



a

b

الشكل (2-3-1-2-1) a. مخطط عام لمراحل عمل مجفف الحمأة الدوار، b. صورة لمجفّف الحمأة الدوّار

[Dongding machinery Co], [Zhengzhou Taida Co]

2-3-1-3 مجفّف الحمأة ذو الحزام Sludge Belt Dryer , SBD

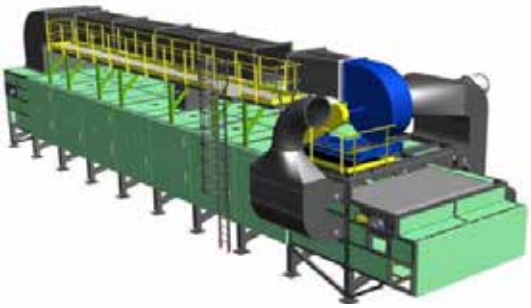
مجفّف الحمأة ذو الحزام SBD (conveyor) هو عبارة عن حزام تجفيف يستخدم الهواء الدافئ لتجفيف حمأة محطات معالجة مياه الصرف. إن كانت

نسبة المواد الصلبة الداخلة حوالي 18 - 25%، تصبح بعد التجفيف 70 - 90%. حيث يقوم الحزام الأول بنقل الحمأة الممدودة على الحزام بطبقة رقيقة عبر المجفّف إلى الحزام الثاني الموجود أسفله، (كما يمكن أن يكون هناك عدة أحزمة في المجفّف على طبقات)، وخلال هذه العملية يتم تعريض أسطح الحمأة للتجفيف بالهواء الساخن حتى خروجها من المجفّف. في نهاية الحزام يتم تفريغ الحمأة المجففة إلى ناقل حلزوني ومنه يمكن نقلها الى خارج الوحدة، وفي بعض الأحيان يتم تدوير جزء من الحمأة الجافة ومزجها مع الحمأة الداخلة لتحسين الأداء [12]. عادة يتوفر مصدر للتسخين ومبادل حراري للهواء الذي سيقوم بالتجفيف، إضافة إلى أنه يمكن تدوير الهواء الساخن المار إلى مبادل حراري آخر قبل طرده. يُمرّر هواء التجفيف بعد المجفّف على مكثّف ووحدة معالجة خاصة. ويعد هذا الجهاز مناسباً لمحطات المعالجة الصغيرة. الشكل (2-3-1-3-1) a. يبيّن صورة لمجفّف الحمأة ذو الحزام من إحدى الشركات، b. مخطط لسير عمل المجفف ذو الحزام. إن مجفف الحزام قادر على العمل مع مصادر طاقة مختلفة ويتمتع بمرونة تشغيلية كبيرة مع الحمأة التي سيتم معالجتها ذات الخصائص المتغيّرة، وذلك بفضل إمكانية ضبط سرعة الحزام ودرجات حرارة المعالجة. وتتراوح قدرة تبخير الماء 250 kg/h - 6000 تقريباً.

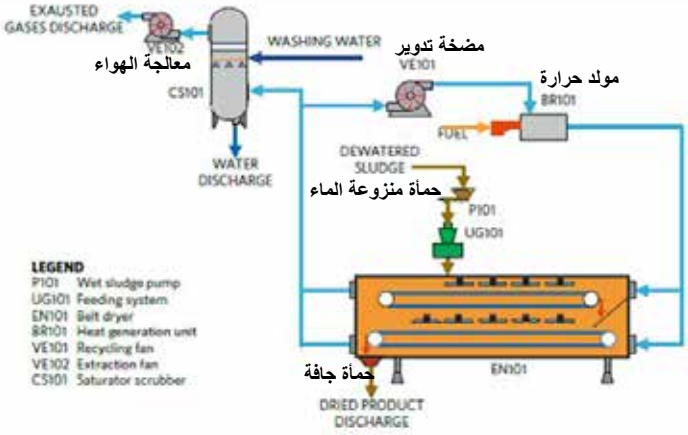
المزايا الرئيسية لهذه التكنولوجيا:

1. يستعمل لكافة أنواع الحمأة (العضوية وغير العضوية).
2. منتج نهائي غير حُبَيْبي مكسّر بدون غبار.
3. إستهلاكه للطاقة قليل، إضافة إلى إمكانية إسترداد جزء من الطاقة.
4. إنبعاثات منخفضة.
5. درجة حرارة التجفيف منخفضة.

a



b



الشكل (2-3-1-3-1) مجفف الحمأة ذو الحزام
[Giotto-Water Co] SBD

2-3-1-4. إيكو فلاشECOFLASH المجفّف ذو الطبقة الرقيقة Thin Layer Dryer

وهي طريقة مطوّرة واقتصادية تستخدم لتجفيف الحمأة منزوعة الماء Dewatered sludge، وهو تجفيف غير مباشر للحمأة بالتماس مع سطوح مسخّنة بالزيت أو البخار. الشكل (2-3-1-4-1) يبّين صورة لجهاز تجفيف الحمأة ايكو فلاش.

يتألف المجفّف من أسطوانة داخلية تدور بسرعة داخل أسطوانة ثابتة فيها قميص مسخّن بواسطة البخار أو الزيت، القسم الداخلي المتحرك مزوّد بمجاديف قابلة للتعديل لخلط ودفع الحمأة إلى الأمام تباعاً، حتى تصل إلى خارج المجفّف. تبلغ السرعة المحيطية حوالي 30 م/ثا مما يتسبب في دفع

الحمأة إلى الجدران الساخنة، حيث تتشكّل طبقة من الحمأة سماكتها 5 سم تقريباً، تتحرك إلى الامام بواسطة المجاديف. ويقوم تيار هواء عكسي قوي من المحيط الخارجي باستخلاص بخار الماء وتبريد الحمأة المجفّفة في نفس الوقت. ويكون المنتج حُبَيْبي وبدون غبار. وتبلغ قدرة تبخير الماء من أجل نماذج تجارية متوفرة في السوق من 750 kg/h إلى3,000 kg/h.

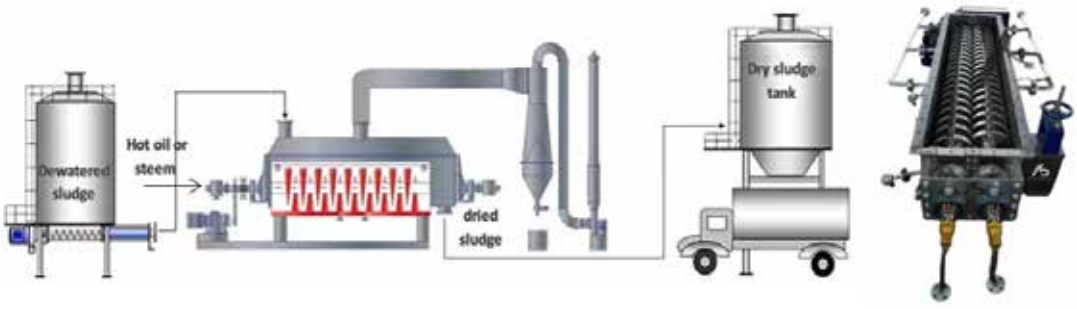
من ميزات طريقة إيكو فلاش:

1. يمكن إستعمال مجفف الإيكو فلاش لتجفيف حمأة مياه الصرف، وكذلك الحمأة الصناعية، ويمكن إستعماله بشكل عام من أجل الحمأة العضوية والغير عضوية.
2. إستهلاك الطاقة منخفض.
3. ضمان الحد الأدنى من الإنبعاثات الملوثة.

الشكل (2-3-1-4-1) صورة لجهاز تجفيف الحمأة (إيكو فلاش)
[Giotto-Water Co]

2-3-1-5. المجفّف الأفقي ذو الأقراص المفرغة
Horizontal sludge dryer

يتألف المجفّف الأفقي ذو الأقراص المفرّغة، من أقراص مفرّغة تدور على محاور أفقية تقوم بخلط الحمأة منزوعة المياه (Dewatered) وتجفّفها، وتنقلها عبر المجفّف، أنظر الشكل (2-3-1-5-1) a,b. عادة ما يكون عمل المجفّف بشكل مستمر، ويكون شكل المنتج النهائي في شكل حُبَيْبَات. يتم تسخين أقراص الحمأة بالماء أو بالزيت الساخن وغيره من الوسائل المتاحة، وأثناء التجفيف يصدر بخار الماء، فيضخ هواء في المجفّف لسحب الرطوبة خارج الأسطوانة، والذي يمرّر على مكثّف، ومن ثمّ على وحدة معالجة (الشكل 2-3-1-5-1).



a b

الشكل (2-3-1-5-1) a. مخطط لمراحل عمل المجففات الأفقية التي تستخدم الاقراص المفرغة

b. صورة للاقراص المفرغة داخل المجفف [المخطط من Suqiep Co]

2-3-2. ترميد الحمأة Sludge incineration

تزداد الرقابة على الحمأة التي تستعمل في التطبيق الزراعي المباشر أو التخلص منها في المطامر، ولهذا السبب من المتوقع أن يزداد الطلب على حرق الحمأة (أو ترميدها). يهدف الترميد إلى القضاء كلياً على الجراثيم المُمرضة،

والإقلال من حجم الحمأة بتحويلها إلى رماد. ولكن عملية الترميد تعتبر استثماراً مكلفاً، ويخضع أيضاً إلى لوائح صارمة فيما يتعلق بمعايير الإحتراق، وإدارة ومعالجة الغازات المنبعثة من الحرق، ومعالجة الرماد المتطاير والرماد الذي يكمن في القاع.

وعادة يتم ترميد الحمأة بطريقتين:

- **الأولى: الحرق الأحادي** Mono-incineration ويعني حرق الحمأة بشكل منفصل، ولا يتم خلطها مع النفايات البلدية الصلبة أو غيرها من النفايات، ويحتوي الرماد على مستويات عالية من الفوسفور (تصل إلى 7%).
- **الثانية: الحرق المشترك** (co-incineration) أي بالإشتراك مع نفايات أخرى، أو في معامل الأسمنت، ذلك لأنها تحوي قيمة حرارية عالية. وتمثل المعالجة بالترميد 15% من إجمالي الحمأة المعالجة في أوروبا.

ومن أكثر الأفران شيوعاً الفرن متعدّد الطبقات (multiple hearth incineration)، وفرن كلاين الدوّار (Rotary kiln furnaces)، والأسرَّة المميّعة Fluidized Bed furnaces. يتم إستبدال هذه الانظمة حالياً في أوربا بأنظمة الأسرَّة المميّعة والتي تعتبر سهلة التشغيل وذات أداء جيد.

1. الاكسدة الحرارية المتقدمة للحمأة.

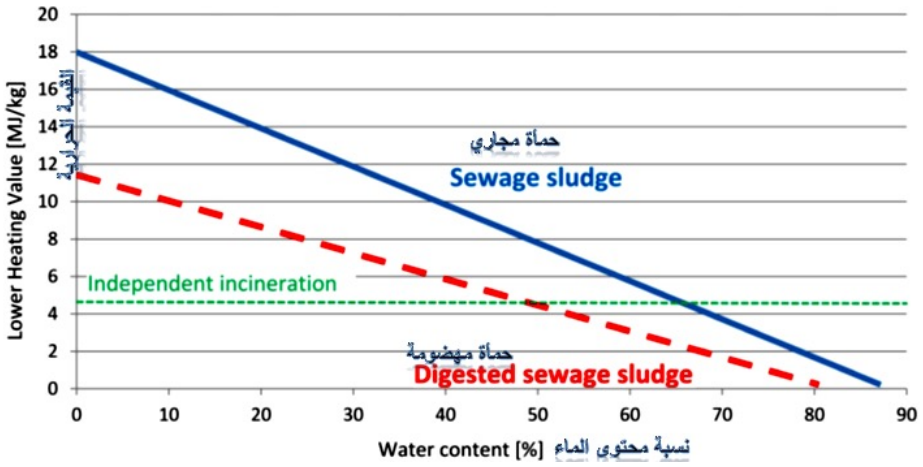
(Advanced Thermal Oxidation (ATO

الأكسدة الحرارية المتقدمة للحمأة (ATO)، هي تحويل كلي للمواد الصلبة العضوية إلى منتجات نهائية مؤكسدة، وبشكل أساسي إلى ثاني أكسيد الكربون والماء والرماد. ويتم استخدام طريقة ATO بشكل شائع في محطات المعالجة المتوسطة وكبيرة الحجم.

في الأكسدة الحرارية المتقدمة (ATO) يتم إستعمال حمأة منزوعة الماء، ولكن ليس من الضروري تثبيت الحمأة قبل عملية الترميد، وخاصة أن إستعمال الهضم الهوائي واللاهوائي يقلل من محتوى المواد المتطايرة في الحمأة، وبالتالي سيزداد الطلب على الوقود المساعد أثناء الترميد. الجدول (2-3-1) يبيّن القيمة الحرارية لأنواع مختلفة من الحمأة [8]. ويبيّن الشكل

(1-2-3-2) مدى تأثّر القيمة الحرارة للحمأة بنسبة الرطوبة، [13]. ولكي يكون الترميد جيداً وإقتصادياً وذاتي التشغيل، يُطلب أن يكون تركيز المواد الصلبة في الحمأة 30-35% [8]، وأن تكون درجة حرارة الترميد عموماً C° 760، كما يجب دراسة كمية الهواء بدقة لتحقيق متطلبات ATO.

يمكن أكسدة الحمأة حرارياً بشكل منفصل، أو بالإشتراك مع النفايات الصلبة البلدية. وتشمل عمليات ATO التي سيتم تناولها في المناقشة التالية، الحرق متعدّد المواقد multiple hearth incineration، والحرق بالطبقة المميّعة Fluidized Bed، والحرق بالأشعة فوق الحمراء Electric Infra-red Incinerators، والحرق مع النفايات الصلبة البلدية، إضافة لطرق حديثة الإستعمال، كالأكسدة الرطبة wet air oxidation ، ونظام تغويز الحمأة Sew-age sludge gasification. ويبين الجدول (2-2-3-2) خصائص بعض طرق المعالجة الحرارية للحمأة.



الشكل (1-2-3-2) يبيّن مدى تأثر القيمة الحرارة للحمأة بنسبة الرطوبة [13]

الجدول (2-3-2-1) القيمة الحرارية لعدة أنواع من الحمأة [8]

Type of sludge	Calorific power (kJ/kg dry solids)
حمأة أولية Raw primary sludge	23,300-29,000
حمأة لاهوائية مهضومة Anaerobically digested sludge	12,793
حمأة منشطة Activated sludge	19,770-23,300

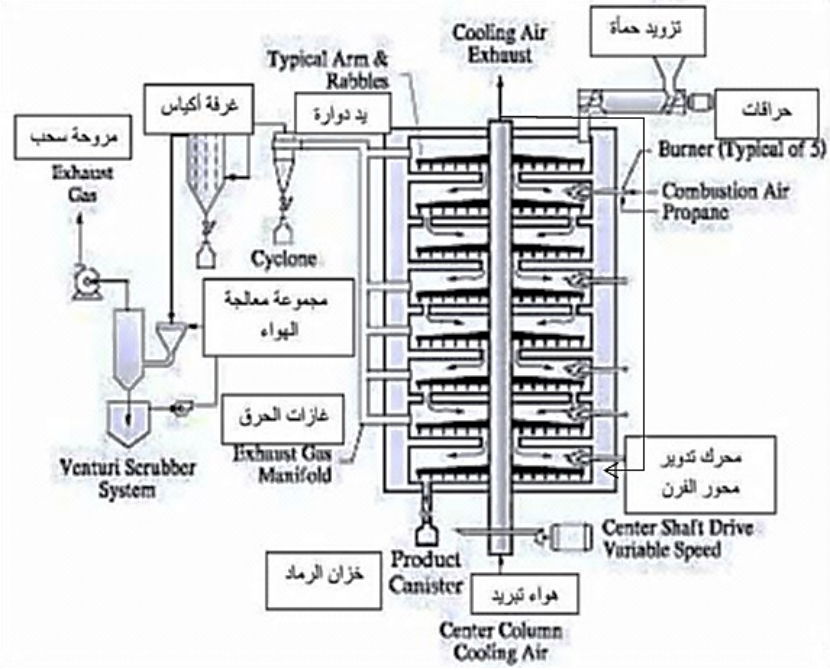
الجدول (2-3-2-2) خصائص بعض طرق المعالجة الحرارية للحمأة [12]

Parameter	Combustion	Gasification	Pyrolysis
Temperature, °C	900-1100	590-980	200-590
0_2 supplied	>Stoichiometric (excess air)	<Stoichiometric (limited air)	None
By-products	Flue gas (Co_2, H_2o) and ash	Syngas (CO, H_2) and ash	Pyrolysis gas, oils, tars and char

2-3-2-1. الفرن متعدّد الطبقات Multiple hearth incineration

الفرن متعدّد الطبقات هو من أشهر أفران ترميد الحمأة منزوعة الماء، وقد بلغت نسبتها في أمريكا 70% من محطات حرق الحمأة. تنتقل كعكة الحمأة في الفرن من طبقة إلى طبقة بواسطة قواشط أفقية لتصل إلى أسفل الفرن في شكل رماد. الشكل (2-3-2-1) يبين فرن ترميد حمأة متعدد الطبقات. ويستعمل الفرن متعدّد الطبقات لمحطات المعالجة الكبيرة وأحياناً الصغيرة إذا لم تتوفر مساحة كافية. وتوزع الحرّاقات Burners عادةً حول محيط الفرن وفي الطبقات. ويتم نفخ هواء بارد في بداية أسفل العمود المركزي لتصل إلى الأذرع المجوفة لتبريدها من الحرارة الزائدة، كما أن قدراً كبيراً من هذا الهواء الساخن بعد خروجه من العمود المركزي، يُعاد تدويره إلى

أسفل الموقد لتسخين هواء الإحتراق وتجفيف الحمأة. تتطلب هذه الطريقة معالجة الغازات والأبخرة والغبار الناتجة عن عملية الترميد، وتكون أدوات التحكم الأساسية في تلوث الهواء عبارة عن مرشحات وأجهزة غسيل رطبة scrubber، ويتم إلتقاط معظم الرماد (أكثر من 99%) في مياه الغسيل، حيث يتلامس ماء الغسيل مع معظم الجزيئات الموجودة في غازات العادم ويزيلها [12].



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

2-3-2-2. ترميد الحمأة في الفرن ذو السرير المميّع

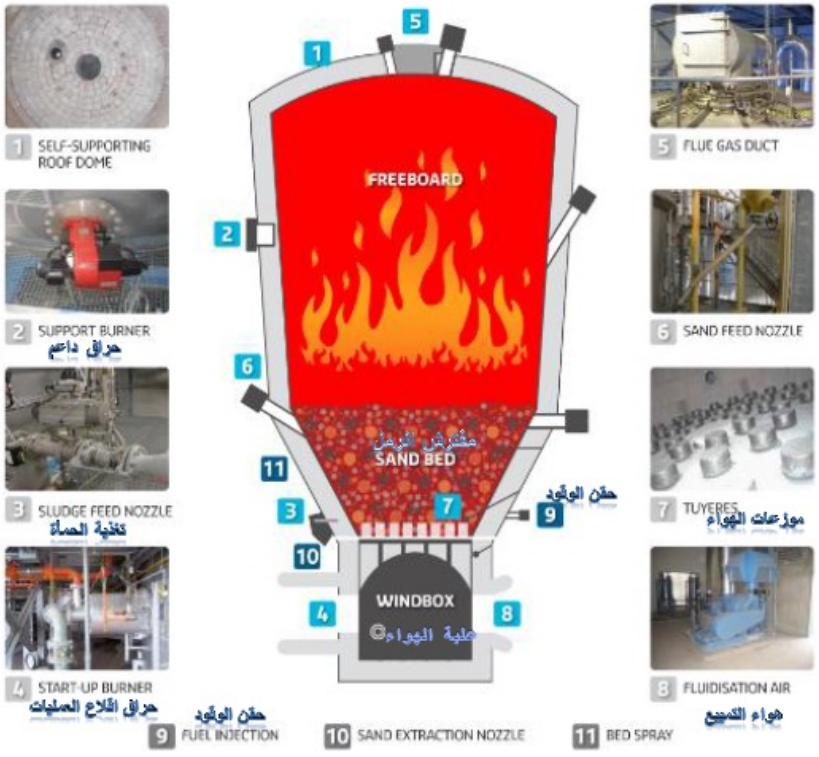
Fluidized Bed incineration

يعتبر الفرن ذو السرير المميع من أشهر الأفران وأكثرها إنتشاراً في أوروبا والولايات المتحدة. ففي عام 2011 بلغت نسبة المرمّدات في الولايات المتحدة 30% من إجمالي أفران حرق الحمأة. ومنذ ذلك التاريخ يتم إستبدال الأفران الموجودة إلى طريقة السرير المميّع. حيث يكون قُطر محارق السرير المميع

من 2.7 إلى 9.1 متر، الشكل (2-3-2-2-1) مقطع نموذجي في الفرن ذو السرير المميع. ويتكوّن الفرن بشكل عام من ثلاث مناطق وهي من الأسفل إلى الأعلى:

- صندوق الريح wind box .
- السرير الرملي sand bed.
- مكان فارغ لتمدُّد سرير الرمل وللحمأة freeboard.

يعمل صندوق الريح على توزيع الهواء الذي يُميع الرمل عند ضغط يبلغ 0.2-0.5 بار عن طريق منفاخ هواء Blower، وقد يحتوي أيضاً على موقد واحد أو أكثر لبدء عملية التشغيل. ويوجد فوق صندوق الريح سرير رملي يبلغ سُمكه حوالي 0.8 متر قبل دخول الهواء عبر الرمل، ويرتكّز الرمل على قبة سميكة من القرميد المبطّن بمادة مضادّة للصهر. [12]



الشكل (2-3-2-2-1) مقطع وصور لعملية حرق الحمأة في الفرن ذو السرير المتميّع (المميّع) [26]

يتم حرق الحمأة المجفّفة ميكانيكياً، بضخ الحمأة قرب القاع الذي يحتوي على رمل (سيليكات)، وعند ضخ الهواء من خلال موزعات الهواء Tuyeres يتضاعف حجم الرمل، وتتحرّك الرمال فتبدو وكأنها بحالة غليان، وعادةً ما يضخ معها الوقود المساعد عندما تكون المواد العضوية الطيّارة قليلة في الحمأة، إذ يمكن استخدام الوقود المساعد مثل النفط أو الغاز الطبيعي أو غاز الهاضم الذي يتم حقنه مباشرة في السرير الرملي. ويبلغ تحميل المواد الصلبة في الفرن (20-60 $kg/m^2/h$) من أجل حمأة مجفّفة وتركيز المواد الصلبة الكلية (20-25%).

تتراوح درجة حرارة السرير الرملي بين 760 °C - 820 °C. وبسبب الإضطراب الكبير الذي يحدث في الرمل المميّع الحار تختلط فيه الحمأة ويتبخر منها الماء بسرعة وتحترق، ويخرج غاز الإحتراق والرماد عبر الجزء العلوي من الفرن عبر المدخنة، ويتم فصل الرماد ومعالجة الغازات خارج المرمد.

يتم تصميم معظم أفران الأسرَّة المميّعة للتشغيل الذاتي، وهي لا تحتاج إلى أي وقود إضافي بعد بدء التشغيل، حيث تساعد الكتلة الحرارية الكبيرة داخل الوحدة (أي الطبقة الرملية والقبّة المقاومة للحرارة أسفل الرمل) على تخفيف التقلبات في مدخلات الحرارة، وتميل أيضاً إلى الاحتفاظ بدرجة الحرارة في الوحدة إذا لزم إيقاف التشغيل لمدة محدودة. ويتميّز فرن السرير المميع بأن تشغيله بسيط نسبياً، ويمكن التحكُّم فيه من قبل معظم المشغلين بسهولة.

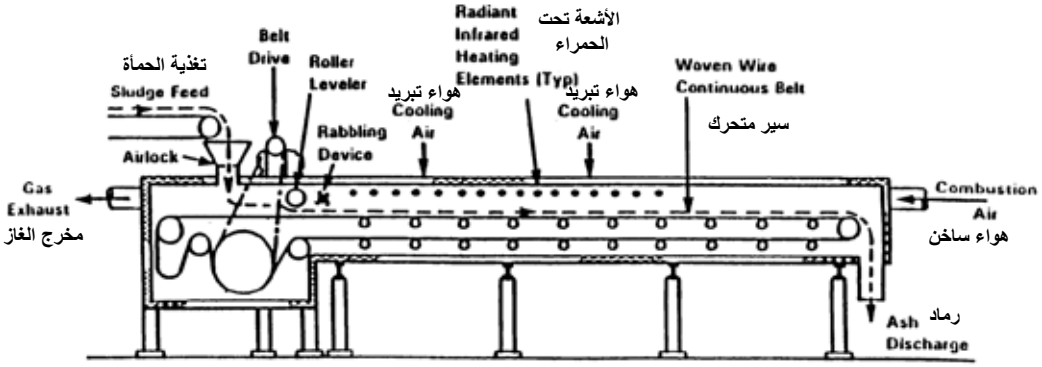
- **مياه السكروبر (Scrubber Water)**

يتم التقاط معظم الرماد (أكثر من 99 بالمائة) في مياه السكروبر. Scrubber وتُستخدم مياه الصرف للمحطة عادةً كمياه غسيل بمعدل حوالي 25 إلى 40 لتر/كغ [12] من المواد الصلبة الجافة التي يتم تغذيتها إلى فرن السرير المتميع. يتم توجيه الطين الناتج من الغسيل في جهاز السكروبر slurry ash , إلى بحيرة رماد أو يتم تجفيفه ميكانيكيًا لفصل الرماد عن الماء. يمكن إرسال مياه الصرف من بحيرة الرماد أو عملية تجفيف الرماد, إلى مدخل

محطة المعالجة أو دمجها مع مياه الصرف للمحطة عند المخرج, لان تراكيز COD, BOD تكون عادة منخفضة (أقل من 50 ملغ/لتر). ستتم الإشارة إلى تفاصيل إضافية حول التحكم في تلوث الهواء لاحقًا في هذا الفصل. عادةً ما تكون الجسيمات والمواد الملوثة للهواء وغيرها من الانبعاثات أقل بكثير من محرقة متعددة الطبقات لنفس الحجم.

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

وهو فرن أفقي تنتقل الحمأة بداخلة بواسطة سير ناقل، ويتم تسخين الحمأة وتجفيفها بواسطة الهواء الساخن ومن ثم تُمرّر على وحدات الأشعّة تحت الحمراء لتحترق وتخرج في نهاية السير الناقل في صورة رماد. أنظر الشكل (2-3-2-3-1). والطريقة ليست مستخدمة بشكل تجاري ولكن تستعمل غالباً للمشاريع التجريبية.



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

2-3-2-4. ترميد الحمأة المشترك مع النفايات الصلبة البلدية
Coincineration with Municipal Solidwaste

- **الترميد المشترك.**

يقصد بالترميد المشترك للحمأة عملية حرق الحمأة في أفران يمكنها إدخال الحمأة كمصدر للطاقة، ونذكر منها على سبيل المثال [13]:

1. محطات توليد الطاقة التي تعمل بالفحم.
2. محطات حرق النفايات الصلبة.
3. تصنيع الأسمنت.
4. يمكن ترميد حمأة مياه الصرف الصحي المنزوعة الماء والتي تحتوي على 25 إلى 35% مادة صلبة DS في معظم محطات توليد الطاقة.

وتجدر الإشارة إلى أن بعض محطات توليد الطاقة تستخدم فقط حمأة مياه الصرف المجفّفة بالكامل لتوليد الطاقة.

- الترميد المشترك مع النفايات الصلبة.

الترميد المشترك مع النفايات الصلبة البلدية، هو عملية حرق حمأة مياه الصرف مع النفايات الصلبة البلدية. وهناك العديد من نماذج المرمّدات المشتركة، ولكن الهدف من هذه المرمّدات عموماً هو:

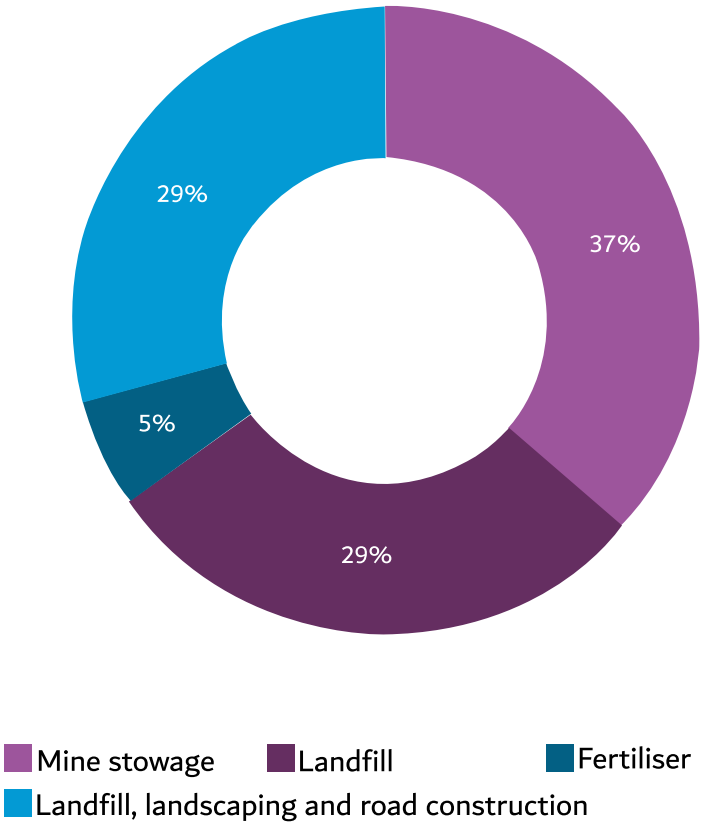
1. إستيعاب أكبر قدر من الحمأة والنفايات الصلبة المنزلية.
2. تقليل تكاليف التخلّص من الحمأة والنفايات الصلبة.

وتعتبر عملية الحرق المشتركة مع النفايات الصلبة البلدية بحد ذاتها ذات مزايا متعدّدة، حيث يمكن الإستفادة من الطاقة الحرارية الموجودة في النفايات الصلبة في تبخير ماء الحمأة ودعم عملية الإحتراق، وكذلك استخدام الفائض الحراري في التسخين بدون إستعمال الوقود الأحفوري المساعد، كما يمكن استخدام حرارة الغازات المنطلقة لتجفيف 10 - 15% من رطوبة الحمأة المطلوب معالجتها. وتكون النسبة اللازمة من الحمأة إلى النفايات الصلبة (1 كغ حمأة جافة إلى 4.5 كغ نفايات صلبة بلدية) [12]، وذلك بدون إسترداد الحرارة، وفي حال تم تصميم المرمد بغرض إسترداد الحرارة فتكون النسبة (1 كغ حمأة جافة إلى 7 كغ نفايات صلبة).

وحالياً وعلى الرغم من المزايا التي تعود على المجتمعات من الجمع بين وظيفتي الترميد للحمأة مع النفايات الصلبة، ولكن نجد أن التقدّم في هذا المجال يعتبر بطيئاً.

- **إستعمال الرماد**

الرماد الناتج عن الأكسدة الحرارية المتقدمة ATO هو مادة خاملة يمكن استخدامها في التطبيقات التجارية مثل صناعة الأسمنت والأسفلت وما إلى ذلك. وما زالت تقنيات إستعادة المواد القيّمة من الرماد مثل الفوسفور قيد التطوير، ويتوقع أن تُحظى بإهتمام واسع النطاق بسبب القيمة السوقية المحتملة لهذه الموارد [12]. الشكل (2-3-2-4-1) يبين نسب التصرف في الرماد في المانيا.



الشكل (2-3-2-4-1) نسب التصرّف في الرماد في ألمانيا.
[KRÜGER/ADAM]

2-3-3. الأكسدة الرطبة للحمأة Wet Air Oxidation (WAO)

الأكسدة الرطبة للحمأة - أو الأكسدة بالهواء الرطب (WAO)، هي التحلّل الحراري والتحلّل المائي وأكسدة المواد العضوية عند درجات حرارة وضغوط عالية. تعمل (WAO) في بيئة مائية، وبالتالي لا تتطلب تجفيف للحمأة.

وتستخدم الطريقة لمياه الصرف الصناعي، كذلك يمكن أن تعالج - تقريباً - أي نوع من الحمأة العضوية المنتجة في محطات معالجة مياه الصرف المنزلية أو الصناعية. وكذلك يوصَى بالأكسدة الرطبة عندما تكون النفايات السائلة مخفّفة للغاية، بحيث لا يمكن حرقها، وسامة/مقاومة للمعالجة البيولوجية [8]. وتعد الطريقة أكثر كلفة من حرق الحمأة.

على عكس عمليات حرق الحمأة المعروفة، نجد أن عملية الأكسدة بالهواء الرطب لا تولّد ملوّثات ثانوية مثل الديوكسين والفيوران NO_x (أكاسيد النيتروجين) SO_2 و (ثاني أكسيد الكبريت). وتعمل الطريقة إما لتعزيز قابلية التحلّل الحيوي للحمأة أو معدنة المادة العضوية mineralization بشكل كبير، أي تحويلها إلى بيكربونات وثاني أكسيد الكربون.

يستخدم تهديم (أو تدمير) الحمأة بواسطة (WAO) عادةً درجات حرارة تتراوح بين 100 °C - 370 °C، وعند ضغوط تتراوح بين 20-150 بار، وزمن مكوث (0.25-2 ساعة) [8]. وتعتمد الطريقة على قدرة المواد العضوية الذائبة على الأكسدة عند درجات الحرارة العالية حيث يتم تسريع الأكسدة بزيادة انحلال الأوكسجين في المحاليل المائية. تستخدم الأكسدة بالهواء الرطب، الهواء أو الأوكسجين النقي كمصدر للأكسجين.

تتميّز هذه الطريقة بكفاءة عالية في تهديم المواد العضوية لمياه الصرف عندما يكون تركيز المواد الصلبة 1%-20% (ويجب ألا تتجاوز هذه النسبة)، وهذا يسمح بزيادة درجة الحرارة الداخلية للمفاعل من خلال توليد الحرارة بدون مصدر طاقة خارجي [8]. المعادلة (2-3-3-1) تُعبّر عن عملية الأكسدة الرطبة [8].

$$C_aH_bO_cN_dS_eCl_f + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + NH_4^+ + SO_4^{2-} + Cl^- \quad (1\text{-}3\text{-}3\text{-}2)$$

وفي ظل هذه الظروف تصبح العملية قادرة على إنتاج طاقة ذاتية كافية للحفاظ على إستدامة التشغيل. يبيّن الشكل (1-3-3-2) أنظمة الأكسدة بالهواء الرطب التقليدية مع مفاعل شاقولي [8].

ويمكن تصنيف طريقة الأكسدة بالهواء الرطب للحمأة حسب الضغوط المستعملة إلى ما يلي:

- الأكسدة ذات الضغط المنخفض.
- الأكسدة بالضغط المتوسط.
- الأكسدة بالضغط العالي.

الغرض الرئيسي من الأكسدة بالهواء الرطب منخفض الضغط هو تقليل حجم الحمأة، وزيادة قابلية نزح المياه من أجل التحضير للمعالجة الحرارية، في حين يتم تصميم الأكسدة المتوسطة وعالية الضغط من أجل تقليل حجم الحمأة، وذلك من خلال أكسدة المواد العضوية المتطايرة إلى ثاني أكسيد الكربون والماء.

وعموماً المشاكل الأكثر شيوعاً في المجال الصناعي هي:

- الروائح الكريهة.
- تآكل المبادِلات الحرارية والمفاعِلات.
- استهلاك الطاقة اللازمة لبدء عملية الأكسدة.
- إرتفاع الـ COD في السائل الناتج عن العملية.

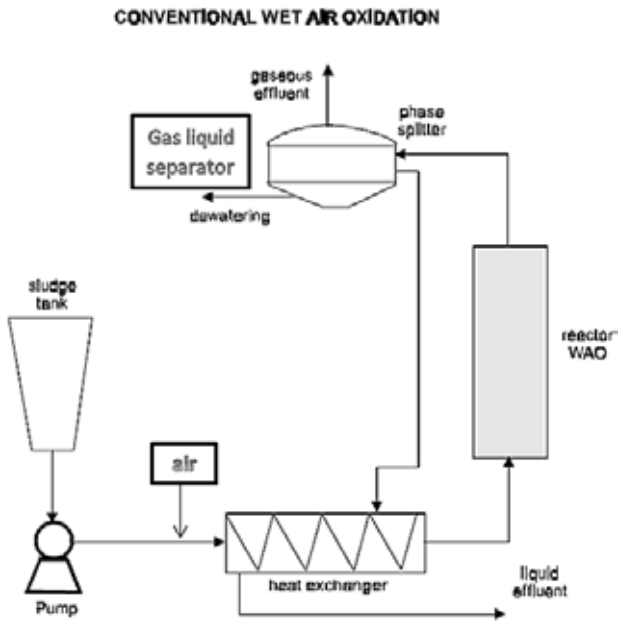
تكون المادة الصلبة المنتجة معقمّة وغير قابلة للتعفُّن، ومستقرة، ويمكن بسهولة نزع الماء منها ميكانيكياً. وتتطلب العملية وتطبيقها على المستوى الصناعي تشغيلاً فعّالاً وصيانة ومراقبة دائمة. يبين الجدول (1-3-3-2) التشغيل النموذجي لمعالجة حمأة مياه الصرف بواسطة الأكسدة بالهواء الرطب [8].

حالياً يهدف تطبيق WAO في المراحل الأولى من الهضم اللاهوائي إلى

تعزيز قابلية التحلُّل الحيوي للمادة العضوية في مفاعلات الهضم اللاهوائي AD، لهذا توجب استخدام درجات حرارة منخفضة (100 - 200 C°) وضغوط (<20 بار)، وأحياناً مع إضافة مُحفِّز. يتم قياس أداء WAO من خلال الزيادة في الكربون العضوي في الطور السائل .[SludgeProcessing . com]

الجدول (2-3-3-1) التشغيل النموذجي لمعالجة حمأة مياه الصرف بالأكسدة بالهواء الرطب WAO [8]

Parameter المعلّمات/المعامِلات	Type of oxidation process نوع عملية الأكسدة		
	ضغط منخفض Low pressure (ther-(mal treatment	ضغط متوسط Inter-mediate pressure	ضغط عالي High pres-sure
Pressure (atm) ضغط	20.5-27.3	27.3-54.6	54.6-136
Temperature (°C) حرارة	148-204	204-260	260-315
Organic matter destruction (%) تحطيم المواد العضوية	5-10	10-50	50-90
Volume reduction (%) تخفيض الحجم	25-35	30-60	60-80
Sludge sterilization التعقيم	yes	yes	yes
Autothermal reaction التفاعل الحراري الذاتي	no	yes	yes
Improvement in dewaterability تحسين نزع الماء	yes	yes	yes



الشكل (2-3-3-1) أنظمة الأكسدة بالهواء الرطب التقليدية مع مفاعل شاقولي [8]

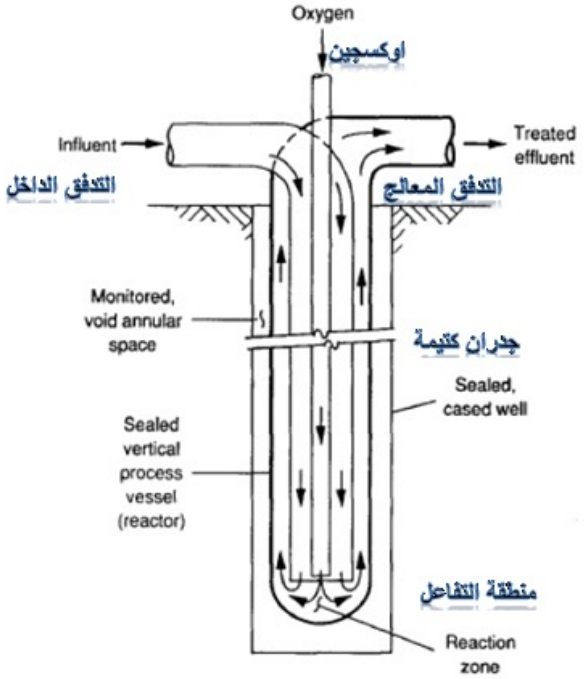
2-3-3-1. الأكسدة الرطبة في الآبار العميقة

Wet air oxidation in Deep shafts

تستخدم الآبار العميقة Deep shaft في معالجة الحمأة المنشطة، كما تستخدم للتطويف بالهواء المنحل، وهنا تستخدم للأكسدة الرطبة للحمأة.

تم دمج تقنية الأكسدة بالهواء الرطب مع طريقة الحمأة المنشطة وسميت (Deep Shaft technology) [8].

يصل عمق المفاعلات تحت الأرض إلى عمق 1.6 كيلومتر، ويتراوح الضغط في القاع بين 100-140 bar (الضغط الهيدروستاتيكي) [20]. أنظر الشكل (2-3-3-1-1). إن الأكسدة بالهواء الرطب للحمأة في الآبار العميقة تجعل المضخات، والمبادلات الحرارية، ومفاعلات الضغط العالي عناصر غير ضرورية، مما يقلّل بشكل كبير من تكاليف المشروع [8]. يضخ الهواء أو الأوكسجين وينحل مع زيادة العمق بشكل كبير في المحلول. يُوصَى باستخدام تقنية Deep Shaft في الأماكن التي تكون فيها الأرض قليلة وغالية.



الشكل (2-3-3-1-1) الاكسدة الرطبة للحمأة في الآبار العميقة Deep shaft [20]

2-3-4. أنظمة توليد الطاقة بتغويز الحمأة

sewage sludge Gasification power generation system

التغويز هو عملية تم أعتمادها لتحويل المواد العضوية إلى غاز يمكن استخدامه كوقود يسمى الغاز الاصطناعي .syngas (synthesis gas) وقد تمت ممارسة عملية التغويز منذ القرن التاسع عشر لتوليد غاز الوقود من الفحم والكتل الحيوية الأخرى. يتكون الغاز الاصطناعي بشكل أساسي من CO_2 و CO و H_2و CH_4 ، وله قيمة تسخين منخفضة تبلغ 4500-5500 كيلوجول/م^3 ، أي ما يقرب من 25 بالمائة من القيمة الحرارية للغاز الحيوي الناتج عن الهضم اللاهوائي.

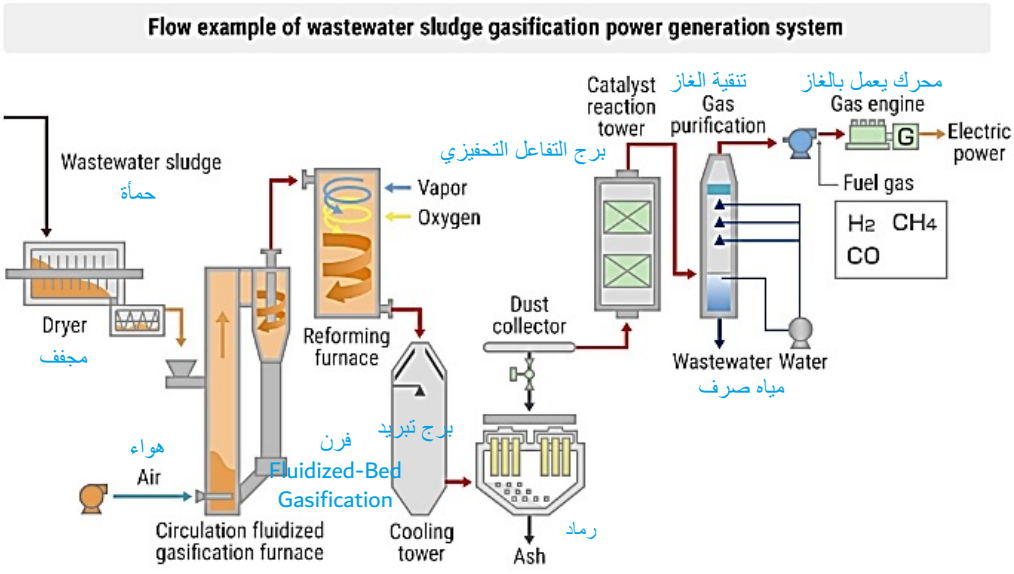
يقوم نظام توليد الطاقة، بتغويز حمأة مياه الصرف من خلال تفاعل التغويز والتعديل (أنظر المعادلات التالية)، وتؤدي هذه العملية إلى إنخفاض كبير في إنبعاثات غازات الدفيئة (CO_2 , N_2O).

$$C + CO_2 \leftarrow \rightarrow 2CO$$

$$C + H_2O \leftarrow \rightarrow CO + H_2$$

$$CO + 3H_2 \leftarrow \rightarrow CH_4 + H_2O$$

ويتم ذلك من خلال الإحتراق الجزئي باستخدام **الأوكسجين المحدود** في فرن خاص. الشكل (2-3-4-1) مخطّط نموذجي لفرن معالجة الحمأة بطريقة التغويز Gas-ification. تبلغ حرارة المفاعل عادة 590 °C -980 °C, [12]. ويتم تعديل المكونات العضوية بكفاءة إلى غاز يستخدم كوقود نظيف في محركات توليد الطاقة أو التسخين.. الخ. عادةً ما يتم مزج مواد عضوية مع الحمأة كالخشب لتحسين إستعادة الطاقة بشكل أكثر كفاءة. الشكل (2-3-4-2) منظر عام لفرن تغويز الحمأة (طوكيو)، حيث يعالج هذا الفرن كمية من الحمأة تبلغ 100 طن/يوم، ويعطي طاقة إنتاجية 150 كيلواط.



الشكل (2-3-4-1) مخطط نموذجي لفرن معالجة الحمأة، التغويز [Metawater group] Gasification

الشكل (2-3-4-2) منظر عام لفرن تغويز الحمأة (طوكيو)، 100طن/يوم
[Bureau of sewage, Metawater group, Tokyo]

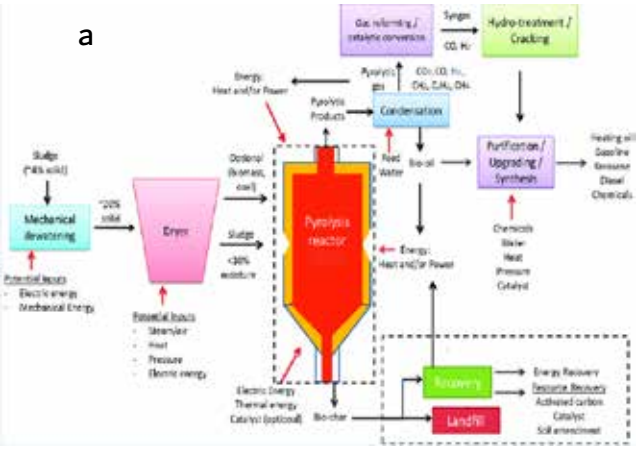
2-3-5. الإنحلال/ التحلل الحراري للحمأة Sludge pyrolysis treatment

الإنحلال الحراري pyrolysis يشير إلى تحلّل المواد العضوية عند درجات حرارة مرتفعة في غياب الأوكسجين وفي ظل ظروف جافة جداً. تستخدم العملية درجات حرارة تتراوح بين 300 C° و 1300 C°وضغوط عالية، وتتبع المنتجات النهائية نوع الحمأة وتصميم المفاعل. ويتم تغذية الحمأة عادةً على شكل مواد صلبة حُبيبية صغيرة (أقل من 3 مم) مجفّفة مسبقاً. الشكل (2-3-5-1) مخطط لسير العمليات في مفاعل الانحلال الحراري للحمأة.

تعمل الطريقة عادةً عند الضغط الجوي، ولكن يمكن تشغيلها ضغوط سالبة تبلغ 0.1–0.2 بار (التحلّل الحراري الفراغي vacuum pyrolysis) أو عند ضغوط موجبة تبلغ 50-200 بار [21]. وفي جميع الحالات يتم الحفاظ على ظروف خالية من الأوكسجين.

ينتج عن الانحلال الحراري للحمأة مادة صلبة من(الفحم المشابه) (Charcoal-like)، وزيت حيوي (Bio-oil) وغازات، منها ثاني أكسيد الكربون والميثان. ويشتمل التصميم القياسي لعملية الإنحلال الحراري على مفاعل، وسيكلون لفصل جسيمات المواد الصلبة عن تيار غاز المدخنة، ومكثّف لحجز الزيت الحيوي السائل. ويتم الحفاظ على وسط خال من الأوكسجين باستخدام النيتروجين أو بعض الغازات الخاملة الأخرى.

a



b

الشكل (2-3-5-1) a.مخطط عام لعملية الانحلال الحراري لحمأة مياه الصرف
b . صورة [Splainex Ecosystems Ltd] [22]

2-3-6. الإنبعاثات الصادرة عن حرق الحمأة
Atmospheric emissions from sludge incinerators

يُسهم حرق حمأة مياه الصرف بشكل كبير في تلويث الهواء، وهو أكثر كلفةً من الدفن أو التطبيق على الأراضي لإرتفاع تكاليف الحرق، واستخدام التقنيات العالية، والمتابعة المستمرة المسؤولة. ويُطلب خيار الحرق للتخلّص من الحمأة ذات المحتوى المعدني المنخفض، أما حرق الحمأة ذات المحتوى المعدني العالي فينتج عنها رماد يوصف بأنه من النفايات الخطرة، ويؤدي التخلص من هذا الرماد والغازات إلى رفع التكاليف المادية [23].

يمكن تقسيم ملوثات الهواء المرتبطة بالحرق إلى فئتين: (1) الروائح و (2) إنبعاثات الإحتراق.

2-3-6-1. الروائح Odors

تنشأ الروائح من العمليات المساعدة لكل أنواع أفران حرق الحمأة. فعلى سبيل المثال تصدر الروائح من عمليات نزع مياه وتخزين ونقل الحمأة. وهذه الروائح تتطلب جمعها ومعالجها. وهناك طرق عديدة لمعالجة الروائح، بعضها كيميائي، وبعضها بيولوجي. وكذلك يمكن للمحارق استخدام الهواء

الملوّث ضمن عملية الإحتراق وبذلك نتخلص من الروائح بدون كلف مادية إضافية.

2-6-3-2. التحكم في تلوّث الهواء Air Pollution Control

تختلف إنبعاثات الإحتراق تبعاً لنوع التقنية المستخدمة للتخفيض الحراري في المحرقة، وطبيعة الحمأة، والوقود المساعد المستخدم في عملية الإحتراق. إن إنبعاثات الإحتراق المثيرة للقلق بشكل خاص هي ملوثات الهواء القياسية المعروفه، ولكن بالنسبة لبعض الملوثات، وتحديداً المعادن الثقيلة، يعد التحكم في المصدر أحد أكثر الطرق فعالية (من حيث التكلفة) لتقليل تلوّث الهواء الناتج عن مداخن المحارق.

تتكون الملوثات المنبعثة من الأفران إلى الهواء المحيط من مواد صلبة، ومركبات متبخّرة تتشّكل أثناء عملية الإحتراق ومن أهمها [8]:

- أكاسيد النيتروجين (NO_x).
- منتجات الإحتراق غير الكامل - أول أكسيد الكربون carbon monoxide CO، والديوكسينات dioxins، والفيورانات furans، الخ.
- الغازات الحمضية: ثاني أكسيد الكبريت sulphur dioxide، وحمض الهيدروكلوريك hydrochloric acid، وحمض الهيدروفلوريك hydro-fluoric acid.
- المركبات العضوية المتطايرة: التولوين toluene، المُذيبات المكلورة chlorinated solvents ،
- المعادن الخطرة (الزئبق والكادميوم والرصاص..).

وبشكل عام، تنقسم عملية التحكم في الإنبعاثات في محارق الحمأة إلى ثلاث فئات رئيسية، وهي:

1. التحكم في المصدر.
2. التحكم في الإحتراق.
3. ومعدات التحكم في تلوث الهواء.

2-3-6-2-1. التحكم في المصدر.

يجب إنفاذ اللوائح بالنسبة للملوثات الموجودة في مياه الصرف، ومراقبة نوعية المياه، ومنه مراقبة نوعية الحمأة المنتجة، وبالتالي نوعية إنبعاثات مداخن المحارق. وتستخدم برامج خاصة للتحكم في المصدر أصبحت متوفرة وفي متناول الشركات المصنعة.

2-3-6-2-2. التحكم في الإحتراق.

في عملية الإحتراق ATO Advanced Thermal Oxidation تتشكّل ملوثات مختلفة، ومنها أكاسيد النيتروجين Nitrogen oxides وأول أكسيد الكربون carbon monoxide والهيدروكربونات الكلية total hydrocarbons، وبعض المركبات العضوية المتطايرة volatile organic compounds، والديوكسين dioxin والفيورانات furans. وتعتبر أدوات التحكم في عملية الإحتراق فعّالة في تقليل مستويات هذه الملوثات المنطلقة مع غازات المداخن.

وبشكل عام سيتم تخفيض معظم هذه الملوثات إلى مستويات مقبولة عند إرتفاع درجات الحرارة في عادم المحرقة incinerator exhaust (بشكل عام إلى أكبر من 750 °C)، مع توفير زمن مكوث كاف (أكبر من ثانية واحدة).

ولكن عندما ترتفع درجات الحرارة أثناء عميلة الإحتراق إلى درجات عالية جداً، فيمكن أن تبدأ بالتشّكل كميات متزايدة من أكاسيد النيتروجين، (اليوريا، عند دمجها مع أكاسيد النيتروجين في غاز المداخن عند درجات حرارة عالية، تحول المواد الضارة إلى N_2 وCO_2 وH_2O). إذاً من أجل الحصول على أداء جيد، يجب الحفاظ على توازن دقيق في التفاصيل المحدّدة لتصميم المحرقة وتشغيلها.

نظراً لأن وحدات ترميد الحمأة ATO، ونخص منها الفرن ذو السرير المميع Fluidized Bed ينتج إنبعاثات أقل تلوثاً من المرمد متعدد الطبقات multiple hearth incineration، لذلك نجد أن الصناعة حالياً تتجه نحو بناء المرمدات

الجديدة وإستبدال القديمة بالأفران ذات الأسرة المميعة، (إذا أمكن ذلك).

2-3-6-3. المواد الصلبة المعلقة المنطلقة من حرق الحمأة.

يبيّن الجدول (2-3-6-3-1) نسبة إسهام الغبار الناتج عن محارق الحمأة في تلوث الهواء في عدد من دول الإتحاد الأوروبي. ويبين الجدول (2-3-6-3-2) الوارد في الفقرة التالية، مدى التشديد على الكمية المسموحة لإصدار الغبار المنتج من محارق الحمأة إلى حوالي ($30\ mg/m^3$).

الجدول (2-3-6-3-1) نسبة إسهام محارق الحمأة في نسبة الغبار، في إحصائية لعدة دول في عام 2004 [46]

NFR sector	Data	PM_{10}	PM_{25}	TSP
6c-waste incineration	No. of country reporting	13	11	14
	Lowest Value	0.0%	0.0%	0.0%
	Typical contribution	1.2%	1.6%	0.8%
	Highest Value	5.8%	7.3%	5.9%

2-3-6-4. الغازات والأبخرة المنطلقة من حرق الحمأة.

تعتبر درجة حرارة إحتراق الحمأة من العوامل الأساسية في تحديد كمية المعادن في غاز المداخن. يعرض الجدول (2-3-6-4-1) تفاصيل التطوّرات التي جرت على القيود التقنية القانونية، موضوع مشروع الأمر الصادر في 2002 (الذي يسن توجيه أوروبي في القانون الفرنسي)، ويوضح زيادة التشديد في القيود المفروضة على المحارق.

الجدول (2-3-6-4-2) يبين تقييم قابلية التبخّر لبعض المعادن المختارة بناءً على درجات الحرارة في مداخن المحارق [24]، وتظهر هذه البيانات أن أربعة معادن (الزرنيخ والكادميوم والزئبق والزنك) تكون شديدة التطاير عند درجة حرارة 980 C° ، إضافة إلى إحتمالية أن يكون الرصاص أيضاً متطايراً عند درجة حرارة الإحتراق المرتفعة هذه. إن زيادة درجة الحرارة التي يتطلبها

حرق المواد العضوية يزيد من إحتمالية الإنبعاثات المعدنية.

أظهرت الدراسات أنه في محارق حمأة مياه الصرف التي تتم فيها المعالجة عن طريق أجهزة غسيل الغازات، تنبعث منها نسبة صغيرة جداً من المعادن الموجودة في الحمأة الواردة إلى المحرقة بإستثناء الزئبق. وعموماً يجب وضع محطة معالجة متكاملة للمعالجة scrubber بعد دراسة وتوقع نوعية غازات الإحتراق.

ولبيان ضرورة ضبط إصدارات المعادن في مداخن محارق الحمأة نعطي المثال التالي: نفترض أن لدينا محرقة حمأة كبيرة (200 طن/يوم) ينبعث منها إلى الغلاف الجوي حوالي 0.5% من مدخلات الرصاص الذي في الحمأة، فإذا كان تركيز الرصاص في الحمأة هو 1940 جزء في المليون، فتجد أنه قد ينبعث حوالي 1.8-1.9 كغ/يوم [24].

الجدول (2-3-6-4-1) مقارنة بين النصوص القانونية المختلفة لحرق الحمأة في أوربا وفرنسا [25]

measurement imposed	mg. m^{-3}	Order 1995			European directive 2000				Order 2002		
continuous / interval measurement of incineration		1 t . h^{-1}	1-3t. h^{-1}	> 3t .h^{-1}	Average / 1 day	Average 1/2h		Average 1day 100%	Average /1/2h		different limit laid down prefectural order
						100%	97%		100%	95%	
Flue gas guarantees											
Total dust		200	100	30	10	30	10	10	30		20
COT Cyclooctatetraene		20	20	20	10	20	10	10	20		
HCl		50	100	50	10	60	10	10	60		
HF			4	2	1	4	2	1	4		
SO_4			300	300	50	200	50	50	200		
NO and Expressed as NO_2 New / existing plan > $6t.h^{-1}$ existing < $6t.h^{-1}$		-	-	-	200	400	200	- 200 400	- 400		- 400 500
Dioxins and furanes					0.1			0.1			
pb +Cr+Cu+ Mn			5	5							
(Sb+As+pb+Cr+Cu+Mn+ Ni+V+Sn +Se+Te)					(8h) 0.5						

Sb+As+pb+Cr+Cu+Ni+V							1					
(Sb+As+pb+Cr+Cu+Ni+V +Sn +Se+Te)+Zn												
Ni+As				1	1							
Cd+ Hg				0.2	0.2							
Cd+ TI												
Hg						0.05	1		0.05			
CO	90% measure-ment /24h		150									
	1 h		100									200
	95% of measure-ment					50	100		50	100		
	Av./10minuts					100		150			50	

5-6-3-2. الرماد المتبقّى بعد عملية حرق حمأة مياه الصرف Ash

يضمن الإحتراق الفعّال تهديم كامل للمواد العضوية، والمواد غير العضوية الخاملة التي تحتوي على تركيز كبير من المعادن. تختلف كمية الرماد المتبقي حسب الحمأة التي يتم حرقها، فإعتماداً على خصائص الحمأة يتم تحويل 10 إلى 30% من إجمالي المواد الصلبة الجافة إلى رماد، والذي يتم دفنه عادةً في المطامر [8]. ونجد بالنسبة للحمأة الخام يمكن توقّع انتاج 200-400 كغ/طن، بينما بالنسبة للحمأة المهضومة قد يتم إنتاج 350-500 كغ/طن، وذلك بسبب التركيز القليل للمواد الصلبة المتطايرة. يوضح الجدول (2-3-6-5-1) التركيبة النموذجية للرماد الناتج عن حرق حمأة مياه الصرف [8].

يحتوي الرماد على معادن خطرة على الكائنات الحية والبيئة، ويمكن أن تصل الخطورة إلى النباتات ومنها إلى الكائنات الحية، لذا يُمنع استخدام الرماد في الزراعة، إذ يجب طمره في مطامر النفايات الخطرة، أو يمكن أن تستخدم التقنيات الحديثة في المعالجة بعمل خلطة من الأسمنت والرماد، مما يضمن الإحتفاظ بالمعادن بشكل موثوق. هنالك بعض أنواع الحمأة الناتجة عن الصناعات الغذائية التي قد لا تحتوي على مواد خطرة كحمأة معامل الحليب، اللحوم، الخ، ولكن يجب إجراء التحاليل اللازمة لنفي ذلك.

الجدول (2-3-6-4-2) تقييم قابلية التبخر لبعض المعادن المختارة بناءً على درجات الحرارة في مداخن حرق الحمأة [24]

	Vapor pressure,[a] mm Hg		
	760°C (1400°F)	980°C (1800°F)	Classification
Arsenic	1.2×10^{4}	1.8×10^{5}	Volatile
Arsenic trioxide	$>10^{3}$		Volatile
Arsenic chloride	$>10^{3}$		Volatile
Cadmium	7.1×10^{2}	5.5×10^{3}	Volatile
Cadmium chloride	50	$\sim 8.0 \times 10^{3}$	Volatile
Cadmium oxide	<1	<1	Nonvolatile
Chromium	6.1×10^{-8}	4.4×10^{-5}	Nonvolatile
Copper	9.8×10^{-8}	5.4×10^{-5}	Nonvolatile
Lead	3.5×10^{-2}	1.3	Nonvolatile
Lead chloride	>5	$\sim 8.0 \times 10^{2}$	Intermediate
Lead oxide	~1	~1	Nonvolatile
Mercury	In vapor state (boils at 357°C at 1013 kPa)		Volatile
Nickel	5.6×10^{-10}	1.1×10^{-6}	Nonvolatile
Zinc	1.4×10^{2}	1.6×10^{3}	Volatile
Zinc chloride	$\sim 8.0 \times 10^{2}$		Volatile

[a] Based on equation from Butta,[9] $\log p = -(A/T) + B$; p = vapor pressure, mm Hg; T = temperature, °K; A = latent heat of vaporization (cal/mol) ÷ 4.578; $B = \log p$ when T = infinity.

الجدول (2-3-6-5-1) التركيبة النموذجية للرماد الناتج عن حرق حمأة مياه الصرف [8]

Component	Composition in dry weight
SiO_2	55%
Al_2O_3	18.4%
P_2O_5	6.9%
Fe_2O_3	5.8%
CaO	5.4%
Cu	650mg/kg
Zn	450mg/kg
Ni	100 mg/kg
Cd	11mg/kg

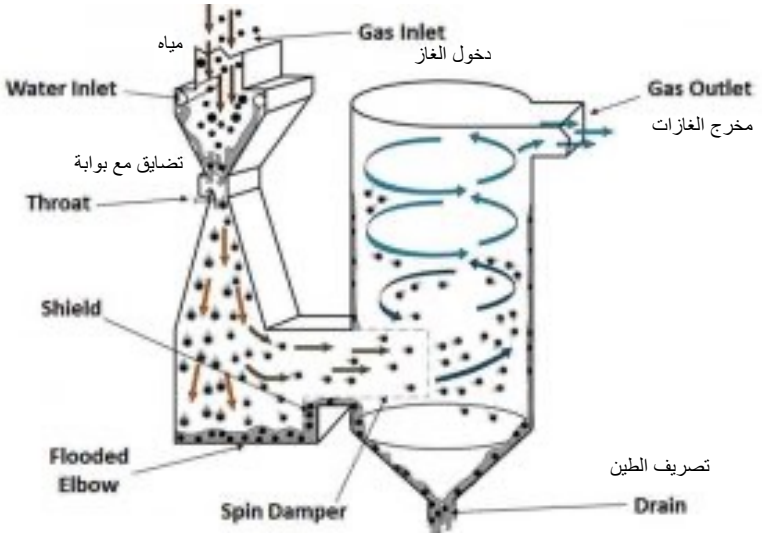
2-3-6-6. طرائق معالجة الإنبعاثات من حرق حمأة مياه الصرف.

تستخدم معدات التحكم في تلوث الهواء كخطوة نهائية لتقليل مستوى الملوثات المتبقية في غازات المداخن. كانت أغلب أنظمة المعالجة تاريخياً عبارة عن أجهزة غسيل رطبة، استخدمت كثيراً في الولايات المتحدة، إلا أن هناك أنظمة «جافة» كانت أكثر شيوعاً في أوروبا وآسيا، وتشبه إلى حد كبير المعدات المستخدمة في محارق النفايات الصلبة. وتستخدم الأنظمة الجافة عادةً بعض طرق تبريد غاز المداخن (سواء كان ذلك جزءاً من غلاية لإستعادة الحرارة، أو برج تبريد) لتخفيف حرارة الغازات قبل الإنتقال إلى المعدات النهائية. وفيما يلي بعض الطرق المتبعة في معالجة الإنبعاثات الناتجة عن حرق الحمأة [12]:

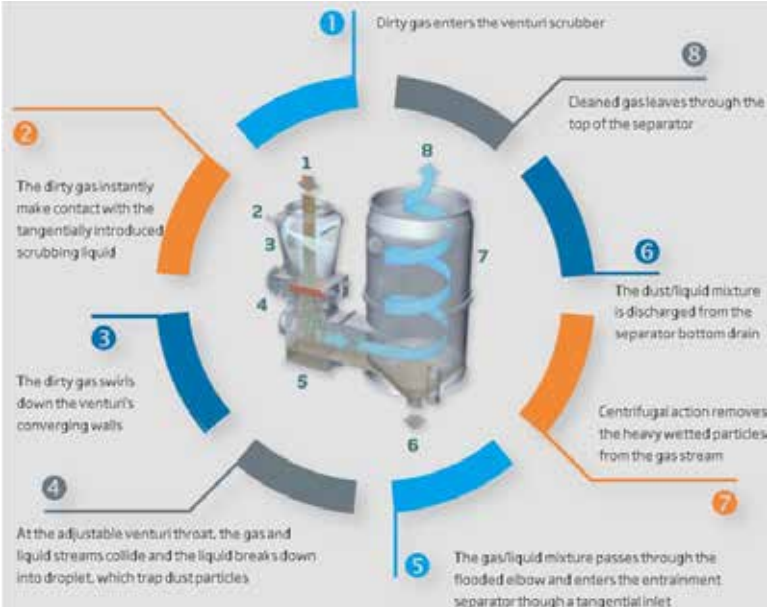
1. تتمتع السيكلونات cyclones بكفاءة عالية لإزالة الغبار تصل 75 - 80% وهي مناسبة لدرجات حرارة غاز الأفران المنطلقة التي تبلغ 340 - 370 درجة مئوية [12].
2. بالنسبة للمحارق ذات الأسرة المميّعة Fludise bed، يمكن استخدام حقن الأمونيا Ammonia أو اليوريا Urea للاختزال الإنتقائي غير التحفيزي

لأكاسيد النيتروجين. تتم هذه المعالجة بينما تكون غازات المداخن ساخنة وعند خروجها من المحرقة. أنظر الشكل (2-3-6-6-1-2) في الفقرة التالية.

3. في بعض الأحيان يتم استخدام طبقة من الميديا Media المشرّبة بالكبريت لإزالة الزئبق. ولكن هذه العملية تتطلب كمية كبيرة من المياه التي تتحول إلى مياه صرف تحتاج إلى معالجة.
4. يتم الآن استخدام الأنظمة الرطبة المتقدمة التي تحتوي على أجهزة تنظيف فنتوري متعدّدة التضيّقاتMultiple throat venturi scrubbers لإزالة الجسيمات والمعادن الثقيلة، والغسيل الرطب بماءات الصوديوم للحمض المتبقي Caustic wet scrubbing، والترسيب الكهروستاتيكي الرطب لتعزيز إزالة الجسيمات الدقيقة والمعادن و polishing . الشكل (2-3-6-6-1) يبيّن إزالة الغبار ومعالجة الغازات بالسكروبر الرطب مع فنتوري Venturi Wet Dust Scrubbers.
5. يمكن حقن مسحوق الكربون المنشط في تيار غاز المداخن لإزالة المعادن الثقيلة والتحكم في الديوكسين والفيوران.
6. يمكن أيضاً حقن الكلس للتحكم في ثاني أكسيد الكبريت والغاز الحمضي.
7. يتم استخدام نظام غرفة الأكياسA bag house، الذي يستخدم أكياس الترشيح Filter bags، لتصفية غازات المداخن. بالنسبة لهذا النوع من الأنظمة يجب تجفيف الرماد وإرساله إلى صوامع خاصة لتحميله بعد ذلك بالشاحنات والتخلص منه.
8. يمكن استخدام الأنظمة الهجينة التي تتضمّن مكونات الهواء الرطب والجاف حسب الحاجة.



a



b

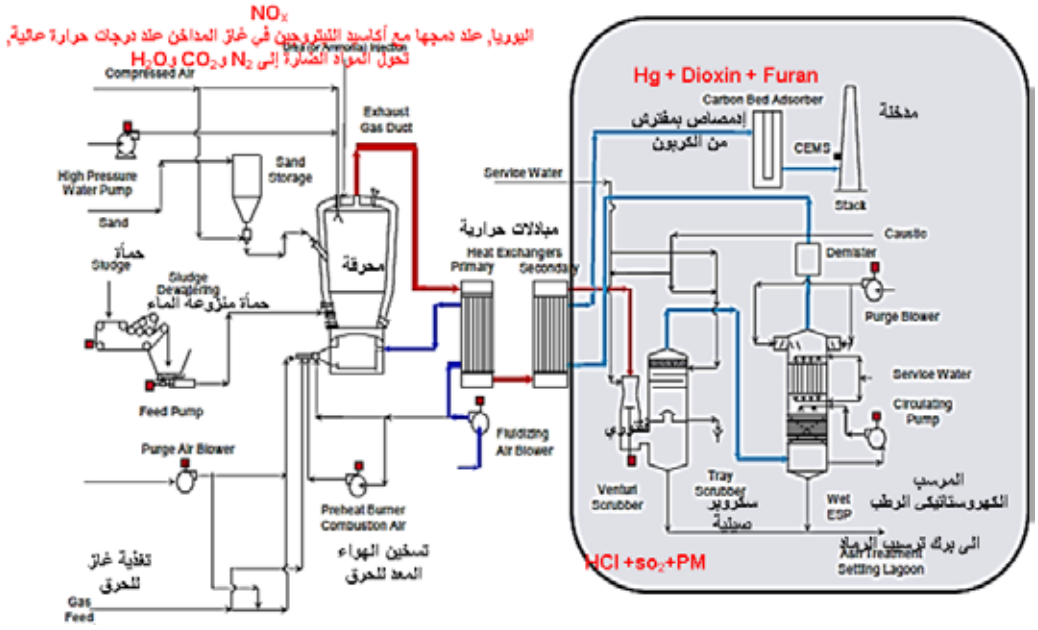
الشكل (2-3-6-6-1)a,b
مثال لإزالة الغبار ومعالجة الغازات بالسكروبر الرطب مع فنتوري
[Nederman MikroPul Co], [SLY Co]

2-3-6-6-1. أمثلة على معالجة الغازات وإسترداد الحرارة في الفرن ذو السرير المميع.

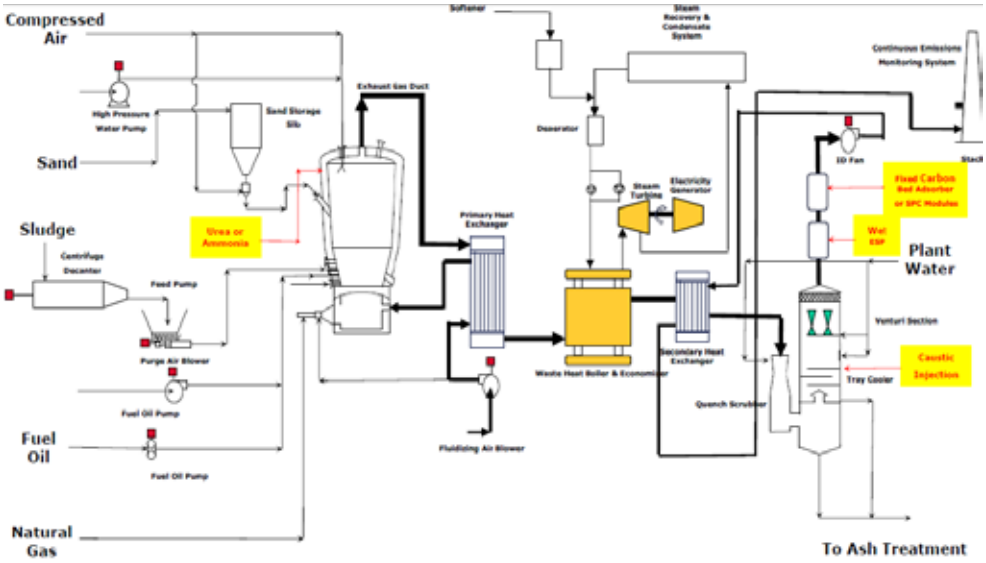
بشكل عام تستعمل طريقتان لمعالجة الغازات والرماد المنطلقة من حرق الحمأة في الفرن ذو السرير المميع، راجع فقرات (2-3-6) التحكم في تلوث الهواء Air Pollution Control.

1- طريقة الرماد الرطب Wet Ash System

تاريخياً، تم التحكم في إنبعاثات الجسيمات الناتجة عن محارق حمأة مياه الصرف الصحي بواسطة أجهزة غسيل الغاز الرطب، نظراً لأن محطة معالجة مياه الصرف المرتبطة بها توفّر مصدراً مناسباً وخياراً جيداً للتخلص من مياه الغسيل، الشكل (2-3-6-6-1-1) [26] (كمثال) يبيّن طريقة المعالجة بالطريقة الرطبة وإسترداد الطاقة في أفران السرير المميّع، ونلاحظ أهمية كل مرحلة من المراحل، مثل معالجة مركبات النتروجين NO_x والفنتوري Scrub-ber Venturi ، والسكروبر ذو الصواني Scrubber Tray، إضافة للمرسب الكهروستاتيكي الرطب (WESP)، والإدمصاص بالكربون المنشط [26], والادمصاص (Adsorption), يشير إلى تجمع الجزيئات أو الذرات او الايونات (المادة الممتزة - adsorbate) على سطح مادة صلبة أو سائلة (المادة المازة - adsorbent) دون أن تخترق المادة المازة. بفعل قوة فيزيائية او كيميائية. يبيّن الشكل (2-3-6-6-1-2) معالجة الإنبعاثات بمرحلتي فنتوري، والمراحل الأخرى تشبه الحالة الأولى، ولكن يتم استعادة الطاقة في تسخين المراجل وتوليد الطاقة الكهربائية [26].



الشكل (2-3-6-6-1-1) طريقة معالجة الغازات والجسيمات بالطريقة الرطبة واسترداد الطاقة من حرق الحمأة في فرن السرير المميّع [26]



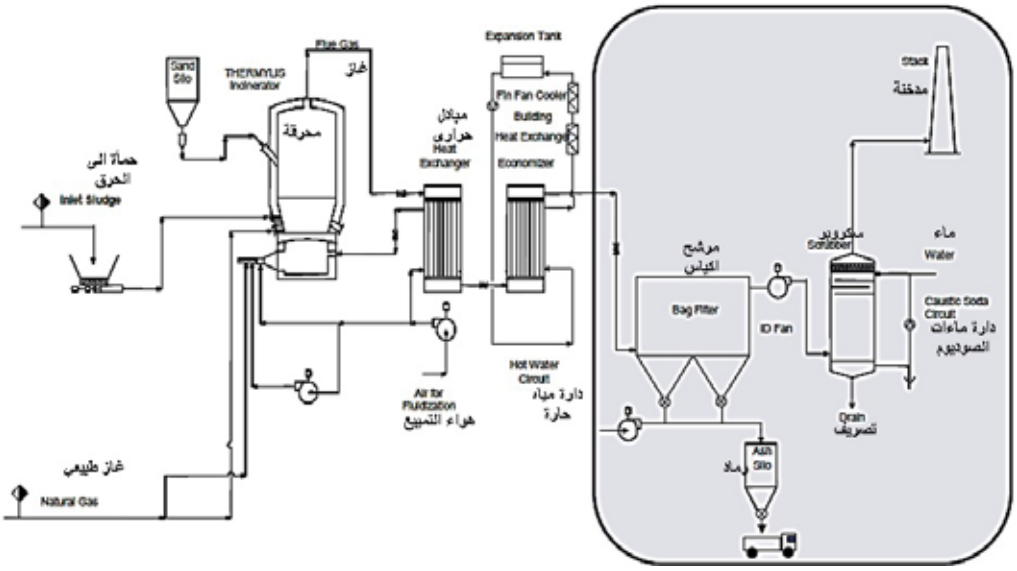
SPC: Sorbent Polymer Composite

الشكل (2-3-6-6-1-2) طريقة مطوّرة لمعالجة الإنبعاثات ولتوليد الكهرباء وتسخين المراجل في فرن السرير المتميع [26]

2- أنظمة الرماد نصف الرطب Semi - Dry Ash systems

أنظر الشكل (2-3-6-6-1-3). تستخدم في المعالجة بشكل أساسي مرشحات الأكياس والسكروبر، وكما ذكرنا سابقاً تستخدم الأنظمة الجافة بعض طرق تبريد غاز المداخن (سواء كان ذلك جزءاً من غلاية لإستعادة الحرارة أو أبراج تبريد) لتخفيف حرارة الغازات قبل الإنتقال إلى المعدات النهائية.

رماد نصف جاف Semi - Dry Ash System



الشكل (2-3-6-6-1-3) طريقة معالجة الإنبعاثات بالطريقة الجافة /الرطبة وإسترداد الطاقة في الفرن ذو السرير المميع [26]

2-4. التقليل من إطلاق الفوسفور - إستعادة الفوسفور من الحمأة المهضومة لاهوائياً

Phosphorus reduction and phosphorus recovery from sludge

التيارات الجانبية sidestreams: هي سوائل عالية الحمولة تطلق من مختلف مراحل معالجة الحمأة.

تختلف بشكل كبير خصائص التيارات الجانبية الناتجة عن تخمير الحمأة الأولية fermentation وهضم الحمأة الأولية والحمأة المنشطة، عن التيارات الجانبية الناتجة عن تكثيف ونزع المياه من الحمأة الأولية والحمأة المنشطة

[12]. والسبب الرئيسي هو إطلاق المركبات العضوية التي تحتوي على النيتروجين والأمونيوم والفوسفات في السوائل الناتجة عن هذه العمليات. يعتمد تركيز العناصر المغذية القابلة للذوبان في هذه التيارات الجانبية العالية الحمولة على العملية التي تنشأ عنها. الجدول (2-4-1) يبين خصائص التدفُّقات الجانبية المختلفة (The post-digestion recycle stream) من عملية التكثيف، التثبيت، نزع الماء من الحمأة الخام والمهضومة. في حال تم إعادة هذا التدفّق إلى محطة المعالجة، فإن ذلك سيؤدي إلى زيادة حمل المغذّيات في حوض المعالجة البيولوجية.

تستعمل عدة طرق لإدارة هذه المغذّيات القادمة من التدفُّقات الجانبية منها: تخفيف تأثير التدفقات الجانبية أو إستعادة الفوسفور.

الجدول (2-4-1) خصائص التدفقات الجانبية المختلفة من عملية التكثيف، التثبيت، نزع الماء من الحمأة الخام والمهضومة [12]

Operation	Percent of plant influent	Value, mg/l						
		TSS	BOD	TKN	NH_4-N	NO_x	TP	Ortho-P
Gravity thickening supernatant:								
Primary sludge	2-3	80-350	100-400	19-70	12- 45	0	4-11	3-8
Primary sludge + waste activated sludge	3-5	100-350	60-400	20-70	8-45	0-8	4-15	2-7
Primary sludge fermentate,including elutriation water	3-4	700-900	2000-2500	80-120	60-100	0	10-20	5-15
Flotation thickening subnatant (waste activated sludge)	0.7-1	100-2500	50-1200	8-250	0-45	0-30	2-50	0.05-8
Centrifuge thickening centrate (waste activated sludge)	0.7-1	500-3000	170-3000	40-280	0-45	0-30	8-60	0.05-8

Screw press-filtrate + pressate (alkaline and heat stabilization for Class A)	0.3-0.5	400-500	600-1300	120-250	10-20	0-5	6-14	< 1
Aerobic digestion supernatant (mesophilic, continuous and intermittent aeration)	0.1-0.5	100-10,000	100-1700	100-1200	20-400	0-400	200-350	200
Anaerobic digestion supernatant, two-stage, high rate	0.1-0.5	l000-11500	500-5000	850-1800	800-1300	0	110-470	100-350
Centrifuge dewatering centrate:								
-Two stage, high rate anaerobic digestion	0.5-1	200-20,000	100-2000	810-2100	800-1300	0	100-550	100-350
-Thermal hydrolysis + single stage mesophilic anaerobic digestion	0.2-0.5	1500-10000	1500-3000	2200-3700	2000-3000	0	220-800	200-700
Belt-filter press filtrate: two- high rate anaerobic digestion, including belt wash-water	1-2	100-2000	50-500	410-730	400-650	0	50-200	50-180
Filter press	0.5-1	50-1000	50-250		800-1300	0		100-350
Sludge lagoon supernatant		5-200	100-200					
Sludge drying bed underdrainage	0.3-0.5	20-500	100-200		0-400	0-400	2-210	2-200
Composting leachate		500	2000					
Incinerator scrubber water		600-8000	30-80					
Depth filter washwater		100-1000	50-500					
Carbon adsorber washwater		100-1000	50-400					

[12] [Adpted, in part, from U.S. EPA (1987) and WEF (1998)]

2-4-1. تخفيف تأثير التدفقات الجانبية Major potential mitigation measures for side streams

عادةً ما يتم ضخ التدفّقات الجانبية إلى مدخل محطات المعالجة ليتم معالجتها مع مياه الصرف، وهذا يزيد من أحمال محطة المعالجة العضوية. وتُستعمل عدة تدابير لتخفيف تأثير التدفقات الجانبية ومنها:

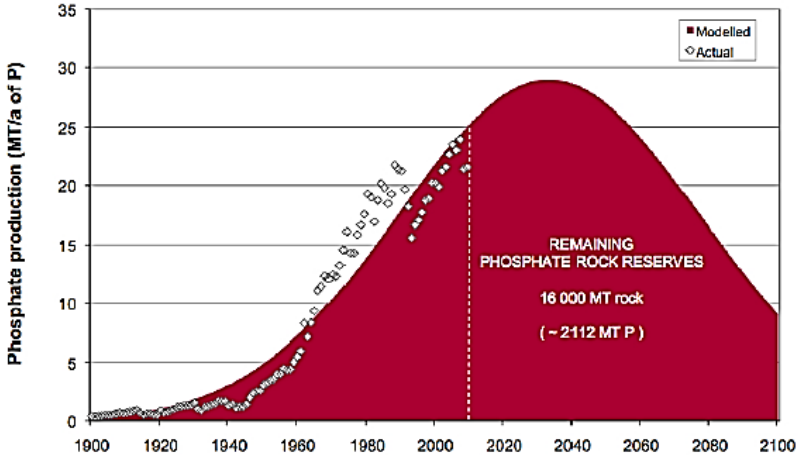
1. يفضّل عمل تكثيف للحمأة بواسطة التطويف بالهواء المنحل DAF، أو مكثّف الحزام الراشح الضاغطBelt filter press، أو مكثّف الأسطوانة الدوارة، على التكثيف بواسطة الثقالة وذلك لتقليل إطلاق الفوسفور. إن التخمّر الجزئي للحمأة الذي يحدث غالباً في المكثفات التي تعمل بالثقالة gravity thickeners يولّد أحماضاً دهنية متطايرة، ويقلّل القلوية، ويزيد تركيز الأمونيوم والفوسفات [12].
2. معالجة أولية للتدفقات الجانبية العائدة من المكثفات، مثل إجراء عمليات ترسيب.
3. معالجة مستقلة بيولوجية لهذه التدفقات الجانبية.
4. إقامة حوض توازن لهذه التدفقات Equalization of Sidestream Flows، وتزويد محطة المعالجة الرئيسية بالتدفقات حسب الأحمال.
5. لتقليل حمولات الفوسفور في التدفّقات المعاد تدويرها إلى محطة المعالجة، يمكن أن نستعمل التطبيق المباشر على الأرض للحمأة السائلة أو المهضومة أو الحمأة الخام المنزوعة الماء متبوعة بالتثبيت، مثل الأسمدة.

2-4-2. العمليات الفيزيائية والكيميائية لإستعادة الفوسفور Physiochemical processes for phosphorus recovery

تعد تقنية إستعادة الفوسفور ذات أهمية، ليس فقط لتقليل محتوى الفوسفور في التدفقات المعادة، ولكن أيضاً لتوفير إمكانية إعادة استخدام الموارد المحدودة في العالم. فمع زيادة الطلب على الفوسفور للاستخدامات الزراعية، وندرته في بعض الدول، والنوعية المنخفضة للخامات الطبيعية،

وكُلفة نقلها وتنقيتها، الأمر الذي أدى إلى إرتفاع مستمر في أسعار هذه المادة الأولية. ومن المتوقع أن يستمر في المستقبل إزدياد الطلب على هذه المادة الأولية بسبب التنمية والتزايد السكاني المتصاعد، ويتوقع ذروة للإنتاج في 2033. الشكل (2-4-2-1) منحنى ذروة إنتاج الفوسفور بحلول عام 2033، المستمدة من هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية وبيانات الصناعة [13].

ينتج الفرد من الفسفور كمية حوالي 1.8غ/شخص/يوم [27]، ونتيجة لذلك، فإن الفوسفور الموجود في حمأة مَرافق معالجة مياه الصرف والتدفقات الجانبية، بات ينظر اليه كمصدر لمادة أولية مهدورة يجب إستعادتها وإعادة استخدامها كسماد بدلاً من كونها مادة مغذّية يجب معالجتها والتخلص منها. على الرغم من أن تكلفة الأسمدة الفوسفورية المستردة تبلغ حوالي 4 يورو/كغ فوسفور، وهي أعلى من تكلفة الأسمدة التجارية التقليدية (1.6 يورو/كغ فوسفور)، فإن التكلفة السنوية المكافئة للفرد أقل من 3% من إجمالي تكاليف مياه الصرف، إضافة الى أنه سوف تنخفض هذه التكلفة بشكل أكبر مستقبلاً (Nättorp et al. 2019). باختصار، فإن عملية الاسترداد ستكون مورداً محتملاً للـ P، وهذا سوف يخفّف من النقص العالمي لأملاح الفوسفات.



الشكل (2-4-2-1) منحنى ذروة إنتاج الفوسفور بحلول عام 2033، من هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية وبيانات الصناعة [13]

2-4-3. طُرق إستخلاص الفوسفور Processes for recovery of sidestream phosphorus

يعتمد مبدأ عملية إستخلاص الفوسفور من الحمأة والتدفقات الجانبية على البلورة Crystallization، بإستخلاص فوسفات أمونيوم المغنيسيوم Magnesium ammonium phosphate (struvite) وفوسفات الكالسيوم (Hydroxyapatitc Calcium phosphate). وهناك عدة طرق معتمدة للبلورة تستعمل في محطات المعالجة، وفيما يلي ذكر لبعض الطرق المعتمدة والمستعملة على نطاق واسع لإستخلاص فوسفات أمونيوم المغنيسيوم.

1. طريقة AirPrex®.
2. جهاز التبلور ذو الطبقة المميعة على شكل مخروطي Cone-shaped fluidized bed crystallizer.
3. Crystalactor®.
4. طريقة NuReSys®.
5. طريقة Pearl®.
6. طريقة Phosnix®.
7. طريقة PHOSPAQ™.

2-4-3-1. طريقة AirPrex® لإستخلاص فوسفات أمونيوم المغنيسيوم (struvite) من الحمأة.

(سنتعرّض هنا بالتفصيل لطريقة **AirPrex®**). تم تطوير طريقة Air-Prex® بواسطة معهد برلين للتكنولوجيا. حيث يتم في هذه الطريقة بلورة الستروفيت (struvite) (Magnesium ammonium phosphate) مباشرة من تدفُّق الحمأة المنتجة في الهاضم اللاهوائي، (وليس من التدفّقات الجانبية)، وفق المعادلة (2-4-3-1-1).

$$Mg^{2+} + NH_4^+ + PO_4^{3-} + 6H_2O \rightarrow MgNH_4PO_4.6H_2O \quad (2\text{-}4\text{-}3\text{-}1\text{-}1)$$

تتكوّن طريقةAirPrex من خزان تهوية مزدوج المراحل، ويتكوّن إما من حوضين منفصلين، أو من حوض واحد بجدار فاصل. زمن الحجز الهيدروليكي

(HRT) يبلغ حوالي 8 ساعات. يتم استخدام طريقة Air lift في التهوية لكل مرحلة من مراحل العمل، تعمل على خلط الحمأة، وتعرية ثاني أوكسيد الكربون، وزيادة الرقم الهيدروجيني PH، حيث مجال PH لهذه الطريقة هو أقل من 8 (عموماً يتراوح PH 7.2-7.4).

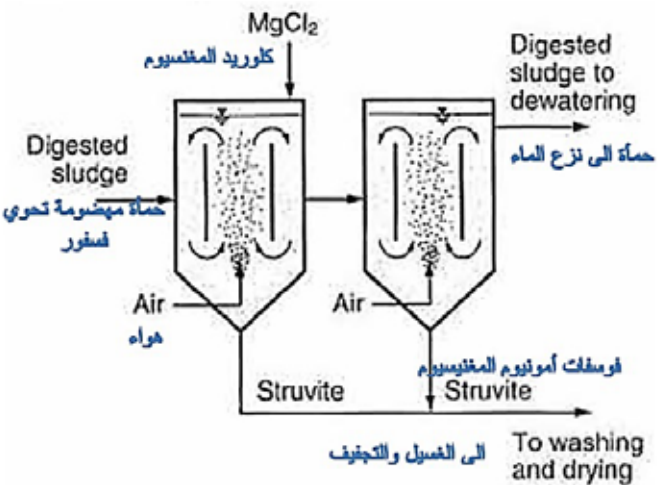
الشكل (2-4-3-1-1) يبين مراحل إستخلاص فوسفات أمونيوم المغنيسيوم (الستروفيت) من الحمأة المهضومة بطريقة AirPrex®.

يتم استخدام كلوريد المغنسيوم Magnesium chloride كمصدر للمغنيسيوم ويضاف إلى المرحلة الأولى أو الثانية أو كلتيهما. وتتشّكل جسيمات الستروفيت في الأحواض، ويتطوّر حجمها لتتمكّن من الترسيب، وتستقر في القسم المخروطي السُّفلي من كل مرحلة. ويتم سحب المنتج بشكل متقطّع أو مستمر من كل مرحلة، ثم يتم نقله بواسطة ناقل حلزوني إلى غسّالة الرملSand washer. من ثمّ يتم تخزين المنتج المغسول وهو مبلّل، أو بعد تجفيفه لاحقاً. ويتم إرسال فائض الحمأة المهواة overflows في المرحلة الثانية إلى حوض الترسيب، حيث يمكن إستعادة الستروفيت الإضافي، أو قد تُرسل إلى عملية نزع المياه. وقد تكون هناك حاجة إلى معالجة الهواء في موقع العمل، وذلك بإستعمال أنظمة التحكُّم في الرائحة.

2-4-3-2. طريقة Ashdec® لتحويل الفوسفور في الرماد إلى Bio-available $NaCaPO_4$

يتم معالجة رماد الحمأة بالتسخين في الفرن الدوّار rotary kiln، ومع إضافة المواد الكيميائية يتم تحويل الفوسفات الموجودة في رماد الحمأة إلى($NaCaPO_4$) المتاح بيولوجياً bio-available، ويتم ذلك عن طريق التفاعل مع $Na_2 SO_4$ عند درجة حرارة 900-1000 °C مع حد أدنى من زمن للإحتفاظ، وقدره 20 دقيقة. ويتم استخدام حمأة مياه الصرف الصحي الجافة كعامل إختزال في هذه الطريقة. وفي هذه الطريقة تتبخّر المعادن الثقيلة (مثل، الكادميوم، الزئبق، الرصاص، الزنك) ويتم إزالتها عبر الطور الغازي. وتنتج العملية في ظل ظروف الاختزال مادة ذات توافر بيولوجي جيد للفوسفور،

بغض النظر عن درجة حموضة التربة. ويمكن استخدام غاز الفرن الساخن لتسخين الرماد وNa_2SO_4 وهواء الفرن. الشكل (2-4-3-2-1) يبيّن مخطط عملية معالجة الرماد الحرارية والكيميائية للحصول على رماد غني بالفوسفور النشط. (تم تطوير الطريقة من قبل Outotec ومعهد BAM الفيدرالي لأبحاث وإختبار المواد). [13].

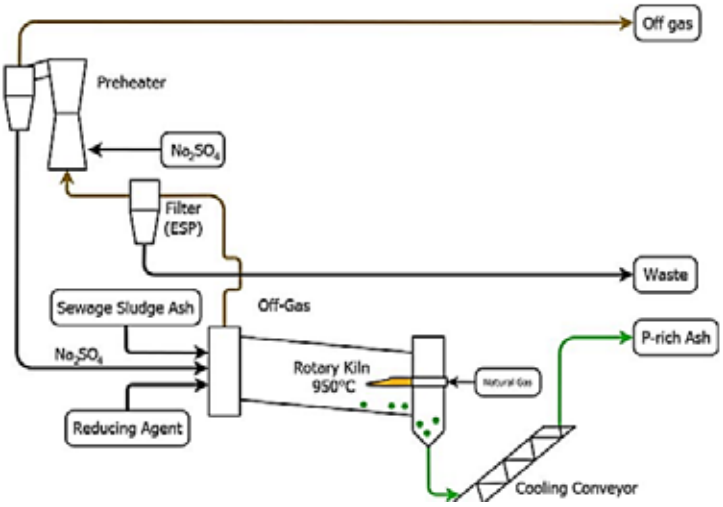


a

b

c

الشكل (2-4-3-1-1) إستخلاص الستروفيت من الحمأة المهضومة بطريقة®AirPrex
a. مخطط لمراحل المعالجة B. صورة لمفاعل الإستخلاص c. الستروفيت المبلور، [CNP cycles GmbH] ، [12]



الشكل (2-4-3-4-1-2) مخطّط عملية معالجة الرماد حرارياً وكيميائياً للحصول على الفوسفور النشط [13]

2-4-4. الإتجاهات العالمية المستقبلية لإدارة الحمأة في المانيا، كمثال:

إستراتيجية إدارة الحمأة الجديدة في المانيا - قانون إسترداد الفوسفور من الحمأة.

(AbfKlärV) P-Recovery Sewage Sludge 2017 [13].

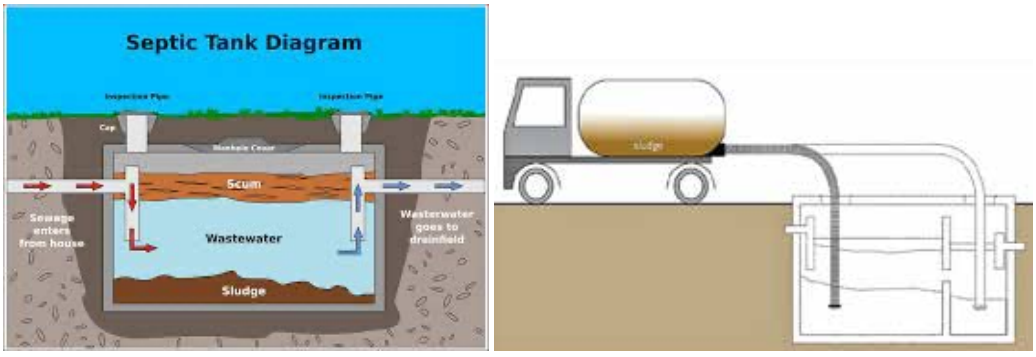
1. يجب على محطات معالجة مياه الصرف التي تزيد سعتها عن PE 100.000 شخص مكافئ، أن تعمل على إستعادة الفوسفور بعد فترة إنتقالية مدتها 12 عاماً.
2. يجب على محطات معالجة مياه الصرف الصحي التي تزيد سعتها عن PE 50.000 شخص مكافئ، أن تعمل على استعادة الفوسفور بعد فترة انتقالية مدتها 15 عاماً.
3. لا يسمح بالاستخدام المباشر لحمأة مياه الصرف كسماد بعد الفترة الانتقالية 12/15 سنة.
4. إستثناء محطات معالجة مياه الصرف الصغيرة والمتوسطة < PE 50.000 شخص مكافئ، حيث يمكن استخدام الحمأة زراعياً.

أهداف استعادة الفوسفور :[13]

1. أن لا تقل كفاءة الإستخلاص عن 50%.
2. خفض محتوى الفسفور < 20 غرام فسفور / مادة جافة).
(Lowering the P-Content < 20 g P/DM).
3. لا يجوز حرق الحمأة التي تحتوي على > 20 غرام من الفوسفور/المادة الجافة.
(No co-incineration of sludges containing > 20 g P/DM).

2-5. الحمأة البرازية Fecal sludge management (FSM)

يتم تعريف الحمأة البرازية على أنها ما يتراكم في أنظمة الصرف الصحي في الموقع مثل، المراحيض الحفرية pit latrines , وخزانات التخمر septic tanks انظر الشكل (2-5-1) , خزانات التجميع النهائية،المراحيض المتنقلة... الخ. وتتكوّن عموماً من الفضلات البشرية [10]. يعتمد حوالي 2.7 مليار شخص على المعالجة في الموقع، وهو رقم من المتوقّع أن ينمو إلى خمسة مليارات بحلول عام 2030 (Strande et al. 2014).



a b

الشكل (2-5-1) a. خزانات التخمير b. عملية تفريغ الخزانات بواسطة الصهاريج
[D-tox group] ,[TILLEY et al.]

تشمل إدارة الحمأة البرازية (FSM)، التخزين والجمع والنقل والمعالجة والاستخدام النهائي الآمن، أو التخلص من الحمأة البرازية التي جُمعت وبشكل مشترك مع حمأة مياه الصرف الصحي. ويشكل جمع الفضلات ونقلها ومعالجتها واستخدامها النهائي أو إعادة استخدامها سلسلة معقدة من العمليات، يدخل فيها منتجو الحمأة وشركات الجمع ومحطات المعالجة.

تختلف الحمأة البرازية عن حمأة مياه الصرف الصحي، حيث لا يمكن معالجتها ببساطة في محطات معالجة مياه الصرف الصحي. ولكن من الممكن إضافة كميات صغيرة من الحمأة البرازية إذا كانت محطة المعالجة غير مستغلة بشكل كافٍ وقادرة على إستيعاب الأحمال الإضافية. وتتوفّر عادةً مرافق لفصل السوائل والمواد الصلبة من الحمأة البرازية باستعمال تقنيات متنوعة من المعالجة آلية أوغير آلية، بما في ذلك أحواض الترسيب، وأحواض التجفيف المزروعة Wetlandوغير المزروعةDrying bed ، وبرك التثبيت.

يمكن أن تنتج من عمليات المعالجة منتجات نهائية مفيدة، مثل النفايات السائلة المعالَجَة التي يمكن استخدامها في الري، وكذلك الأسمدة المشتركة لإنتاج محسنات للتربة، والهضم اللاهوائي لإنتاج الغاز الحيوي، وإنتاج أشكال وقود الإحتراق الجاف مثل الكريات أو الفحم الحيوي، والفحم النباتي، والديزل الحيوي، والحمأة لتسميد النباتات، أو البروتين كعلف للحيوانات، [10]، [60]، [2].

3

إدارة
الحمأة الصناعية

3-1. تعريف الحمأة الناتجة عن معالجة مياه الصرف الصناعي.

الحمأة الصناعية هي الحمأة الناتجة عن العمليات الفيزيائية الأولية، والمعالجة الكيميائية، والمعالجة الثنائية (الثانوية)، أو المعالجة الثلاثية، وتحوي هذه الحمأة ملوّثات خاصة مرتفعة القيمة حسب الصناعة كالمعادن الثقيلة، الزيوت والدهون، الأملاح، المذيبات، الملوثات العضوية الخطرة، الخ. ويمكن عزل العديد من هذه المواد أو إستعادتها، أو إعادة تدويرها.

ويتم معالجة الحمأة الصناعية لتصغير حجمها وتحويلها لعناصر أكثر إستقراراً، وكذلك لضبط الروائح ومسببات الأمراض الموجودة فيها، بغية التخلّص منها وفق القوانين والأنظمة المرعية.

3-2. خصائص الحمأة الصناعية.

تشمل خصائص الحمأة الصناعية، المواد الصلبة الكلية، المواد الصلبة العضوية (قابلة للتطاير) والمغذّيات والـ pH، مسببات الأمراض، المعادن، المواد العضوية الكيميائية، والملوثات الخطرة.

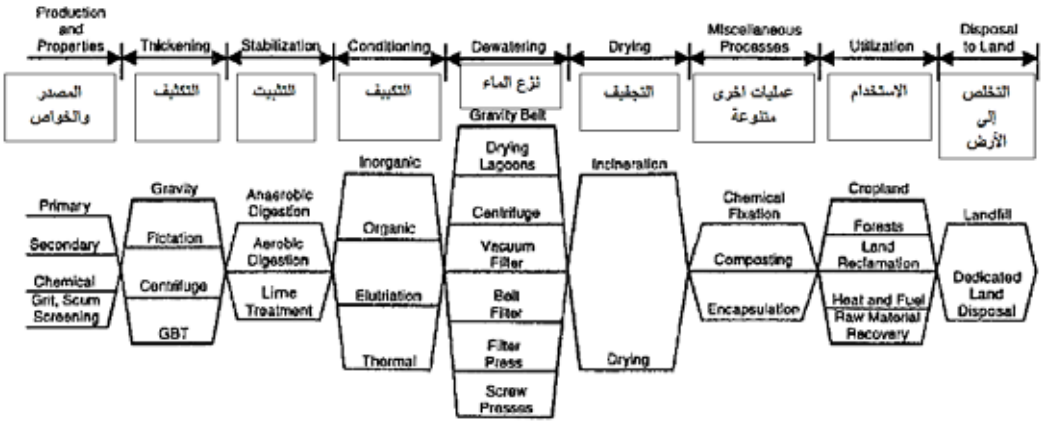
وفي عملية الإختيار والتصميم التي يجب أن تتم مسبقاً، يجب على فريق المشروع إجراء إختبارات لدراسة إمكانية المعالجة لتحديد متطلبات الأداء المتوقعة لكل عملية معالجة مقترحة. ومع ذلك يجب ان يُؤخذ في الإعتبار أن إختلافات طفيفة في تكوين مياه الصرف المعالجة يمكن أن تغيّر بشكل كبير من خصائص المواد الصلبة.

3-3. خيارات معالجة الحمأة الصناعية Sludge Treatment Alternatives

تعتمد كمية ونوعية الحمأة على نوعية مياه الصرف وطرائق المعالجة المتبعة، ويجب التعامل مع خيارات المعالجة التي تعكس طبيعة المواد الصلبة في الحمأة. فعلى سبيل المثال، الحمأة الحُبَيْبية (حمأة لب الورق والورق) يتم تكثيفها ونزع الماء عنها بسهولة، وتصل نسبة المواد الصلبة فيها إلى 30% إلى 50% (من حيث الوزن)، في حين أن الحمأة البيولوجية أو حمأة الشبة (الآلوم)، «ونعني هنا المركب الكيميائي المستعمل في معالجة

المياه، كبريتات الالمنيوم المائية ($Al_2(SO_4)_3{\cdot}nH_2O$) وهو جزء من تصنيف الآلوم ». حيث يصعب فصل المياه منها، وتصل نسبة المواد الصلبة فيها إلى 15% إلى 20%، حيث تحتفظ المواد الصلبة بالماء بكمية أكبر. والحمأة البيولوجية الصناعية غالباً ما تفتقر إلى الألياف التي تساعد على تحسين أداء نزع الماء من الحمأة البلدية، لذلك نجد أن الحمأة البيولوجية الصناعية هي الأكثر صعوبةً في التعامل معها. يبيّن الشكل (3-3-1) خيارات معالجة الحمأة الصناعية [28].

قد لا تكون طرق معالجة حمأة مياه الصرف الصحي عملية في معالجة حمأة الصرف الصناعي، ولكن كثير من المبادئ العامة في معالجة حمأة مياه الصرف الصحي تسري على معالجة حمأة الصرف الصناعي، إلا ما يشار إلى خلاف ذلك في هذا الفصل.



الشكل (3-3-1) خيارات معالجة الحمأة الصناعية [28]

قد تشمل معالجة الحمأة الصناعية:

التكثيف، التثبيت، التكييّف، نزع الماء، التجفيف الحراري، وتقليل الحجم.

تتشابه طرق معالجة الحمأة الصناعية بشكل عام مع مراحل معالجة حمأة الصرف الصحي المذكورة في الفصل الثاني، إلا أن كل مرحلة من مراحل المعالجة لها إستثناءاتها وملاحظاتها الخاصة، والتي تتبع نوع الحمأة الصناعية

وتركيبها الكيميائي والفيزيائي، ومن ثم اختيار طريقة المعالجة المناسبة لهذه الحمأة.

3-3-1. تكثيف الحمأة thickening sludge

تشمل تقنيات التكثيف النموذجية المستعملة في معالجة حمأة الصرف الصناعي، التكثيف بالجاذبية (بالثقالة)gravity thickening, والتكثيف بالهواء المنحل (DAF)، والتكثيف بالطرد المركزي Centrifuge thickening، والمكثّف الحلزوني Screw Presses، ومكثّف البرميل الدوار RDT Rotary Drum thickening، تكثيف الحمأة بواسطة السير المكثّف Gravity belt thickening.

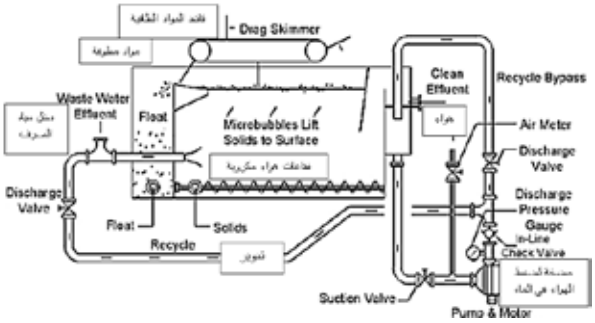
3-3-1-1. تكثيف الحمأة الصناعية بالثّقالة.

إن تكثيف حمأة مياه الصرف الصناعي بالثقالة أمر غير مألوف في معالجة مياه الصرف الصناعي، ذلك بسبب حاجته بشكل عام إلى توفُّر مساحة، إضافةً إلى إمكانية نشر الروائح، كما أن تدفقات الحمأة المعادة تؤثر على تكلفة معالجة مياه الصرف الصناعي، والتي تتولّد منها عادةً كميات كبيرة من المواد الصلبة (مثل مصانع لب الورق والورق ومصانع الصلب، البيرة...) [12].

3-3-1-2. تكثيف الحمأة الصناعية بالتطويف DAF

ويدعى التطويف بالهواء المنحلDissolved air flotation، ويستعمل لتطويف المواد الصلبة للحمأة الصناعية وخصوصاً الغذائية منها، ونذكر منها الألبان والأجبان، اللحوم، معامل الزيوت، الحمأة الخفيفة (الحمأة البيولوجية)، ويستعمل التكثيف بالتطويف عندما تكون المساحة غير متوفّرة في المنشآت الصناعية. الشكل (3-3-1-2-1) يبيّن وحدة تطويف حمأة صناعية مستطيلة، مع إحدى طرق ضغط الهواء في دارة ماء التطويف (حل الهواء في الماء)، والمنتشرة حالياً لبساطتها وأدائها الجيد [29]، (حيث يمكن بهذه الطريقة أن تُدخل المياه الممزوجة بالمواد الكيميائية إلى الحوض مباشرة). ضوابط التصميم مذكورة في الفصل الثاني الفقرة (2-1-2). ومن مساوئ الطريقة حاجة

جهاز الـ DAF إلى الإشراف والمتابعة والصيانة الدائمة، والحاجة المستمرة إلى المواد الكيميائية اللازمة لتشكيل الندف، إضافة لمشاكل التعامل مع المواد الكيميائية وتخزينها.



(a)

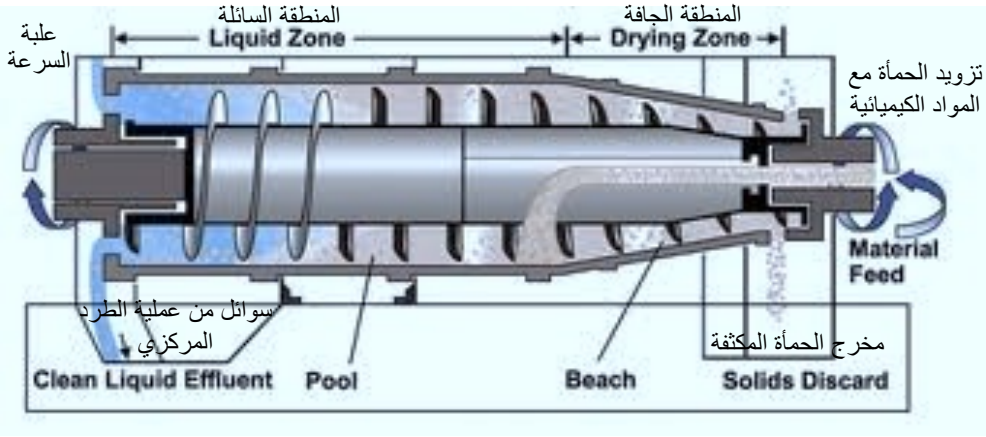
(b)

الشكل (3-3-1-2-1) a. إحدى طرائق ضغط الهواء في ماء التطويف b. صورة لتطويف الحمأة [30], [segma]

3-3-1-3. تكثيف الحمأة الصناعية بالطرد المركزي Centrifuge thickening

تستخدم أجهزة الطرد المركزي (ويسمى كذلك ديكانتر طرد مركزي Decanter centrifuge) سواءً لفصل المياه (نزع الماء) أو لتكثيف الحمأة الصناعية. وهي تقنية معقّدة تتطلب عمالاً مدربين لكي تعمل الآلة بكفاءة، ولكنها تُعتبر التكنولوجيا الأكثر ملاءمة لمحطات مياه الصرف الصناعي الكبيرة التي تحتوي على كمية كبيرة من المواد الصلبة، وكذلك عند وجود مستويات عالية من FOG (الدهون والزيوت الشحوم) [28]. ويوجد عدة أنواع من أجهزة الطرد المركزي، ولكن واحداً منها يُستخدم عادة في تطبيقات مياه الصرف الصناعي هو الديكانتر (ذو الحلزون)، حيث يدور الحلزون داخل الوعاء بسرعة مختلفة قليلاً عنه، أنظر الشكل (3-3-1-3-1)، وراجع الفصل الثاني تكثيف الحمأة. إذ يمكن أن تتكثّف المواد الصلبة في الحمأة الأولية إلى ما بين 6%و 8% والمواد الصلبة في الحمأة المنشطة إلى 2.5 %، ويمكن للطرد المركزي التعامل مع تدفقات كبيرة، وعندها يمكن أن نحتاج إلى عدد من الأجهزة.

يستخدم الديكانتر في صناعات معينة، فعلى سبيل المثال: الأغذية، المشروبات، الأدوية، الصناعة الكيميائية، وذلك لفصل المياه عن المواد الصلبة، كما يمكن أن توجد أجهزة الطرد في صناعة السيارات والأثاث والإنهاءات المعدنية لإزالة المياه من حمأة الدهان، وقد يستعمل جهاز الطرد المركزي «ثلاثي المراحل» لفصل المواد الصلبة الزيتية عن الماء وعن الزيت القابل للإسترداد. وعموماً هنالك إرتفاع في تكاليف الطاقة اللازمة للتشغيل، كما يتطلب الجهاز صيانة فيما يتعلق بالتآكل.



الشكل (3-3-1-3-1) مخطط لجهازالطرد المركزي ذو الحلزون
[weco - M-I L.L.C]

3-3-1-4. تكثيف الحمأة بواسطة السير المكثّف Gravity belt thickening (GBTs)

راجع الفقرة (2-1-4) تكثيف الحمأة بواسطة السير المكثف.

3-3-1-5. مكثّف البرميل الدوّار RDT. Rotary drum thickening

وهي طريقة رخيصة لتكثيف الحمأة الصناعية، أداءها مقبول، يمكن إستعمالها من أجل كميات الحمأة الصغيرة أو المتوسطة. تحقّق هذه الطريقة نسبة مواد صلبة 4-9% [28]. راجع الفقرة (2-1-5) مكثف البرميل الدوار.

3-3-2. نزع الماء من الحمأة الصناعية Dewatering

حتى نتمكّن من حرق الحمأة أو دفنها، يجب علينا تقليل رطوبتها، وعادةً يتم تكثيف الحمأة ثم يتبعه نزع الماء. حيث تحتوي الحمأة منزوعة المياه على نسبة مواد صلبة ما بين 10% وحتى أكثر من 50% (ويتبع ذلك نوع الحمأة).

وأشهر الطرائق المستعملة لنزع المياه من الحمأة الصناعية: الطرد المركزي centrifuges ، المكبس ذو الحزام belt filter presses، المرشح المكبسي pressure filters، المكابس اللولبية screw presses، المرشحات الإنفراغية vacuum filters، ويستخدم أيضاً Geotextile (الجيوتكستايل أكياس قماشية راشحة:)، ومرشحات الحاوية container filters.

3-3-2-1. نزع الماء من الحمأة الصناعية بالطرد المركزي.

راجع الفقرة (3-3-1-3).

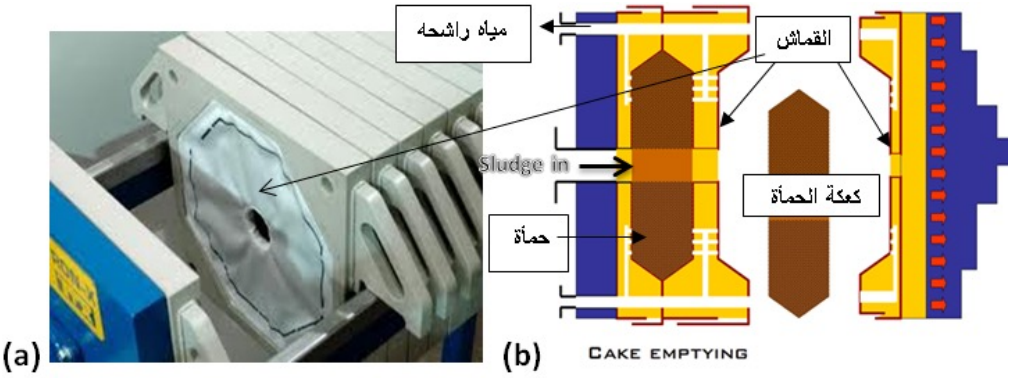
3-3-2-2. الحزام الراشح الضاغط Belt filter press

في طريقة الحزام الراشح الضاغط، تَعتمد معدلات تحميل وأداء المواد الصلبة على نوعية الحمأة. فعلى سبيل المثال، الحمأة المنتجة من الحزام الراشح الضاغط من مياه صرف المناجم، لب الورق، والورق، والمنسوجات سيتم تكثيفها ونزع الماء منها بسهولة، وستحوي على تراكيز عالية من المواد الصلبة. راجع الفقرة (2-2-6-1-2). الحزام الراشح الضاغط..

3-3-2-3. المرشح المكبسي Filter press

يعد المرشح المكبسي (ويدعى الفلتر بريس) خياراً جيداً لنزع مياه حمأة مياه الصرف الصناعي عندما يُطلب نسبة عالية من المواد الصلبة في كعكة الحمأة، حيث يمكن أن تصل نسبة المواد الصلبة إلى أكثر من 40% وزناً. تُعرف هذه التقنية كذلك بإسم مكابس الألواح والإطارات Frame press-es، وهي شائعة في الصناعات المعدنية الثقيلة، والصناعات التي تنتج حمأة قليلة مثل (تصنيع الطلاء، ولوحات الدوائر المطبوعة، وتكرير الزيوت

المعدنية بالبنتونايت، الأغذية والمشروبات، والنفط، والبتروكيمياويات، والأدوية، وإنهاءات المعادن، معامل التبغ...الخ). الشكل (3-3-2-3-1)a,b يبيّن مقطع وصورة للمرشح المكبسي. الشكل (3-3-2-3-2) نزع الزيت من الحمأة الزيتية في معامل تكرير الزيوت المعدنية. بشكل عام تكون كمية المواد الصلبة في الحمأة المنتجة بواسطة المرشح المكبسي مناسبة جداً للطمر في المطامر.



الشكل (3-3-2-3-1) a. صورة لصفائح وقماش المرشح المكبسي b. مخطط حركة الحمأة والمياه الراشحة داخل المرشح

تبدأ العملية بضخ الحمأة المكيّفة (يجب مزج الحمأة بمادة مخثرة مناسبة مثل البوليمر) داخل المرشح المكبسي تحت ضغط مرتفع مما يؤدي إلى ملء الفراغات بين ألواح المكبس، ويؤدي الضغط المستمر لمضخّة التغذية إلى دفع الماء الموجود في الحمأة عبر أقمشة الترشيح، ومنه إلى أقنية داخل الألواح، ومنه إلى حوض التجميع، وتبقى الحمأة المنزوعة الماء في الفراغات بين الألواح.

الشكل (3-3-2-3-2) صورة لمرشح مكبسي يفصل الزيت عن الحمأة في معمل تكرير زيوت معدنية بمزيج من الزيت والبنتونايت

يتم تغليف الصفائح بمواد خاصة أو رماد لمنع التصاق القماش بها. يتوفر في الشركات المصنعة لهذه المرشحات صفائح بأبعاد مختلفة، وعدد الصفائح يتبع إستطاعة المرشح المطلوبة. في بعض الاحيان يتم إضافة المواد الخاملة (على سبيل المثال، الكلس أو السيليكا) إلى الحمأة لتحسين نزع الماء والحد من «الالتصاق»، ولكن هذا يزيد من حجم الحمأة التي سيتم نقلها والتخلص منها. الوزن النوعي للحمأة السائلة (1.01-1.06). كثافة الكعكة (240)كغ/م^3 للحمأة البيولوجية، و(400)كغ/م^3 كثافة حمأة هيدروكسيد المعدن Metal hydroxide sludge بدون أي اضافات [12].

ملاحظة: يمكن إستعمال نظام يجمع خصائص المرشح المكبسي، يليه مبخر بالإنفراغ لإنتاج حمأة تكون تقريباً جافة، حيث في البداية يتم نزع ماء الحمأة إلى المستويات التقليدية بواسطة المكبس المرشح، ثم تؤخذ الحمأة إلى غرفة خاصة ذات ضغط منخفض وبدرجة حرارة 80 C° وفي ظروف الفراغ (حيث يتبخر الماء بدرجة حرارة منخفضة) نحصل على حمأة جافة.

4-2-3-3. المكبس اللولبي ذو الأقراص (الحلقات) Multi-disc screw press

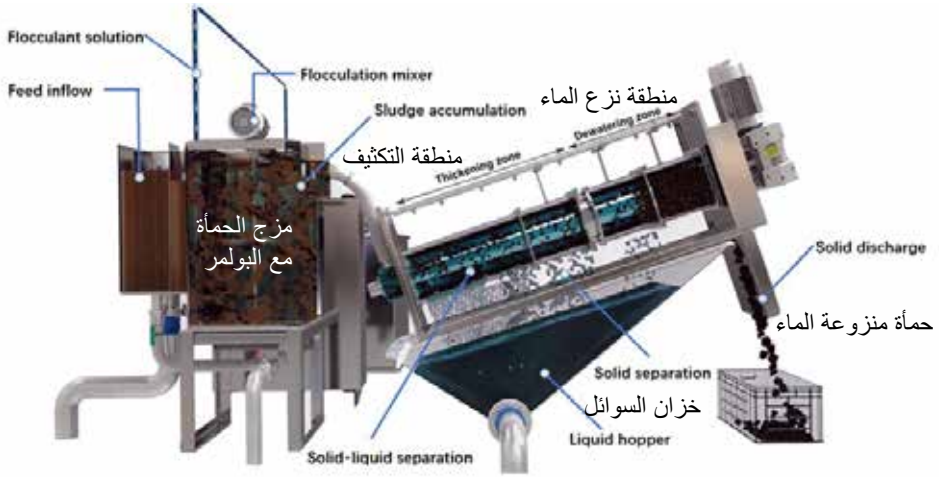
يعتبر المكبس اللولبي ذو الأقراص (الحلقات) من أهم الوسائل المستخدمة لتكثيف ونزع مياه الحمأة بشكل عام، والحمأة الصناعية بشكل خاص. يوضح الشكل (3-2-3-4-1) مقطعاً لجهاز المكبس اللولبي ذو الأقراص، مع صورة من إحدى الشركات المصنّعة. يتألّف المكبس اللولبي ذو الاقراص من حلقات متحركة حول حلزون دوّار، يتزايد قطر محوره بإتجاه الأمام. ويتم تغذيته بالحمأة المكثّفة بنسبة (DS: 1-4) عند المدخل، وتنتقل الحمأة من منطقة الضغط المنخفض إلى منطقة الضغط العالي عن طريق الحلزون الذي يدفع الحمأة ويضغطها. قبل أن تدخل الحمأة إلى المكبس اللولبي تُمزج مع البوليمرات أو الشب (الآلوم)، وتتراوح جرعة البوليمر 2-10 كغ/طن من المواد الصلبة. يوجد فوق الحلقات مرشّات غسيل تحت الضغط 2.8-5.5 بار تعمل بشكل متقطع Flash washing. وتتراوح سرعة الدوران من 0.5-6 دورة في الدقيقة.

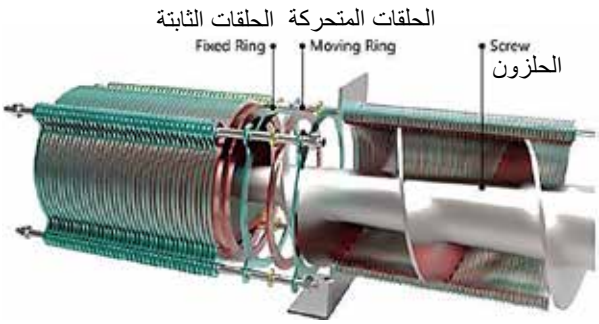
وتعتبر هذه الطريقة مكلفة بالنسبة للتأسيس، ولكن المؤسسات بدأت تعتمد عليها لقلة المشاكل الميكانيكية، ولإمكانية عمل مرحلتي التكثيف ونزع الماء في نفس الآلة، وإمكانية التنظيف الذاتي الذي يعاني منه المكبس الحلزوني العادي. وحالياً تنتج الشركات نماذج تعطي مواد صلبة بنسبة 18% - 25% الجدول (3-2-3-4-1) من شركة مصنعة يبيّن أداء المكبس اللولبي (كمثال). نقدّم فيما يلي شرحاً عن مراحل العمليات في المكبس، وذلك لأهمية هذه الآلة في معالجة الحمأة الصناعية والبلدية.

1. **التكثيف:** ويتم في أول قسم من الأسطوانة التي تحوي الحلزون والحلقات، فعند دوران الحلزون يسبب في حركة الحلقات صعوداً وهبوطاً حول المحور، وبواسطة الجاذبية وتحت ضغط الحلزون وحركة الحلقات، فإن معظم المياه تعبر إلى أسفل الجهاز حيث يوجد خزان تجميع مؤقت.
2. **نزع المياه:** تتحرّك الحمأة المكثفة للأمام بشكل مستمر من منطقة

التكثيف نحو منطقة نزع الماء، ومع تضايق مسافة سن الحلزون أكثر فأكثر، وزيادة قطر المحور بشكل التدريجي، يحدث إزدياد الضغط وإنتاج كعكة منزوعة الماء.

3. **التنظيف الذاتي:** إن حركة الحلقات بشكل مستمر للأعلى وللأسفل تحت ضغط الحلزون تساعد على تنظيف الفجوات بين الحلقات الثابتة والحلقات المتحركة، وبذلك يمنع الإنسداد الذي يحدث بشكل متكرّر لمعدّات نزع المياه التقليدية.





الشكل (3-3-2-4-1) المكبس اللولبي ذو الأقراص
[Benenv Co], [X2 soulution Co], [Dagyee Co]

4. **نطاق التطبيق:** يستعمل المكبس اللولبي الحلزوني ذو الأقراص لنزع مياه الحمأة من أجل أنواع مختلفة من الحمأة الصناعية، بما في ذلك حمأة الصرف الصحي. من الصناعات التي يمكن أن نستعملها في معالجة الحمأة: المسالخ، والطباعة، والصباغة، والصناعة النفطية، وصناعة الورق، والجلود، والصيدلانية، وأنواع كثيرة أخرى من الصناعات.

الجدول (3-3-2-4-1) مثال على أداء المكبس اللولبي ذو الأقراص [من Glanua Co.]

	Applicable Units	Multi-disc screw Press
Flow Rate	m^3/hr	5 ~ 10
Screw Press Dry Weight	kg	2,150
Typical Sludge Feed Concentration	% D.S.	1 ~ 5%
Typical Dewatering Results	% D.S.	20% +/- 5%
Typical Polymer Consumption	Kg A.P./T D.S.	4 ~ 10
Solids Recovery Capture Rate	%	90% +/- 5%
Typical Daily Run Time	Hrs / Day	8 ~ 24
Solids Dewatering Capacity	kg D.S. / Hr	10 ~ 125
Maximum Daily Through-put	kg D.S. / Day	1,200 ~ 12,000
Main Screw (s) Rated Power	kW	3
Typical Dewatering System Energy Usage	kW / Hr	1.52 ~ 3.0

3-3-2-5. المرشح الإنفراغي Vacuum filtration

نادراً ما يُستخدم المرشح الإنفراغي لنزع مياه الحمأة البلدية، لكنه يُستخدم لنزع مياه الحمأة الزيتية الصناعية مثل الدوائية - المصافي النفطية، كما يمكن استخدامه في الصناعات التالية: تصنيع شراب الذرة، تصنيع عصائر الفواكه، صناعة المشروبات الروحية، الصناعة الدوائية، الصناعات البتروكيماوية، صناعات غذائية أخرى.

يتألف المرشح من أسطوانة عليها قماش من (polypropylene) يسمح

بمرور الماء ولا يسمح بمرور الحمأة، ويتعرّض المرشح لضغط سلبي (38 - 75 سم زئبقي). يتم غمر الأسطوانة في الحمأة بنسبة 40% - 60% من السطح، وكلما دارت الأسطوانة وبداخلها ضغط سلبي، يتكون على القماش طبقات من الحمأة، وبعدها يتم إخراج الأسطوانة من حوض الحمأة وقشط الحمأة من على القماش لتسقط في وعاء خاص، ومن ثم يتم غسيل القماش. يصل متوسط زمن عمل المرشح إلى 16 - 20 ساعة داخل الحمأة، والباقي قشط وغسيل. ويُضاف للحمأة مواد مخثّرة مثل كلور الحديد الثلاثي (Ferric chloride $Fecl_3$) والكلس.

ويكون معدل التحميل لسطح المرشح (من [4] ,[7]) ،

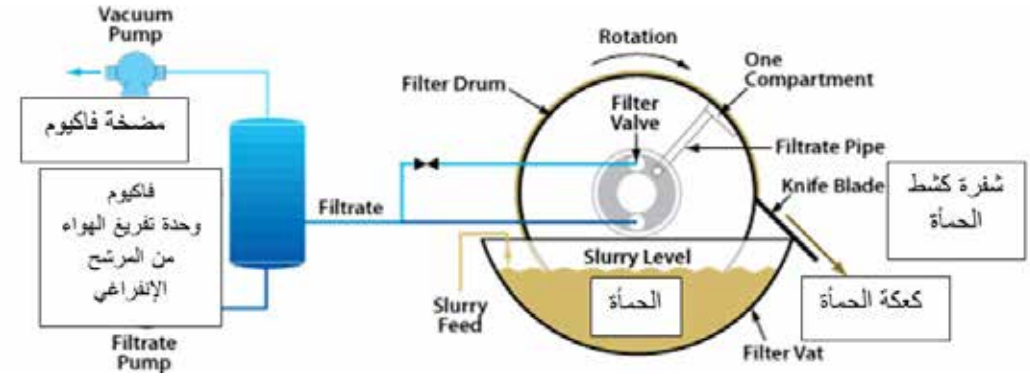
من أجل الحمأة الأولية ، {(20-60)kgd.s/m^2/h}

ومن أجل الحمأة المنشّطة ،{(12-17)kgd.s/m^2/h}

ومن أجل حمأة أولية + حمأة منشّطة ، {(20-25)kgd.s/m^2/h}

ومن أجل حمأة ذات صعوبة في نزع الماء. {(12-7)kgd.s/m^2/h}

يبيّن الشكل (3-3-2-5-1) مخطّط للمرشح الإنفراغي المستمر مع صورة أثناء عمله. ويتألّف المرشّح المستمر من مجموعة من الحجرات تحت ضغط سلبي، وعندما تصل أقرب حجرة إلى منطقة القشط، يُوقف الضغط السلبي في الحجرة فتسهل عملية القشط.



a

b

الشكل (3-3-2-5-1) a. مخطط للمرشح الإنفراغي المستمر، b. صورة للمرشح الإنفراغي [Bran company]

3-3-2-6. مرشح الحاوية Container filters

مرشح الحاوية هو عبارة عن حاوية لديها ثلاثة مكونات، هي جسم الحاوية، والجدران (التي يمكن أن تكون مسامية تسمح بعبور الماء)، والأرضية. وتعمل الحاوية على أساس دفقة واحدة. يبين الشكل (3-3-2-6-1) أحد نماذج مرشحات الحاوية، (وقد يوضع لها قماش نفوذ على الأرضية والجدران). عند ضخ الحمأة إلى المرشح، يتم تصريف السوائل عن طريق الجاذبية من خلال أرضية الحاوية والجدران (إذا كانت مساميّة)، (ويمكن إضافة مضخّة إنفراغية لتسريع عملية نزع المياه) ثم يتم ضخ المياه المرشّحة من أسفل الحاوية، وتُصرف إلى المعالجة. ويمكن أن تكون الحاوية من النوع الذي يركّب على

شاحنة، حيث تنقل الحاوية الى مكان التفريغ، أو إلى محطة المعالجة التالية. وتتراوح أبعاد الحاويات من 3.8 م^3 حتي 30 م^3. تكون المواد المستعملة للرشح (الميديا) من الفولاذ المقاوم للصدأ، أو النايلون، أو البوليستر، أو البولي بروبلين، أو أي مادة مناسبة للحمأة الزيتية إذا لزم ذلك. وتكون أبعاد مسام الميديا (4,750-44 µm). والتكنولوجيا بسيطة وغير مكلّفة ومناسبة للمحطات الصغيرة نسبياً. ويتم استخدامها على نطاق واسع في المنشآت النفطية ومحطات توليد الطاقة (لفصل ماء طين الرماد المتطاير Fly ash).

الشكل (3-3-2-6-1) مرشح الحاوية [Clean it up Co.]

3-3-2-7. أكياس الجيوتكستايل Geotextile

أكياس الجيوتيوب Geotube أو Geotextile هي أحدث طريقة لنزع مياه الحمأة الصناعية، أنظر الشكل (3-3-2-7-1). في هذه الطريقة يتم تكييف الحمأة وتشكيل الندف، ومن ثم يتم ضخّها في أكياسGeoTube . وتبقى الحمأة فيGeoTube لمدة تصل إلى عدة أشهر تِبعاً لنوع الحمأة (يعتمد ذلك على المواد الصلبة المعلقة وترابط الماء مع المادة الصلبة). تحتجز الرشاحة من GeoTube في أحواض خاصة، ومن ثم يتم معالجتها أو التخلّص منها. وعند نزع كامل المياه يتم قص GeoTube وإزالة الحمأة منه. يماثل أداء Ge-oTube في نزع المياه من الحمأة لطرائق نزع مياه الحمأة الأخرى. كما أن جودة الترشيح هي مماثلة للمرشح المكبسي. ويمكن تصنيع GeoTube حسب الطلب.

ملاحظة: راجع الفقرة (2-2-6-2-6-1) بشأن نزع مياه الحمأة في محطات المعالجة الصناعية الصغيرة بواسطة الأكياس القماشية.

الشكل (3-3-2-7-1) نزع مياه الحمأة بالجيوتيوب
[TenCateTM , ONOclarion] GeoTube

3-3-3. تجفيف الحمأة الصناعية.

إن نزع مياه وتجفيف الحمأة الصناعية يُسهّل عملية التعامل معها، ويجعلها أكثر قابلية للإحتراق. وتستعمل عدة طرق لتجفيف الحمأة الصناعية، ويعتمد ذلك على نوع الحمأة ومراحل المعالجة التي مرّت بها سابقاً، وعلى مدى إمكانية الإستفادة منها بعد التجفيف من أجل التطبيق على الأراضي، أو طمرها في المطامر العادية أو الخطرة.

سنورد فيما يلي أهم الطرق العامة المتّبعة في تجفيف الحمأة الصناعية.

3-3-3-1. أحواض / أسرة التجفيف الرملية التقليدية Drying bed

راجع الفقرة (2-2-6-2-1). تُستعمل الطريقة أحياناً للصرف الصناعي، أنظر الشكل (3-3-3-1-1) الذي يوضح حوض تجفيف رملي في مصبغة أقمشة. المشاكل المرتبطة بتجفيف حمأة الصرف الصناعي في أحواض التجفيف الرملية للمصانع، مثل إحتياجها لمساحات كبيرة، وإحتمالية نشر الروائح، قد يجعلها أقل جاذبية للمنشآت الصناعية.

الشكل (3-3-3-1-1) أحواض تجفيف الحمأة الرملية في مصبغة اقمشة (حلب - السورية للغزل)

3-3-3-2. برك تجفيف الحمأة Lagoons

تُستعمل برك التجفيف في نزع وتجفيف مياه الحمأة، ولكن يعتمد استخدام الطريقة على نوعية الحمأة، حيث قد تشكل الروائح مشكلة تجعلها أقل جاذبية في الإستعمال في الصرف الصناعي. وهذه الطريقة شائعة في صناعة اللب والورق. راجع الفقرة (2-2-6-2-3).

3-3-3-3. أَسرَّة التجفيف بمساعدة الإنفراغ Vacuum-Assisted Drying Beds

راجع الفقرة (2-2-6-2-4). وللطريقة محاذير تتعلّق بموضوع الروائح، ولكنها تعتبر مناسبة لكثير من الصناعات.

3-3-3-4. التجفيف الحراري وحرق الحمأة الصناعية.

أصبح تقليل حجم الحمأة أكثر أهمية بسبب زيادة تكاليف التخلص منها، وكذلك بالنسبة للقوانين المنظّمة التي أصبحت تُشدّد على تقليل كمية مسببات الأمراض Pathogens والمركبات العضوية الخطرة في الحمأة، مما يتطلّب تسخين الحمأة إلى أكثر من 80 درجة مئوية، وأن تحوي الحمأة المجفّفة على نسبة رطوبة 10% أو أقل.

وتسمح القوانين عادةً بالتطبيق على الأراضي للحمأة الصناعية التي تمت معالجتها، والتي تلبي معايير المعادن والمغذّيات في الحمأة المعالجة (يتم إضافة مواد كيمائية للحمأة مثل:Metam- sodium أو potassium hydroxid).

تقوم العديد من الصناعات بتجفيف الحمأة، مثل صناعة اللب والورق، وتشطيب المعادن والمواد الكيميائية والأدوية والصلب.

في صناعة اللب والورق على سبيل المثال، يتم استخدام الحمأة المجفّفة في تطبيقها على الغابات، أو بسبب محتواها العالي من المركبات المتطايرة، يمكن حرقها بمساعدة أنواع الوقود الصلبة الأخرى لإنتاج البخار والطاقة. وغالباً ما تكون حمأة هيدروكسيد المعادن التي تنتجها صناعة تشطيب المعادن والصلب خطرة، ويؤدي تجفيف هذه الحمأة إلى تقليل حجمها، وبالتالي التقليل من تكاليف التعامل معها والتخلص منها.

الطريقتان الرئيسيتان للتجفيف الحراري للحمأة هما:

1. الحمل الحراري المباشر Sludge incineration. راجع الفقرة (2-3-2) ترميد الحمأة.
2. الحمل الحراري غير المباشر indirect heating. راجع الفقرة (2-3-1) التجفيف غير المباشر للحمأة.

5-3-3-3. أسمدة الحمأة الصناعية Composting

الأسمَدة أو عمل الكومبوست هو عملية تثبيت بيولوجية تستخدم لبعض أنواع حمأة مياه الصرف الصناعي التي يمكن الإستفادة منها بعد تسميدها. يتم استخدام الأسمدة عادةً للمواد الصلبة المتولّدة عن الصناعات الغذائية، وبعض صناعات الأدوية، ولب الورق، والورق، الخ.

في هذه العملية، يتم خلط الحمأة الصناعية المنزوعة الماء، مع مواد تساعد على عمل فراغات داخل المزيج (عامل نفش)، مثل رقائق الخشب،

نشارة الخشب، أو مع الحمأة التي تم تحويلها إلى سماد سابقاً، حيث تساعد هذه المواد الهواء على التدفق بشكل موحّد عبر أكوام الكومبوست.

التسميد هو عملية بيولوجية هوائية تتطلب إمداداً مستمراً بالأوكسجين، لذلك يتم توفيره إما عن طريق التقليب المتكرر أو المنافيخ الميكانيكية Blowers . يولد التحلّل الميكروبي حرارة، مما يرفع درجة حرارة المواد إلى ما بين 55 و60 درجة مئوية، وينخفض وزن الحمأة عادةً إلى أكثر من 50% بسبب التبخُّر، ويحدث إستقرار بيولوجي لبعض المواد الصلبة القابلة للتحلّل.

الأنواع الثلاثة الأكثر شيوعاً لأنظمة الأسمدة هي:

1. Windrows (صفوف من أكوام الحمأة مع تهوية آلية).
2. أكوام ثابتة، (تهوية ميكانيكية هوائية).
3. الأنظمة الميكانيكية المغلقة.

تُستخدم الأنظمة الميكانيكية المغلقة عادةً من أجل حمأة مياه الصرف البلدية، وهي باهظة التكاليف نسبياً ومعقدة، ولا تُستخدم عادةً في الحمأة الصناعية.

في windrows (أنظمة الأكوام) تعمل معدات خاصة على تحويل أكوام المواد الصلبة إلى سماد، حيث ينخفض وزنها، ويتم تثبيت المواد العضوية القابلة للتحلّل الموجودة فيها. إن أحد المخاوف الرئيسية عند تحويل الحمأة إلى سماد هو الحاجة لتحقيق توازن المغذّيات المناسب في الحمأة المطلوب معالجتها، فعادةً تتراوح النسبة المثالية للكربون إلى النيتروجين (C:N) بين 20:1 و30:1. وعموماً يمكن أن يقدم عامل النفش المستعمل للحمأة البلدية النسبة المطلوبة، ولكن الحمأة الصناعية قد تحتاج إلى نيتروجين إضافي خارجي.

يمكن للمركبات العضوية السامّة أن تمنع عملية التسميد، لذلك يجب على فريق المشروع إجراء إختبارات على الحمأة المراد تحويلها إلى كومبوست قبل تنفيذ عملية التسميد، وبيان المدخلات والمخرجات للحمأة.

نُوقشت ونُفّذت عدة مشاريع للحمأة الصناعية للحصول على سماد من (اللب والورق) بواسطة اكوام هوائية ثابتة. وكذلك قُدمت دراسات ناجحة

للتسميد في صناعة الأغذية (نظام ميكانيكي مغلق) نفايات الدواجن، ونفايات المأكولات البحرية، [28].

لمزيد من المعلومات حول تصميم أنظمة التسميد، راجع الفقرة (2-2-4)، والمراجع [2]، [28]، [30].

4

التخلُّص من الحمأة

تطبيق الحمأة على الأراضي، الطمر

1-4. مقدمة.

يرتبط تركيز الملوثات العضوية في الحمأة (المواد الصلبة الحيوية) بتركيزها في مياه الصرف، وتتأثر كذلك بخصائص الحمأة مثل (الأس الهيدروجيني، المادة العضوية، تركيز الكاتيونات)، والخواص الفيزيائية والكيميائية لهذه المركبات مثل (الوزن الجزيئي، hydrophobicity، الإنحلال في الماء، مقاومة التحلّل البيولوجي)، وكذلك تتأثّر بالمؤشرات التشغيلية لمحطة معالجة مياه الصرف مثل (وجود ترسيب أولي، زمن المكوث الهيدروليكي في المفاعلات البيولوجية، طرائق تثبيت الحمأة [31]).

إن زيادة المواد العضوية في التربة يمكن أن تؤدي إلى:

1. تحسين الخصائص الفيزيائية (إحتباس الماء، نسيج التربة، تسرّب المياه، الكثافة الظاهرية، المسامية).
2. وتحسين خصائص التربة الكيميائية (قدرة تبادل الكاتيونات).
3. وتحسين الخصائص البيولوجية الضرورية لخصوبة التربة على المدى الطويل، وتُوفّر المغذيات بسبب المركبات الأليفاتية ذات الوزن الجزيئي المنخفض والتي تتفاعل بقوة مع التربة.
4. كما تتأثر المعدنية minerals بشكل إيجابي (Hue & Ranjith 1994).
5. يؤدي توافر المواد العضوية والمواد المغذية إلى زيادة في نشاط الأنزيمات والنشاط الميكروبي للتربة وزيادة في نمو الكتلة الحيوية الميكروبية للتربة [31].

لتسهيل التعامل مع الحمأة غالباً ما يتم خلط الحمأة الأولية مع حمأة المعالجة الثنائية والثالثية. وتساعد الحمأة المعالجة بالكلس على تقليل حموضة التربة الزراعية [32]. إن حمأة مياه الصرف عبارة عن خليط من مواد متعددة، إضافة إلى العناصر المغذية مثل الفوسفور والنيتروجين والبوتاسيوم، والمواد العضوية المكونة للدبال (الدبال Humus مادة عضوية متحللة داكنة أو سوداء اللون موجودة في التربة, تحدث بتأثير الكائنات الحية الدقيقة).

يمكن 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 للعديد من المحاصيل عند إستعمالها كسماد.

إن استخدام حمأة مياه الصرف مقارنة بالأسمدة المعدنية (أي المنتجة كيميائياً) يمكن أن تسمح بتحقيق وفورات للمزارعين. وفي حالة دراسية نظرية، يمكن للحمأة أن تحل محل الأسمدة المعدنية بالكامل، ويمكن أن تصل القيمة إلى حوالي 96 يورو/tDS للنيتروجين و44 يورو/tDS للفوسفور [31]، (tDS Ton of Dry Sludge).

يمكن أن تحتوي الحمأة كذلك على عدد من المكونات المثيرة للقلق مثل المعادن الثقيلة والملوثات العضوية. هنالك محاذير كثيرة من وجود مواد خطرة في الحمأة مثل بقايا الأدوية، والمواد النشطة هرمونياً، والمواد النانوية، والجسيمات البلاستيكية الدقيقة، ومسببات الأمراض المختلفة، وقد يؤدي استخدام الحمأة في الزراعة أيضاً إلى توليد إنبعاثات في الهواء والماء. إن أكثر من ثلاثة أرباع غاز الميثان المنطلق من محطة المعالجة صادر عن منشآت معالجة الحمأة مثل التسميد، الهضم اللاهوائي [31]، لذلك بدأت بعض الدول بوضع خطط مستقبلية للتوقف عن تطبيق الحمأة على الأراضي الزراعية، مثل المانيا واليابان، والتحول إلى الحرق، وعلى العكس، أبدت كثير من الدول إهتماما متزايداً بالحمأة، وبدأت بتطوير برامج خاصة للإستفادة من الحمأة مثل استراليا، الولايات المتحدة، ايطاليا [32]. أنظر الجدول (4-3-1).

4-2. تعريف تطبيق الحمأة على الأراضي Land Application of sludge

يشير تطبيق الحمأة (المواد الصلبة الحيوية) على الأراضي إلى عملية نشر أو توزيع الحمأة المتولّدة عن عمليات معالجة مياه الصرف، على سطح التربة أو تحت التربة لأغراض مختلفة، حيث يمكن تطبيق الحمأة المعالجة في المواقع التالية:

1. الأراضي الزراعية.
2. أراضي الغابات.
3. المُسخرة لعمل معين، الأراضي التي تعرضت إلى نشاط بشري أدى إلى

تغيير في سطح الأرض، مثل بناء الطرق، الجسور، المقالع، مواقع أعمال هندسية، استصلاح الأراضي الزراعية، الخ.

4. مواقع مخصّصة للتخلّص من الحمأة، بعد عمل بطانة لأرضية الموقع، (المطامر).

في الحالات الأربع جميعها يتم تصميم التطبيق وفقاً لنوعية الحمأة المعالجة المتوفرة.

تتضافر أشعة الشمس والكائنات الحية الدقيقة في التربة والطقس لتعطيل أي مسببات متبقية للأمراض، والعديد من المواد العضوية السامة. كما يتم إحتجاز المعادن النادرة في مصفوفة التربة، وتمتص النباتات العناصر الغذائية وتحوّلها إلى كتلة حيوية مفيدة.

عند التطبيق على الأراضي الزراعية وغير الزراعية، يجب أن تستوفي الحمأة (المواد الصلبة الحيوية) أو المواد المشتقّة من الحمأة لأغراض أخرى، على الأقل تراكيز سقف الملوّثات المعتمدة في الدولة المعنية. كما يجب أن تستوفي أعلى معايير الجودة للحمأة التي تكون غير معبأة والمطبقة على المروج والحدائق المنزلية، وأيضا الحمأة المعبّأة التي يتم بيعها أو تقديمها في أكياس أو حاويات EPA.

3-4. تزايد الطلب على الحمأة المعالجة لإعادة إستعمالها في التربة.

إن إعادة تدوير الحمأة (المواد الصلبة الحيوية) في التربة والزراعة آخذة في الإرتفاع في معظم البلدان حول العالم، مثل البرازيل، نيوزيلندا أمريكا الشمالية، روسيا، ودول عديدة في الإتحاد الأوربي. وقد ثَبُت أن الطريقة مفيدة جداً وخصوصاً للغابات، وتأهيل الأراضي التي تعرّضت لنشاط بشري شديد [12] [USEPA]. توفّر برامج البحث والبيانات العملية معرفة وخبرة محلية متزايدة في إعادة تدوير الحمأة المعالجة إلى التربة [33]، ويدعم هذا النشاط البحثي تطوير اللوائح والممارسات المقبولة لإعادة تدوير الحمأة في مناطق ومناخات متنوعة، وبالتالي، فإن إعادة تدوير الحمأة في التربة هي عملية مطلوبة بقوة (وقد تجاوز استخدامها في بعض الدول 80%). الجدول (4-

1-3) يبيّن كمية إعادة تدوير الحمأة المعالجة للتربة في البلدان المتوسطة والمرتفعة الدخل.

الجدول (4-3-1) كمية إعادة تدوير الحمأة المعالجة للتربة في البلدان المتوسطة والمرتفعة الدخل [33]

~ 5% and growing (current %)	> 30% and growing (current %)	> 60% and growing (current %)	Holding steady (current %)	Diminishing (current %)	Already very little use on soils
Brazil (15%)	Canada (33%)	Australia (81%)	Italy (69%)	Austria (65%)	Japan (14%)
Bulgaria (~5%)	China (50%)	Czech Republic (67%)	USA (55%)	Germany	Nether-lands
Jordan (~0%)	European Union (~40%)	New Zea-land (66%)	Norway (~95%)		Swit-zerland (0%)
Mexico (~0%)	Hungary (39%)	Slovakia (69%)			
Turkey	Portugal				

بدأت البلدان ذات الدخل المرتفع بالتخلّي عن التسميد وإيجاد بدائل للتخلص من الحمأة، كما تضاءل الاستخدام المباشر للحمأة غير المسمّدة إلى الحد الأدنى (مثال نوعية الحمأة فئةB وفقاً لمعايير USEPA حيث بدأ إستعمالها يتضاءل). وأصبحت تتزايد عمليات الإسماد وغيرها من المعالجات لإنتاج حمأة يمكن استخدامها في التطبيقات الزراعية والغير زراعية. ويعد هذا التغيير جزءاً من التقدّم المطّرد والمستمر المطلوب من أجل حماية البيئة والصحة العامة.

أما تعليمات الإتحاد الأوربي بشأن استخدام حمأة مياه الصرف في الزراعة، فتنبه دائماً إلى خطر محتمل لإنتشار مسببات الأمراض والبكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية للإنسان والحيوان والنبات. الجدول (4-3-2) يبيّن

حجم حمأة مياه الصرف في أوروبا ومسارات استخدامها عام 2010-2015، ويبيّن توجُّه بعض الدول للإستغناء عن التطبيق الزراعي للحمأة، وأخرى تقوم بالتوسُّع في استخدام الحمأة للزراعة مثل أستراليا وجمهورية التشيك ونيوزيلندا وسلوفاكيا.. إلخ. تقوم العديد من البلدان المتوسطة الدخل بتطوير برامج لإعادة تدوير الحمأة. ومن المتوقع أن يحل هذا الخيار محل مدافن النفايات أو التخلص غير المنضبط للحمأة، لذلك يحدّد قانون حمأة مياه الصرف قيود صارمة على تطبيقها، فعلى سبيل المثال:

الجدول (4-3-2) حجم حمأة مياه الصرف في أوروبا ومسارات استخدامها بين أعوام2010- 2015 [34]

State/ الدولة	Amount kt الكمية	Land-fill % المطامر	Agricul-ture % الزراعة	Compost-ing % الاسمدة	Thermal treatment % المعالجة الحرارية	Others % أخرى
Albania	92	0	77.32	0	0	22.68
Belgium	107	0	17.24	0	82.76	0
Bosnia Herz-vina	1	100	0	0	0	0
Bulgaria	47	18.05	64.54	7.22	0	10.19
Denmark	115	1.22	64.46	0	29.44	4.88
Germany	1.803	0	23.72	12.41	63.71	0.17
Estonia	19	9.78	1.63	88.59	0	0
Finland	141	6.86	5.02	65.68	22.43	0
France	937	3.32	44.96	32.56	18.21	0.95
Greece	119	33.61	19.63	7.75	33.17	5.84
Ireland	58	0.17	79.97	18.66	0	1.2
Italy	954	48.46	33.09	0	3.85	14.6

Croatia	17	94.35	5.65	0	0	0.01
Latvia	21	0.97	36.23	11.11	0	51.69
Lithuania	37	0	30.11	41.78	0	28.11
Luxembourg	9	0	34.36	24.12	8.28	33.25
Malta	8	100	0	0	0	0
Netherlands	320	0	0	0	100	0
Norway	142	15.15	61.73	16.07	0	7.05
Austria	239	1.34	16.58	32.52	49.56	0
Poland	568	7.13	18.93	8.29	13.96	51.69
Portugal	113	10.08	89.83	0	0.09	0
Romania	156	66.69	6.81	0	0.32	26.18
Sweden	184	1.96	27.72	32.12	1.2	37.01
Switzerland	195	0	0	0	96.81	3.19
Serbia	11	100	0	0	0	0
Slovakia	56	8.25	0	44.22	30.07	17.46
Slovenia	29	0.69	0	2.08	52.25	44.98
Spain	1.205	14.9	74.56	0	3.9	6.64
kt = Kilotonne (10^9 g)						

- لا يُسمح عموماً باستخدام حمأة مياه الصرف في مناطق زراعة الخضروات والفواكه، وفي الأراضي العشبية، وكذلك في المياه (الأراضي الرطبة/ المستنقعات) والمحميات الطبيعية.
- يجب مراعاة فترات الدورات الزراعية / الموسمية في الأراضي الصالحة للزراعة والتي تستخدم لزراعة الخضروات.
- يجب إتباع لوائح التطبيق القائمة على كمية الطلب على الفوسفور والنيتروجين اللازمين للزراعة، وبذلك يمكن ضبط كمية التسميد بالحمأة المسموح بها.

4-4. محتويات حمأة مياه الصرف من المعادن والمغذيات.

تحتوي الحمأة (المواد الصلبة الحيوية) على النتروجين والفوسفور إضافة إلى تركيز عالي من الكالسيوم والمغنيسيوم، ولكن محتوى البوتاسيوم منخفض [Singh & Agrawal 2008]. الجدول (4-4-1) يبيّن محتوى المغذّيات في الأسمدة الكيميائية المعدّة للزراعة مقارنة مع محتوى الحمأة المعدّة لتسميد التربة. الجدول (4-4-2) يبيّن القيم الحدّية الحالية لاستخدام حمأة مياه الصرف على التربة في ألمانيا، قانون السماد (DüMV) وقانون حمأة الصرف (AbfKlärV) [13]. ويبين الجدول (4-4-3) مكونات حمأة مياه الصرف الصحي في ألمانيا والنمسا [13]. والجدول (4-4-4) يبيّن تركيز المعادن والمغذيات للحمأة المستخدمة في الزراعة في ألمانيا وذلك خلال 6 سنوات.

الجدول (4-4-1) مقارنة مستوى المغذّيات في الأسمدة التجارية وفي حمأة مياه الصرف المثبتة [12]

المنتجات/ Products	Nutrienta، % المغذيات		
	Nitro-gen	Phospho-rus	Potassi-um
Fertilizers for typical agricultural use سماد عادي	5	10	10
wastewater typical values for stabilized biosolids (based on TS) حمأة	3.3	2.3	0.3

الجدول (4-4-2) القيم الحدّية الحالية لاستخدام حمأة مياه الصرف في التربة في المانيا [13]

Parameter المؤشرات	Limit value الحدود	Soil Limit حدود التربة	Unit الواحدة
Pb	150	100	mg/kg DM
Cd	1.5	1.5	
Cr	300		
Cr (VI)	2	100	
CU	200	60	
Ni	80	50	
Hg	1	1	
Zn	200	200	
As	40		
Tl	1		
Fe	only measure		
PCB (each congener 28, 52, 101, 138, 153, 180)	0.1		
AOX	400		
B(a)P	1		
PFT	0.1		
PCDD/F incl. dlPCB (WHO-TEQ 2005)	30		mg/kg Unit DM

- يجوز خلال فترة 3 سنوات أن يتم تطبيق ما لا يزيد عن 5 أطنان من المادة الجافة لحمأة مياه الصرف على التربة المحددة لكل هكتار.
- قانون السماد (DüMV) قانون حمأة مياه الصرف (AbfKlärV)

الجدول (4-4-3) مكونات حمأة مياه الصرف في ألمانيا والنمسا [13]

Parameters المؤشرات /	Unit value	value range
pH value	-	7.7
Dry matter (DM)	mass- % (fresh)	30.5
Loss on ignition (LOI)		45-80
Water		65-75
Ash		30-50
Volatile matter		30
	mass- % (DM)	40-65
Net calorific value (NCV)	MJ/kg (fresh)	1-2
	MJ/kg DM	10-12
Carbon (C)	mass- % (DM)	33-50
Oxygen (O_2)		10-20
Hydrogen (H_2)		3-4
Nitrogen (N_2)		2-6
Sulphur (S) org.		0.5-1.5
Fluorine (F_2)	mass- % (fresh)	0.01
Chlorine (Cl_2)		0.05-0.5
Phosphorous (P)	g/kg (fresh)	2-55
Antimony (Sb)	mg/kg (fresh)	5-30
Arsenic (As)		4-30
Tin (Sn)		30-80
Selenium (Se)		1-5
Thallium (Th)		0.2-0.5
Vanadium (V)		10-100
AOX	mg/kg DM	200-400
PCDD/F	ng/kg TE DM	5-100

PCB 6	mg/kg DM	0.01-0.02
PAK		1-50
Molybdenum (Mo)	g/kg DM	3.9
Cobalt (Co)		6.53
Calcium (Ca)		71
Potassium (K)		2.65
Magnesium (Mg)		9.17
(PCDD/Fs) Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans - it is a by-products of combustion such as waste incineration.		

الجدول (4-4-4) تركيز سبعة معادن ثقيلة بالإضافة إلى النيتروجين والفوسفور في حمأة مياه الصرف المستخدمة زراعياً في ألمانيا بين عامي 2010 و 2015 [13] [German Environment Agency]

Mg/ kg DS	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	N total	P total
2010	37.5	0.96	33.2	304.7	25.2	0.53	774	45,943	23,758
2011	34.9	0.98	34	292.3	25.6	0.49	768.3	44,538	23,627
2012	33.4	1	32.6	305.3	25.1	0.5	763.5	46,046	26,727
2013	33.3	0.94	32.9	308.6	25.5	0.48	769.8	44,405	25,200
2014	32	0.87	33.8	307.3	26	0.47	799.7	45,247	25,546
2015	30.6	0.74	32.6	293.6	24.7	0.39	772.8	43,796	24,576

4-5. تصنيف الحمأة المعروفة عالمياً.

إن أشهر المعايير والتصنيفات المعروفة عالمياً للحمأة بغرض الاستخدام الزراعي هي:

1. USEPA وكالة حماية البيئية الامريكية.
2. EU توجيهات الإتحاد الأوربي.
3. المعايير الاسترالية. وغيرها من المعايير الهامة في العالم.

وفيما يلي نقدم بعض المعلومات الحديثة نسبياً عن التصانيف والشروط

والحدود التي صدرت حول تطبيق الحمأة على الأراضي من EPAوتوجيهات الإتحاد الأوروبي.

4-5-1. USEPA وكالة حماية البيئية الامريكية.

يعتمد تطبيق الحمأة على الأراضي على نوعية المعالجة، ومحتويات الحمأة، ومحتويات موقع التطبيق.

تصنّف الحمأة وفق EPA إلى نوعين أساسيين A و B، كما يعتمد بشكل أساسي على المعادن الثقيلة في الحمأة المطبقة.

متطلبات الحد من مسببات الأمراض: تختلف متطلبات الحد من مسببات الأمراض Pathogens تبعاً لتصنيف الحمأة، وتُقسّم الحمأة (المواد الصلبة الحيوية) إلى فئتين، الفئة A والفئة B. تم تلخيص المعلومات الأساسية حول تصنيف الحمأة من أجل التطبيق على الأراضي في الجدول (4-5-1-1). وهذا التصنيف يُعمل به في كثير من الدول حول العالم. وتعتمد هذه التصنيفات على مبدأ تقليل مسببات الأمراض البكتيرية والفيروسية والطفيلية والتي تعتمد على درجة المعالجة المتلقّاة، ومؤشرات التشغيل (درجة الحرارة، ودرجة الحموضة، والفترة الزمنية، ومحتوى المواد الصلبة) التي طبقت في عمليات معالجة الحمأة.

أما بالنسبة للمعادن الثقيلة heavy metals: فنجد أنه قد تختلف قيم التراكيز بشكل كبير في مياه الصرف، كما هو مبيّن في الجدول (4-5-1-2) [EPA]. وبسبب التنفيذ الناجح لبرامج المعالجة المسبقة لمياه الصرف، نجد أنه يمكن أن تتحسّن جودة الحمأة والمواد الصلبة الحيوية وتصبح أكثر ملاءمة للتطبيق على الأراضي. علماً أن تركيز المعادن الثقيلة قد يؤدي إلى الحد من معدّل الاستخدام، والعمر الإنتاجي لمواقع التطبيق.

<u>ونورد فيما يأتي تعريفاً بالمعادن الثقيلة:</u>

هي عناصر أساسية في الطبيعة (مثل الكادميوم والنحاس والزئبق والرصاص والزنك) (e.g. Cd, Cu, Hg, Pb, Zn) وفي حال التعرُّض لتركيز كبير، تصبح سامة للإنسان والنبات والحيوانات. والمعادن الثقيلة مصطلح

شائع الاستخدام، على الرغم من أن بعض العناصر المدرجة ليست معادن على الإطلاق (على سبيل المثال, As, Se). وتسمى المعادن ثقيلة لأن كثافتها في شكلها المعدني أكبر من 5 غ / سم^3. [أنظر التعاريف في المقدمة].

وتحتوي جميع أنواع التربة الطبيعية والسماد الحيواني ومياه الصرف الصحي والفضلات وحمأة مياه الصرف الصحي والمواد الصلبة الحيوية على كميات ضئيلة من هذه العناصر والعديد من العناصر الأخرى.

الجدول(4-5-1-1) معلومات عامة عن تصنيف الحمأة المعالجة من أجل التطبيق على الأراضي USEPA [12]

المؤشرات	معلومات عن التصنيف	
	Class A	Class B
التسمية	**حمأة مياه الصرف المنزوعة الماء والمناسبة للتطبيق على الأراضي دون أية قيود**	**حمأة مياه الصرف المعالجة والمناسبة فقط للاستخدام المحدد كسماد مع قيود الموقع**
التطبيق	الغرض منه هو عدم وجود مسببات أمراض يمكن اكتشافها بعد المعالجة بحيث يمكن تطبيق المواد الصلبة الحيوية على الأراضي الزراعية والمساحات الخضراء /الحدائق في دور الحضانة, والمتنزهات وملاعب الغولف والحدائق والمروج المنزلية، وبيعها أو تقديمها في أكياس أو حاويات أخرى لتطبيقها على الأرض دون قيود .	الغرض منه هو تقليل مسببات الأمراض إلى مستوى لا يشكل تهديداً للصحة العامة والبيئة بحيث يمكن تطبيق الحمأة على الأراضي الزراعية أو الغابات أو مواقع الاستصلاح.
البدائل المناسبة	البديل. 1: معالجة حراريا. البديل. 2: يتم معالجتها بدرجة حموضة عالية/ درجة حرارة عالية. البديل. 3: المعالجة في عمليات معروفة. البديل. 4: المعالجة بطرق أخرى غير معروفة. البديل. 5: يعالج في واحدة من سبع PFRPs. البديل. 6: تتم معالجتها بعملية تعادل PFRP .	**البديل 1:** رصد الكائنات المؤشرة (الدالة). (مجموعة من الكائنات الحية التي تعكس الحالة الميكروبيولوجية العامة للغذاء أو البيئة). **البديل 2:** المعالجة في واحدة من خمس (PSRPs) . البديل 3: تتم معالجتها في عملية مكافئة لـ PSRP .
معاييرالحد من مسببات الأمراض		

بكتيريا	القولونيات البرازية. Fecal coliform < 1000 MPN/g total dry solids, or	القولونيات البرازية < 2×10^6 MPN أو CFU/g المواد الصلبة الكلية
	السالمونيلا. Salmonella sp. < 3 MPN/4 g drysolid	
الفيروسيات وطفيليات b,c	الفيروس المعوي. Enteric virus < 1 PFU/4 g total solids	
	بيوض الديدان الطفيلية القابلة للحياة. Viable Helminth ova < 1 ova/4 g total solids	
الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة	الرقم الهيدروجيني > 12 لمدة 72 ساعة على الأقل، درجة الحرارة: > 50 درجة مئوية لمدة 12 ساعة على الأقل، ثم يتم تجفيف الحمأة بالهواء حتى يصل إجمالي المواد الصلبة إلى ≤ 50%	
Note: PFRP = Processes to further reduce pathogens; PSRP = Processes to significantly reduce pathogens		
CFU = colony forming unit; MPN = most probable number; MPCN = most probable cytopathic number		

الجدول(4-5-1-2) المحتوى المعدني النموذجي للمواد الصلبة في مياه الصرف[a] (mg/kg dry sludge) [24]

Metal المعدن	Range المجال	Mean الوسطي	Median
Ag, silver	ND[b] - 960	225	90
As, arsenic	10-50	9	8
B, boron	200-1430	430	350
Ba, barium	ND-3000	1460	1300
Be, beryllium	ND	ND	ND
Cd, cadmium	ND - 1100	87	20
Co, cobalt	ND-800	350	100
Cr, chromium	22-30,000	1800	600
Cu, copper	45-16,030	1250	700
Hg, mercury	0.1-89	7	4

Mn, manganese	100-8800	1190	400
Ni, nickel	ND-2800	410	100
Pb, lead	80-26,000	1940	600
Sr, strontium	ND-2230	440	150
Se, selenium	10-180	26	20
V, vanadium	ND-2100	510	400
Zn, zinc	51-28,360	3483	1800
a Source: U.S. Environmental Protection Agency . b. ND = not detected.			

وضع الستاندر(البروتوكول) 503.13 (USEPA) سقفاً لكمية المعادن الثقيلة التي في حمأة مياه الصرف، وقد نص على ما يلي:

- لا يجوز التطبيق على الأراضي لحمأة مياه الصرف غير المعبأة-Bulk sew age sludge، أو المباعة في أكياس أو المعلبة أو الممنوحة، إذا تجاوز تركيز أي ملوث الحد الأقصى المذكور في الجدول (4-5-1-3).

الجدول (4-5-1-3) سقف تركيز المعادن الثقيلة في حمأة مياه الصرف (ملغ/كغ وزن الجاف)EPA

Pollutant EPA 503.13 الملوث	Ceiling Concentration (mg/kg) Dry weight basis سقف التركيز
Arsenic	75
Cadmium	85
Chromium	—
Copper	4,300
Lead	840
Mercury	57
Molybdenum	75
Nickel	420
Selenium	100
Zinc	7,500

الجدول (4-5-1-4) الحد الأقصى المسموح به لتركيز الملوثات في التربة، في

الأراضي الزراعية بعد إضافة الحمأة [35] [EPA2000].

الجدول (4-5-1-5) الحد الأقصى المسموح به لتركيز الملوثات في التربة، في الأراضي غير الزراعية [35] [EPA2000].

الجدول (4-5-1-4) الحد الأقصى المسموح به لتراكيز ملوثات التربة في الأراضي الزراعية بعد تطبيق الحمأة [35], [EPA]

Contaminant / الملوث	Maximum Allowable Soil Contaminant Concentration1 الحد الأقصى المسموح به لتراكيز الملوثات في التربة الزراعية بعد إضافة الحمأة
	(mg/kg dry weight of soil)
Arsenic (As)	20
Cadmium (Cd)	1
Chromium (Cr، total)	100
Copper (Cu)	100
Lead (Pb)	150
Mercury (Hg)	1
Nickel (Ni)	60
Selenium (Se)	5
Zinc (Zn)	200
DDT/DDD/DDE	0.50
Aldrin	0.02
Dieldrin	0.02
Chlordane	0.02
Heptachlor and heptachlor epoxide	0.02
Hexachlorobenzene	0.02
Lindane	0.02
Benzene hexachloride	0.02
PCBs	0.30
1.Maximum Allowable Soil Contaminant Concentrations are mean (m) concentration values.	

ملاحظات:

1. الحد الأقصى المسموح به لتركيز الملوثات في التربة هو متوسط قيم التركيز (m).
2. لم يتم ذكر بعض الملوّثات polychlorinated dibenzo dioxins and polychlorinated dibenzo furans
3. إذا تجاوزت التحاليل بعض الحدود فيمكن تحسينها بإضافة مواد مقبولة أخرى ومزجها لتصبح ضمن الحدود [35].

2-5-4. توجيهات الإتحاد الأوربي Directive 86/278/EEC وتحديثاته

حالياً يتم تنظيم استخدام الحمأة في الزراعة داخل الإتحاد الأوروبي فقط من خلال حدود المعادن الثقيلة (الكادميوم والنحاس والزئبق والنيكل والرصاص والزنك) المدرجة في توجيه المجلس رقم 86/278/EEC. يبلغ عمر هذه الوثيقة الآن أكثر من 30 عاماً. وتختلف نسب استخدام الحمأة في الزراعة وفق الشكل (4-5-2-1). وفي الشكل (4-5-2-2) النسبة المئوية لإجمالي الحمأة المستخدمة في الزراعة بين 2010 و 2018 في دول الإتحاد الأوروبي.

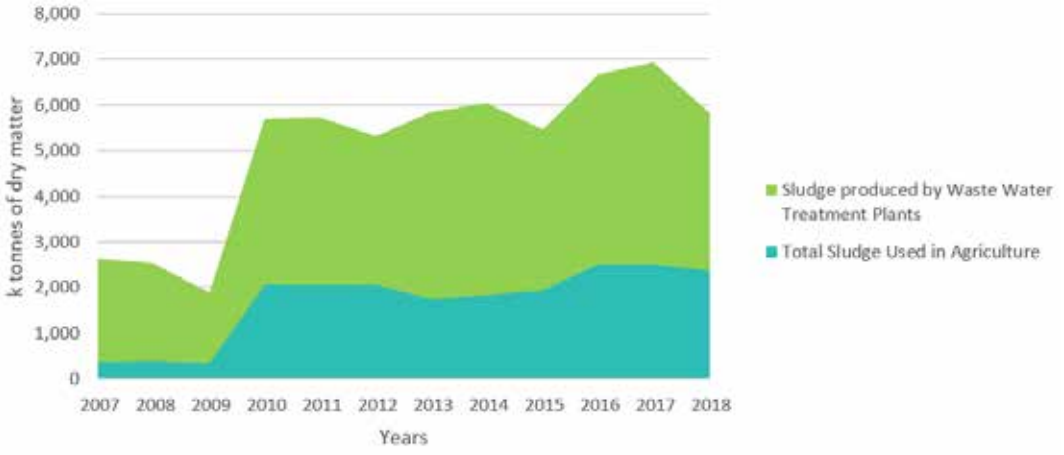
الجدول (4-5-1-5) الحد الأقصى المسموح به لتركيز الملوثات في التربة في الأراضي غير الزراعية

[35], [2000 EPA]

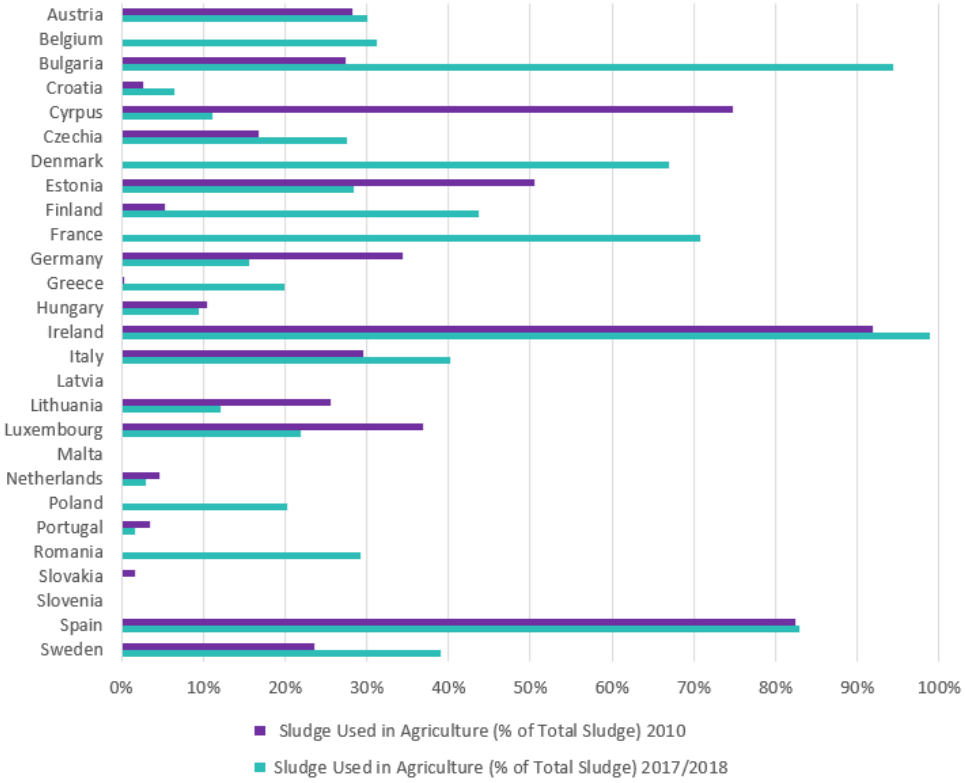
Contaminant الملوث	Maximum Allowable Soil Contaminant Concentration1 (mg/kg dry weight of soil) الحد الأقصى المسموح به لتركيز الملوثات في التربة المعدة لغير الزراعة
Arsenic (As)	20
Cadmium (Cd)	5
Chromium (Cr, total)	250
Copper (Cu)	375
Lead (Pb)	150
Mercury (Hg)	4

Nickel (Ni)	125
Selenium (Se)	8
Zinc (Zn)	700
DDT/DDD/DDE	0.5
Aldrin	0.2
Dieldrin	0.2
Chlordane	0.2
Heptachlor and heptachlor epoxide	0.2
Hexachlorobenzene	0.2
Lindane	0.2
BHC	0.2
PCBs	0.3

1. Maximum Allowable Soil Contaminant Concentrations are mean (m) concentration values.



الشكل (4-5-2-1) إجمالي الحمأة المنتجة والمستخدمة في الزراعة في الإتحاد الأوروبي بين عامي 2007 و 2018, [32]



الشكل (4-5-2-2) النسبة المئوية الإجمالية للحمأة المستخدمة في الزراعة بين 2010 و 2018 في دول الإتحاد الأوروبي [32]

أدخلت العديد من الدول الأوروبية متطلبات أكثر صرامة مقارنة بالتوجيهات، فقامت جميع الدول الأعضاء في الإتحاد الأوروبي بتحويل حدود توجيه المجلس الأوروبي إلى تشريعاتها الخاصة، واعتمدت حدوداً لتراكيز المعادن الثقيلة والمركبات العضوية الاصطناعية والتلوث الميكروبي، وكذلك حدّد التوجيه قواعد أخذ العينات وتحليل الحمأة والتربة، كما أنه وضع حدوداً لتركيز المعادن الثقيلة في التربة المعالجة بالحمأة. وقد وصل معدّل استعمال الحمأة في الزراعة في الإتحاد الأوربي إلى حوالي 50% وسطياً.

- تؤكد التوجيهات والتشريعات البيئية المواكبة في الإتحاد الأوربي، على تشجيع الاستخدام الآمن للحمأة في الزراعة، واعتبرت أن عمليات إستعادة

الفوسفور من الحمأة هدف أساسي. كما تم الأخذ في الإعتبار المخاطر الصحية بسبب القلق الناشئ عن ملوثات (الأدوية ,PFAS, PAH، ومستحضرات التجميل والجسيمات البلاستيكية الدقيقة، الخ).

تم تطوير إدارة النفايات بشكل عام والحمأة بشكل خاص على نهجين:

1. **نهج التربة:** حيث يجب حماية التربة بشكل عام من خلال دراسة حاجتها من المغذّيات العضوية، ولكن أيضاً من خلال تقييد مدخلات الملوّثات العضوية الخطرة.
2. **نهج إعادة تدوير النفايات العضوية** organic waste recycling

في الوقت الحاضر، يتم فقدان ما يقرب من نصف الفسفور الموجود في الحمأة بشكل نهائي من خلال الحرق المشترك وطمر النفايات، ولكن عند إعادة توجيه هذه التدفّقات بالكامل إلى الاستخدامات الزراعية، فيمكن إستبدال كميات من المغذّيات تعادل 10% من صخور الفوسفات المستخدمة في الأسمدة المعدنية بمواد مشتقة من حمأة مياه الصرف [32].

الجدول (4-5-2-1) الملحق الأول (I A) (من التوجيه) يبيّن القيم الحدّية لتركيز المعادن الثقيلة في التربة مغ/كغ من المادة الجافة في عينة تمثيلية.

الجدول (4-5-2-2) الملحق الأول (I B) (من التوجيه) يبيّن القيم الحدّية لتراكيز المعادن الثقيلة في الحمأة المستخدمة في الزراعة (مغ/كغ من المادة الجافة) [32].

الجدول (4-5-2-3) الملحق (IC) (من التوجيه) يبيّن القيم الحدية لكمية المعادن الثقيلة التي يمكن إضافتها سنوياً إلى الأراضي الزراعية، على أساس متوسط 10 سنوات (كغ/هكتار/عام).

الجدول (4-5-2-4) يبيّن حدود المعادن الثقيلة في الحمأة المستخدمة للزراعة في التوجية والتطبيق الفعلي للأعضاء في الإتحاد الأوربي [31].

الجدول (4-5-2-1) الملحق الأول (IA) القيم الحدية لتركيز المعادن الثقيلة في التربة { مغ/كغ من المادة الجافة في عينة تمثيلية، كما هو محدد في الملحق (I C) للتربة ذات الرقم الهيدروجيني من 6 إلى7 } [32]

Parameters / المؤشرات	Limit values / قيم الحدود
Cadmium	1 to 3
(Copper1)	50 to 140
Nickel (1)	30 to 75
Lead	50 to 300
Zinc (1)	150 to 300
Mercury	1 to 1،5
Chromium (2)	—
1- يجوز للدول الأعضاء أن تسمح بتجاوز القيم الحدية اذا كان الرقم الهيدروجيني باستمرار أعلى من 7. على الا تتجاوز 50% من القيمة.	
2- ليس من الممكن في هذه المرحلة تحديد القيم الحدية للكروم. سيقوم المجلس بإصلاح هذه القيم الحدية لاحقاً على أساس المقترحات التي ستقدمها المفوضية، في غضون عام واحد بعد الإخطار بهذا التوجيه.	

الجدول (4-5-2-2) الملحق الأول (I B) من التوجيه. القيم الحديّة لتركيز المعادن الثقيلة في الحمأة المستخدمة في الزراعة (mg/kg of dry matter) [32]

Parameters / المؤشرات	Limit values / قيم الحدود
Cadmium	20 to 40
Copper	1000 to 1750
Nickel	300 to 400
Lead	750 to 1200
Zinc	2500 to 4000
Mercury	16 to 25
Chromium (1)	-
1- سيقوم المجلس بإصلاح هذه القيمة الحدية لاحقاً	

الجدول (4-5-2-3) الملحق (I C) القيم الحدّية لكميات المعادن الثقيلة التي يمكن إضافتها سنوياً إلى الأراضي الزراعية، على أساس متوسط 10 سنوات (كغ/هكتار/عام)

Parameters/ المؤشرات	Limit values/ قيم الحدود
Cadmium	0,15
Copper	12
Nickel	3
Lead	15
Zinc	30
Mercury	0,1
Chromium	not fixed

الجدول (4-5-2-4) حدود الكادميوم والنحاس والزئبق والنيكل والرصاص والزنك لاستخدام الحمأة في الزراعة، في التوجية والتطبيق الفعلي من الأعضاء (ملغ / كغ DM من حمأة مياه الصرف) [31]

State	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Directive 86/278/EEC	20-40	1000-1750	16-25	300-400	750-1200	2500-4000
Austria (Burgenland)						
Quality class I[a]	2	300	2	60	100	1000
Quality class II[a]	10	500	10	100	500	2000
Austria (Carinthia)[b]						
Class I[b]	0.7	70	0.4	25	45	200
Class A[b]	1	150	0.7	60	150	500
Class AB[b]	2	300	2	60	150	1200
Class B[b]	2.5	300	2.5	80	150	1800
Austria (Lower Austria)						
Quality class I[c]						
Quality class II	2	300	2	60	100	1500
Austria (Salzburg)	application of sewage sludge and its mixtures is prohibited[d]					

(Austria (Tyrol	application of sewage sludge and products with their content on farmland is prohibited					
Austria (Upper Austria)	5	400	7	80	400	1600
Austria (Vienna)	application of sewage sludge is prohibited[e]					
Belgium	10	600	10	100	500	2000
Bulgaria	30	1600	16	350	800	3000
Croatia	5	600	5	80	500	2000
Cyprus	20-40	1000-1750	25-16	300-400	750-1200	2500-4000
Czech Republic	5	500	4	100	200	2500
Denmark	0.8	1000	0.8	30	120	4000
Estonia	20	1200	20	400	900	3500
Finland	1.5	600[f]	1	100	100	1500[f]
France	20	1000	10	200	800	3000
Germany[g]	10	800	8	200	900	2500
Greece	20-40	1000-1750	16-25	300-400	750-1200	2500-4000
Hungary	10	1000	10	200	750	2500
Ireland	20	1000	16	300	750	2500
Italy	20	1000	10	300	750	2500
Latvia	10	800	10	200	500	2500
Lithuania	6.0	600	6.0	300	500	2000
Luxembourg	2.5	700	1.6	80	200	3000
Malta	5	800	5	200	500	2000
Netherlands	1.25	75	0.75	30	100	300
Poland	20	1000	16	300	750	2500
Portugal	20	1000	16	300	750	2500
Romania	10	500	5	100	300	2000
Slovakia	10	1000	10	300	750	2500
Slovenia	1.5	300	1.5	75	250	1200

- a- The limits are set with regard to the application rate of the maximum allowable annual pollutant load: Class I from 4.17 t DM/ ha · year (at limited concentrations of Cu or Ni in sludge) to 12.5 t DM/ha · year (at limited concentrations of Cr, Pb, Cd and Hg in sludge), Class II 2.5 t of DM/ha · year
- b- Division into classes according to limits and application rates of the maximum allowable pollutant load per 2 years: Class I 10 t DM/2 years, Class A 8 t DM/2 years, Class AB 6 t DM/2 years, Class B 4.8 t DM/2 years; exceeding the limit values for one parameter at a maximum of 25% is permissible; if exceeding is induced by geogenic loads, in exceptional cases the controller may mark the application as admissible.
- c- Sludge of Class I must not exceed the regional average value in DM for these indicators: Zn, Cu, Cr, Pb، Cd, Hg and AOX in the upper soil layer (for arable soil to a depth of 25 cm، for pastures to a depth of 10 cm); at the same time they must not exceed the value of Class II for these indicators
- d- This restriction is not applicable to agricultural wastewater based mixtures, three-month matured sanitized sludge from septic tanks and sludge of the wastewater treatment plants of structures that are located in extreme positions if there is no sludge application restriction; compost with an admixture of sludge can be used only on soil that is not intended for food production.
- e- Only hygienically safe products containing treated sludge marketed as fertilizers, compost and soil can be applied.
- f- For plants it is required that the load of Cu and Zn will not be more than doubled if the lack of nutrients is in the soil, and fertilizers are applied to them; sewage sludge can be applied as a fertilizer, i.e. treated sewage sludge, sludge from septic tanks or sludge mixtures; however, it must not exceed the maximum concentration in the soil.
- g- In the case of soil that is classified as light soil with a clay content below 5% at 5 < pH < 6, the maximum allowable concentrations of Cd and Zn in sludge are Cd 5 mg/kg DM and Zn 2000 mg/kg DM.

مسببات الأمراض: تم إعتماد تشريعات وطنية خاصة من دول الإتحاد فيما يتعلّق بمؤشرات مسببات الأمراض، مثل (Clostridium perfringens و Enterococci وHelminth eggs وThermotolerant Coliform Bacteria) وذلك للحمأة التي سيتم تطبيقها على الأراضي. الجدول (4-5-2-5)

الجدول(4-5-2-5) حدود مسببات الأمراض من أجل استخدام الحمأة في الزراعة في بعض دول الإتحاد الأوربي [36]

State	Salmonella sp.	Other Pathogens 1
Bulgaria	no occurrence in 20 g	Escherichia coli < 100 MPN/g Helminths eggs and larvae, 1unit/kg dw Clostridium perfringens < 300 MPN/g
Czech Republic	no occurrence in 50 g	Escherichia coli or Enterococci < 1000 cfu/g (4 samples from 5) < 5 × 1000 cfu/g (1 sample from 5)
Denmark	no occurrence	Faecal streptococci <100/g
Finland	no occurrence in 25 g	Escherichia coli < 1000 cfu, < 100 cfu in greenhouse cultivation
France	8 MPN/10 g dw	Enterovirus < 3 MPCN/10 g dw Helminths eggs < 3/10 g dw
Italy	1000 MPN/g dw	-
Lithuania	-	Escherichia coli ≤ 1000 cfu/g, Clostridium perfringens ≤100,000 cfu/g Helminths eggs and larvae, 0 units/kg Enterobacteria, 0 cfu/g
Luxembourg	-	Enterococci < 100/g, Helminths eggs cannot be contagious
Poland	no occurrence in 100 g	-
Portugal	no occurrence in 50	Escherichia coli < 1000 cfu/g

1: CFU = colony forming unit; MPN = most probable number; MPCN = most probable cytopathic number

في الجدول (4-5-2-6) تم إدراج القيم الحدّية المقترحة لبعض المركبات العضوية الخطرة، وهي المركبات العضوية المهلجنة و(LAS) و phthalates

و Nonylphenol و PAHs و PCBs و PCDD/Fs في المسودة الثالثة لوثيقة العمل بشأن الحمأة (European Commission 2000a) والتشريعات الوطنية لبعض دول الإتحاد الأوروبي.

الجدول(4-5-2-6) حدود الملوثات العضوية (الخطرة) المختارة لاستخدام الحمأة في الزراعة (ملغ/كغ) مواد جافة DM من حمأة الصرف الصحي [31]

(Except PCDD/F, which is in ng toxic equivalency (TEQ)/kg DM)

State	AOX	DEHP	LAS	NP/ NPE	PAH	PCB	PCDD/F (ng TEQ/kg DM)	C_5 – C_{40}
EC (2000) [a] Proposed but withdrawn EU	500	100	2600	50	6f	0.8[j]	100	
Austria (Carinthia)[b]	500				6[f]	1	50	
Austria (Lower AUS)								
Quality class I[c]								
Quality class II	500							
Austria Steiermark)[d]	500				6[g]			
Austria (Voralberg)						0.2[k]	100	
Austria،Upper AUS	500							
Belgium						0.8 [j]		
Bulgaria					6،5	1		
Croatia						0.2[l]	100	
Czech Republic	500				10[h]	0.6 [j]		
Denmark		50	1300	10	3[f]			

France					fluoranthene 5, benzo(b) fluoranthene 2.5, benzo(a) pyrene 2	0.8 [j]		
Germany	500					0.2m	100	
Hungary					10[g]	1[j]		4000
Luxembourg					20[g]	0.2[k]	20	
Portugal			5000	450	6	0.8	100	
Romania	500				5[i]	0.8[j]		
Sweden[e]				50	3[f]	0.4[j]		

AOX - absorbable organic halogen; DEHP - di(2-ethylhexyl) phthalate; LASS-linear alkylbenzene sulphonates; NP/NPEs - nonylphenols and nonylphenol ethoxylates; PAHs - polycyclic aromatic hydrocarbons; PCBs - polychlorinated biphenyls; PCDD/Fs - polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzo-p-furans

- [a]Proposed but withdrawn (European Commission 2000a).
- [b]Applies to all classes.
- [c]Sludge of class I must not exceed the regional average value in DM for these indicators - Zn, Cu, Cr, Pb, Cd, Hg and AOX in the upper soil layer (for arable soil to a depth of 25 cm, for pastures to a depth of 10 cm); at the same time it must not exceed the value of class II for these indicators
- [d]These limits apply to sewage sludge that comes from WWTPs for more than 30 000 PE
- [e]The limits set in the context of a voluntary agreement on quality assurance between the Swedish Environmental Protection Agen¬cy - Naturårdsvertket and the Federation of Swedish Farmers (LRF) and the Swedish Water and Waste Water Association (VAV)

- [f]Sum of acenaphthene, fluorine, phenanthrene, fluoranthene, pyrene, benzo(b+j+k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, benzo(ghi) perylene، indeno(1,2,3-c,d)pyrene

- [g]Sum of 16 US EPA PAU (naphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, fluorine, fenanthrene, anthracene, fluoranthene, py¬rene, benz(a) anthracene, chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k) fluoranthene, benzo (a)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene، indeno (1,2,3-c,d) pyrene and benzo(ghi)perylene)

- [h]Sum of anthracene, benzo (a) anthracene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, benzo(ghi)perylene, fenanthrene, fluoranthene, chrysene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, naphthalene, pyrene.

- [i]Sum of anthracene, benzoanthracene, benzofluoranthene, benzoperylene, benzopyrene, chrysene, fluoranthene, indeno(1,2,3) pyrene, naphthalene, fenanthrene, pyrene

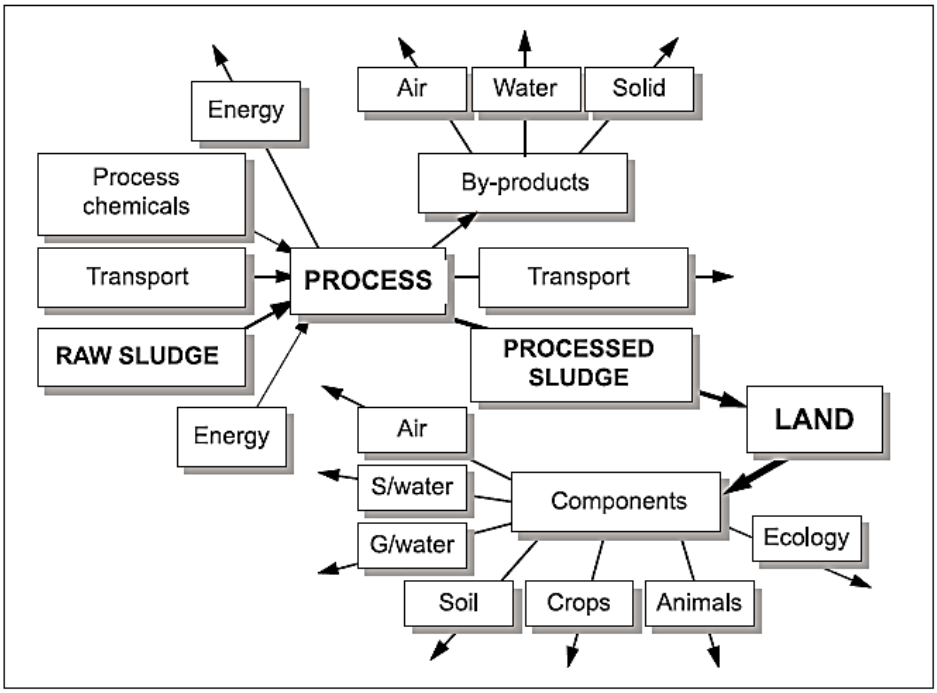
- [j]Sum of 7 congeners: PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180

6-4. الإستفادة من الحمأة في التطبيق على الأراضي
Utilizing Treated Sludge for Land Application

لكي ندرس الاستخدام الآمن لتطبيق الحمأة على الأراضي، وخصوصاً على الأراضي الزراعية، يجب أن نقوم بإعداد دراسة شاملة لنوعية الحمأة، ونقلها وتخزينها، ونوعية التربة، ونوعية المحاصيل المستهدفه وحاجتها من المغذيات، وطريقة التطبيق على الأراضي، وطرق الحماية من التلوث الممكن حدوثه الناتج عن هذه العمليات، إضافة لدراسة الجدوى الإقتصادية لهذا المشروع. الشكل (4-6-1) يبين مدخلات ومخرجات معالجة الحمأة وتطبيقها على الأراضي.

تحدد المؤسسات المعنية في أكثر الدول الطرق اللازمة لمعالجة الحمأة،

وذلك حسب طرق استخدامها لإنتاج المحاصيل الزراعية، أو للأغراض الزراعية الأخرى، الجدول (4-6-1) يبين أنواع المعالجة المطلوبة حسب الاستخدام [4]،[2]. والجدول (4-6-2) يبين حساب عام للحماة المطبقة (وزن جاف) لأنواع مختلفة من الأراضي (الأراضي الزراعية والغابات، واستصلاح الأراضي) [37].



الشكل (4-6-1) مدخلات ومخرجات معالجة الحمأة وتطبيقها على الأراضي

الجدول (4-6-1) أنواع المعالجة المطلوبة حسب الاستخدام [4]، [2]

استخدام الحمأة	نوع المعالجة المطلوبة
للزراعات التي تؤكل نيئة	معالجة بالحرارة - اسمدة
للزراعات التي لا تؤكل نيئة	هضم وتجفيف - وتثبيت بالكلس
استصلاح أراضي	هضم وتجفيف
للردم في المطامر	هضم وتجفيف

الجدول (4-6-2) تقديرات أولية للحمأة المطبقة (وزن جاف) لأنواع مختلفة من الأراضي [37]

Land Type نوع الأرض	Time Period of Application الفترة الزمنية للتطبيق	Reported Range of Application Rates t/ha معدل التطبيق	Typical Rate t/ha التطبيق النموذجي
Agricultural Land زراعية	Annual or twice annually	2-70	10
Forest Land غابات	Annually, or at 3-5 year intervals	10-220	18
Land Reclama-tion Site أراض بحاجة لاستصلاح	One time	7-450	112
t = metric tonnes			

4-6-1. محتويات حمأة مياه الصرف المعدة للتطبيق
Contents of sludge intended for application

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

- كما يعتمد توافُر النيتروجين على إختيار طريقة معالجة الحمأة، فالحمأة السائلة غير المعالجة والحمأة المنزوعة الماء تطلق النيتروجين ببطء فيؤدي ذلك إلى إفادة المحاصيل على فترة طويلة نسبياً. وكذلك فان الحمأة السائلة المهضومة لاهوائياً تحتوي على نسبة عالية من ammo-nia-nitrogen الأمونيا - نيتروجين، ويمكن أن تكون ذات فائدة خاصة للأراضي العشبية. يمكن أن تصل الإفادة من النتروجين في العام الأول إلى

أكثر من 25% [35]، وقد يصل التقدير إلى 50% من إجمالي محتوى N وهو N المتاح للحمأة في السنة الأولى من التطبيقEPA .

- وكذلك تبلغ نسبة توفُّر الفسفور phosphorus في عام تطبيق الحمأة إلى حوالي 50% وهي مستقلة عن أي معالجة مسبقة للحمأة. ولا يشكل الفوسفور عادة مصدر قلق لتلوّث المياه الجوفية، ولكن أكثر الدول تشدّد على ذلك لحماية جودة المياه السطحية.
- تحتوي الحمأة السائلة المهضومة لاهوائياً على نسبة عالية من الأمونيا والنيتروجين، والتي تكون متاحة بسهولة للنباتات، ويمكن أن تكون ذات فائدة خاصة للأراضي العشبية [FAO]. يمكن لأيٍّ من النتروجين N والفوسفور P الموجود 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 إستعمال التسميد بالحمأة من الضروري فرض قيود على عملية الزراعة والري والحصاد، ومن هنا نجد أهمية اختيار المعالجة المناسبة للحمأة ونوعية التربة التي يتم عليها التطبيق.
- PH. أدى الإتجاه بهدف زيادة محاصيل الحبوب (الذرة والحبوب الصغيرة) إلى زيادة استخدام الأسمدة التجارية، الأمر الذي يزيد في حموضة التربة. غالباً ما يكون الحفاظ على درجة حموضة التربة بين 6.5 و 7.0 أمراً مرغوباً فيه، وذلك لتوفير المغذّيات الأساسية الأمثل للنبات. علماً أن درجة الحموضة في التربة تؤثر على إمتصاص المعادن [37].

4-6-2. تقييم المخاطر Risk assessment

1. نظراً لامتصاص المعادن الثقيلة المحدود في الطبيعة والإمتصاص المحدود لها من قبل النباتات، تميل المعادن الثقيلة إلى التراكم في/ على سطح التربة، وتميل لتصبح جزءاً من مصفوفة التربة، ومع التطبيق المتكرر للحمأة، يمكن أن تتراكم المعادن الثقيلة لتصل إلى مستويات

ضارة محتملة للبشر (وخصوصاً الأطفال)، والحيوانات البرية التي تستهلك المحاصيل المُنتجة في هذه الأراضي.

ولذلك تم وضع قيم حدّية إلزامية لهذه العناصر في التربة، وتم حظر استخدام الحمأة عندما يتجاوز تركيز هذه المعادن في التربة القيم الحدّية، ويتم ذلك:

- إما عن طريق تحديد الكميات القُصوى لكميات الحمأة المستخدمة سنوياً.
- التأكد أنه لا يتم تجاوز القيم الحدية لتركيز المعادن الثقيلة في الحمأة المستخدمة [2].
- أو بالسعي لضمان عدم تجاوز القيم المحدّدة لكميات المعادن الثقيلة التي يمكن إضافتها إلى التربة على أساس متوسط 10 سنوات [5].

2. هناك مخاطر على الحيوانات التي ترعى في الحقول، وتأكل المركبات العضوية مباشرة من الحمأة المطبقة أو الملتصقة بالحشائش (منها الخطير كالهيدروكربونات المهلجنة محبة الدهون)، والتي سيتم تراكمها في جسم الحيوان، ويتركز وجود هذه المركبات في الحليب والأنسجة الدهنية لتنتقل بعدها للإنسان.
3. ثَبُت أن مستوى المخاطر الصحية، على الأرجح منخفض، ولا يظهر على العاملين في محطات معالجة مياه الصرف أو وحدات التسميد بالحمأة مرض أكثر تحديداً من غيرهم [LEGAS 2000]. وقد يتعرض العمال والمزارعون أثناء معالجة الحمأة أو المناولة أو تطبيق الحمأة على الأرض إلى مخاطر صحية، ولكن تبيّن أن مستوى هذا التعرّض قليل [53].

4-6-3. مسببات الأمراض في حمأة مياه الصرف Pathogens

ينتج عن معالجة مياه الصرف حمأة غير مستقرة تحتوي على العديد من مسببات الأمراض Pathogens. إذ أنه، وبعد أن يتم تثبيت هذه الحمأة نجد أن نسبة عالية من بعض مسببات الأمراض تبقى فيها. الجدول (4-6-3-1)

وفي الجدول (4-6-3-2) عرض لنطاقات التركيز النموذجية لمسببات الأمراض للحمأة الخام والمعالجة [36].

الجدول (4-3-6-1) مستوى مسببات الأمراض pathogen النموذجية في الحمأة الغير مستقرة (المكثفة) والحمأة المثبتة بالمعالجة اللاهوائية [37]

العامل المُمرض pathogen	التركيز في الحمأة غير المستقرّة No./100 milliliters	التركيز في حمأة مهضومة لاهوائياً No./100 milliliters
فيروس virus	2,500 - 70,000	100-1000
بكتريا الكوليفورم البرازية fecal coliform, FC	1,000,000,000	30,000-6,000,000
السالمونيلا Salmonella sp	8,000	3-62
Ascaris lumbricoides- Helminth	200-1,000	0-1,000

الجدول (4-3-6-2) نطاق التراكيز النموذجية لمسببات الأمراض في الحمأة الخام والمعالجة [36]

Type of Sludge	E. coli	Salmonella	Fecal Coliforms
Non treated غير معالجة	1×10^{6}- 1×10^{7} CFU/g dw	100-1000	1×10^{7}- 1×10^{9} MPN/g dw
Conventionally treated معالجة تقليدية	1×10^{4}- 1×10^{5} CFU g dw	3-100	3×10^{4}- 6×10^{6} MPN/g dw

بالنسبة للحمأة المترسّبة على سطح التربة وغير المدمجة، تتوفر بيانات قليلة عن بقاء كيسات الأوليّات protozoan cysts، وبيوض الديدان الطفيلية helminth ova، ولكن يمكن إعتبار فترة 30 يوماً كافية للقضاء على مخاطر نقل الأمراض الطفيلية [38].

قد تبقى الأكياس والبويضات الممزوجة في التربة على قيد الحياة لفترات طويلة من الزمن بسبب قدرتها على مقاومة الظروف البيئية [38]. والجدول (4-3-6-3) يبين زمن بقاء مسببات الأمراض في التربة بعد التطبيق.

يقلل الإشعاع من كثافة مسببات الأمراض في حمأة مياه الصرف بشكل كبير، إن لم يكن كلياً. ومن المتوقع أن تضعف أي من مسببات الأمراض المتبقية وتموت بسرعة في التربة.

الجدول (4-6-3-3) زمن بقاء مسببات الامراض في التربة بعد تطبيق الحمأة [38]

Organism	Time (days)
Coliform Group	38
Faecal Streptococcus	26 - 7
Salmonellae spp.	15 - > 180
Salmonella typhi	1- 120
Entomoeba histotytica cysts	6 - 8
Ascaris ova	up to 7 years
Hook larvae	42
Enterovirus	8- 175

4-6-3-1. ماهي مسببات الامراض What are the pathogens

قبل التطبيق على الأراضي يجب دراسة مسببات الأمراض التالية:

- بكتريا الكوليفورم البرازيّة 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 إحتمالاً (MPN) لكل غرام من المواد الصلبة الكلية الجافة [7]،[37].
- أو كثافة السالمونيلا SP. في الحمأة يجب أن يكون أقل من MPN 3 لكل 4 غرام من المواد الصلبة الكلية الجافة [7] [EPA 503.33].

ومن العيوب الرئيسية لتحديد وتطبيق فترات التقيّد لعدم التعرض لمسببات الأمراض (أي حماية الإنسان والحيوان من التعرض) هو أن معظم العوامل المسببة لموت مسببات الأمراض لا يمكن السيطرة عليها أو التنبؤ بها على وجه التأكيد، فعلى سبيل المثال، العوامل المؤثرة: درجة الحرارة، ومدة وشدة ضوء الشمس...الخ.

راجع الجدول (4-5-1-1) معلومات عامة عن تصنيف الحمأة المعالجة من أجل التطبيق على الأراضي [EPA, 21].

راجع الجدول (4-5-2-5) حدود مسببات الأمراض لاستخدام الحمأة في الزراعة في بعض دول الإتحاد الأوربي [36].

الجدول (4-6-3-1-1) يعطي الحدود القصوى لمسببات الأمراض في الحمأة المعدّة للزراعة كمثال في دولة الكويت [39].
الجدول (4-6-3-1-2) يحدّد المعايير المطلوبة لمسببات الأمراض في الحمأة (المواد الصلبة الحيوية) المعدّة لإعادة الاستخدام في دولة الامارات العربية المتحدة/ ابو ظبي.

الجدول(4-6-3-1-1) الحدود القصوى للعوامل الممرضة في الحمأة المعدة للزراعة في دولة الكويت [39]

نوع العامل الممرض pathogens		الوحدة	الحد الاقصى المسموح
بكتريا القولون البرازية	Fecal coliform	CFU*/gm	1000
بكتريا الايكولاي	Escherichia coli	CFU/gm	1000
السالمونيلا	salmonella	CFU/4gm	3
بيوض الديدان القابلة للحياة	Viable helminth Eggs	CFU/4gm	1 >
الفيروسات المعوية	Enteric viruses	CFU/4gm	1 >

Colony Forming Unit :CFU*

الجدول (4-6-3-1-2) المعايير المطلوبة لمسببات الأمراض في الحمأة (المواد الصلبة الحيوية) المعدة لإعادة الاستخدام

[UAE أبو ظبي regulation 2021]

ستاندر /Standard		B1 إعادة الاستخدام غير المقيد Unrestricted Reuse	B2 إعادة الاستخدام المقيد restricted Reuse
المؤشر/ Parameter	Unit	التركيز/ Concentra-tion	التركيز/ Concentra-tion
بكتريا الايكولاي E. Coli	CFU/g dm	1000>	100,000>
السالمونيلا Salmonella	CFU/2g dm	1 >	Not applicable
Helminth Ova البيوض الحية للديدان	No./ 50g dm	1 >	10 >

4-6-3-2. المعالجات المقترحة لتقليل مسببات الأمراض في الحمأة Pathogen reduction

يمكن إستعمال أحد الطرق التالية لتقليل مسببات الأمراض في الحمأة قبل التطبيق على الأراضي [EPA503]:

1. **الأسمدة windrow الأكوام الهوائية** (راجع الفقرة 2-2-4). يجب الحفاظ على السماد عند 40 C° لمدة 5 أيام، ويجب أن ترتفع درجة الحرارة داخل جسم الكومة الى 55 C° أو أعلى، على الأقل مرة واحدة لمدة 4 ساعات وتليها فترة نضج كافية لضمان إكتمال تفاعل الاسمدة [5].
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°.
3. **المعالجة الحرارية.** يتم تسخين الحمأة السائلة إلى درجة حرارة 180 C° أو أعلى لمدة 30 دقيقة.
4. **الهضم الهوائي بالحرارة Thermophilic aerobic digestion** يتم تهيج حمأة المجاري السائلة بالهواء أو الأوكسجين للحفاظ على الظروف الهوائية. ويكون زمن المكوث 10 أيام أو أكثر عند 55 إلى 60 C°.
5. **أشعة بيتا Beta ray irradiation** يتم تعريض الحمأة لأشعة بيتا بجرعات لا تقل عن 1.0 megarad في درجة حرارة حوالي 20 C°.
6. **أشعة غاما Gamma ray irradiation** يتم تعريض الحمأة لأشعة غاما من بعض النظائر مثل Cobalt 60, Cesium 137 بجرعات لا تقل عن 1.0 megarad في درجة حوالي 20 C°.
7. **البسترة Pasteurization** يتم الحفاظ على درجة حرارة الحمأة عند 70 C°، أو أعلى لمدة 30 دقيقة أو أكثر.
8. **إستعمال الكلس** Lime يضاف الكلس إلى الحمأة بكمية كافية لرفع PH إلى 12، أو أعلى لمدة لا تقل عن 2 ساعة. حيث ستعمل البيئة القلوية المرتفعة على تعطيل النمو الحيوي وتقضي على مسببات الأمراض

pathogens [7]. راجع الفقرة (2-2-3).

4-6-4. الحقن العميق والحراثة Deep injection and plough down

تُظهر أحدث أرقام إنبعاثات الأمونيا في أيرلندا الشمالية (2020)، أن ما يقرب من 43% من الأمونيا المنبعثة من الأنشطة الزراعية تأتي من استخدام روث الماشية أو الأسمدة أو الحمأة، والهضم في الأرض المسمدة [Protected Urea Fertiliser,Robert Edwards,]. يقلّل استخدام الحقن العميق للحمأة من آثار العوامل البيئية المساعدة على بقاء مسببات الأمراض، وبذلك يكون تأثير الطقس الضار ضئيل جداً على عملية التطبيق، كما يكون خطر التلامس من قِبل مستخدمي الحياة البرية ومستخدمي الأرض عند تطبيق الحمأة ضئيل للغاية، وبالإضافة إلى ذلك فإن الحقن العميق يتمتع بميزة جمالية ويسبب القليل من الإزعاج، كما يقلّل من فقدان الأمونيا، ويضع تأثير السماد على الفور في إتصال مباشر مع التربة. كما أنه يقلّل من الجريان السطحي المحتمل للمخلفات إلى المياه السطحية، [40]. في الشكل (4-6-4-1) تطبيق الحمأة على التربة، حراثة مع حقن.

الشكل (4-6-4-1) تطبيق الحمأة على التربة

[Assiniboine Injections] - [Com-Til]

5-6-4 التحاليل المخبرية المطلوب إجراؤها على حمأة مياه الصرف.

يُطلب إجراء التحاليل المخبرية التالية على الحمأة المستعملة للزراعة [5].

- 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).
- المولبيديوم (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.
- الطفيليات وبيوضها، والفيروسات المعوية.
- المركبات العضوة السامة.

في حال كانت جودة الحمأة ونتائج التحاليل مطابقة للمعايير التي في **الجداول:** الجدول EPA(1-1-5-4) ، الجدول EPA(3-1-5-4) والجدول (4-5-4-2) Directive 86/278/EEC ، فيمكن إعتبارها كأنها سماد طبيعي [37].

وقد بدأت بعض البلدان مؤخراً بإضافة المركبات العضوية الخطرة ضمن التحاليل المطلوبة، مثال، مقترح الإتحاد الأوربي الوارد في الجدول (6-2-5-4) حول الحدود المقترحة لكمية المواد العضوية الخطرة في الحمأة المطبقة على الأراضي [31].

4-6-6. موقع أخذ العينات Sludge sampling

يجب أخذ عينات مركبة للحمأة المعدّة للإستعمال على الأراضي، وعمل دراسة شاملة قبل تحميلها على الآليات لنقلها إلى موقع التطبيق.

وعادة ما يتم أخذ العينات من المواقع التالية:

- مخرج حوض الترسيب الأولي.
- ما قبل عمليات هضم الحمأة أي من حوض التكثيف بالثقالة، السير المكثف Gravity belt thickening، مطوف الحمأة (DAF) أو من أي وحدة معالجة تكثيف أخرى.
- يكون الحصول على عينة من الحمأة المنشطة المصرفة WAS قبل عملية التكثيف أكثر تمثيلاً لها، حيث يبين كمية خفض المواد الطيّارة الحقيقي في الهواضم لاحقاً.
- بعد عملية التثبيت.
- **تؤخذ العينة في موقع معالجة الحمأة وليس في موقع التطبيق.**
- يجب عدم أخذ عينات من هاضم فاشل وخلطها من العينات الأخرى [41].

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

4-6-7. تكرار مراقبة التلوث والعناصر الممرضة في الحمأة المطبقة Frequency of Monitoring for Pollutants, Pathogen

يتم أخذ عينات من الحمأة المراد إستعمالها في التطبيق على الأراضي والتربة وفق ما يلي:

عينات الحمأة وتكرار أخذ العينات.

يجب إجراء التحاليل على الحمأة المطبقة على الأراضي كل 6 شهور FAO [5] أو الإلتزام بإجراء هذه التحاليل وفق الجدول (4-6-7-1) [8]،[37] معتمدين في تكرار التجارب على كمية الحمأة المستعملة أيهما أكبر.

الجدول (4-6-7-1) تكرار إجراء التجارب المخبرية لمراقبة مسببات الامراض [37], [EPA 1993]

*كمية الحمأة المطبقة على الأراضي في العام طن متري	تكرار التجارب
من 0-290	مرة واحدة في العام
من 290-1500	أربع مرات في العام تتكرر كل 120 يوم
من 1500-15000	6 مرات في العام تتكرر كل 60 يوم
اكثر من 15000	12 مرة في العام تتكرر شهريا

*إما أن تكون كمية الحمأة (سائبة اي غير معبئة) تنقل من أجل التطبيق على الأرض بواسطة شاحنات، صهاريج... أو أن تكون كمية الحمأة التي تتلقاها شركة خاصة بالحمأة لتقوم بتعليبها من أجل بيعها أو تعبئتها في اكياس أو في حاويات من أجل التطبيق (كوزن الجاف).

4-6-8. عينات التربة في موقع التطبيق وتكرار أخذ العينات.

نقوم بجمع عينات من التربة ومزجها مع بعض لتكوين عينة مركبة، يغطي عدد العينات (25) مساحة لا تزيد عن 5 هكتارات معدّة لغرض تطبيق الحمأة. ويجب أن تؤخذ هذه العينات على عمق 25 سم ما لم يكون عمق التربة السطحية أقل من تلك القيمة، على أن لا يقل عمق العينة في هذه الحالة عن 10 سم [42].

تجرى التجربة قبل البدء بالتطبيق ومن ثم مرة واحدة على الأقل كل سنتين ما لم تظهر مستجدات تتطلّب غير ذلك [43].

4-6-8-1. أخذ العينات في المناطق المطلوب استصلاحها أو إعادة تأهيلها.

ينبغي أخذ العينات من التربة والمواد الصخرية والحفريات... إلخ، في المنطقة المطلوب دراستها من أجل تطبيق الحمأة، ويتم ذلك بعمل عينة مركبة واحدة (20-40 عينة فرعية على عمق 0-15 سم لكل 10 هكتارات)

[35]، ويمكن زيادة العينات حسب وضع الموقع ومحتوياته وأهميته.

4-6-8-2. التحاليل المخبرية المطلوبة للتربة
Analytical Requirements for Soil Samples

توضع جميع العينات التي تم جمعها على قطعة قماش أو نايلون وتخلط يدويا ويزال منها قطع الحجارة الكبيرة، ومن ثم نأخذ منها عينة مركبة وزنها 1 كغ ليتم إجراء التجارب اللازمة عليها. الجدول (4-6-8-2-1) يبين التجارب التي يتعين القيام بها على عينات من أرض الموقع قبل التطبيق.

الجدول (4-6-8-2-1) التحاليل المطلوبة على عينات من التربة في الموقع قبل تطبيق الحمأة [35]

Conductivity (dS/m) pH(calcium chloride)	Macro-components: Total nitrogen Total phosphorus + Available phosphorus (Bray)
Micro-components: Total arsenic Total cadmium Total chromium Total copper Total lead Total mercury Total nickel Total selenium Total zinc	**Organic contaminants:** Aldrin Dieldrin Chlordane Heptachlor HCB Lindane BHC DDT DDE DDD

4-6-9. متطلبات إستعمال الحمأة على الأراضي / التصريح.

يجب الحصول على تصريح خاص بالتطبيق على الأراضي:

- من الهيئات المسؤولة عن إدارة الحمأة، قبل إستعمالها على الأراضي، أو قبل تعليبها، أو تعبئتها من أجل بيعها.
- من الهيئات الأخرى المسؤولة عن مواقع التطبيق (وزارة الزراعة ، الثروة السمكية... الخ) أو غير ذلك من الجهات التي تقوم بالإشراف على نشاطات

أخرى تكون الحمأة جزء منها كصناعة البلوك، إستخلاص الفوسفور....الخ.

إن المعلومات التالية مطلوبة لإستكمال 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 [43].
- تحليل الحمأة التي يتم إنتاجها في محطة المعالجة وملخص للنتائج مقارنة بالمعايير المطلوبة.
- تفاصيل حول طرق تثبيت الحمأة المطبقة ونتائج تحليل الحمأة.
- كمية الحمأة التي سيتم تطبيقها على الأرض ومعدل التطبيق.
- توصيف كيميائي وفيزيائي للتربة التي ستتلقى الحمأة.
- بيانات عن مناسيب 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 أو أي إعتبارات خاصة للإدارة / التشغيل.
- نسخة من الإتفاقيات إن وجدت.
- يجب مراقبة جميع آبار مياه الشرب الواقعة على بعد 500 متر وفق الفقرة (4-6-14. المراقبة).
- يجب عمل تقييم اثر بيئيEIA لمشروع تطبيق الحمأة على الأراضي إذا كان حجم وتأثير وأهمية المشروع يتطلب ذلك.

4-6-10. شروط إختيار موقع تطبيق الحمأة.

من الخطوات المهمة عند تطبيق الحمأة على الأرض هو العثور على الموقع المناسب للتطبيق. وسوف تؤثر الخصائص المحدّدة للموقع على الفعالية الشاملة لمفهوم تطبيق الحمأة على الأرض.

❖ **إن المواقع التي يمكن أن تكون مناسبة لتطبيق الحمأة تعتمد على ما يلي:**

- نوعية الأراضي التي سيتم التطبيق عليها، مثل التطبيق على الأراضي الزراعية، أراضي الغابات، ملاعب الغولف، استصلاح الأراضي الصحراوية ... إلخ.
- ويجب أن يتضمن ذلك الحصول على تقدير تقريبي لمساحة الأرض المطلوبة لكل خيار ممكن من خيارات تطبيق الحمأة، من أجل كل نوع من أنواع التربة المتاحة في المنطقة.

علما أن التربة المثالية من أجل تطبيق الحمأة هي تربة من نوع طفالية (sand, silt, and clay soil) عميقة. عمق التربة لا يقل عن 60 سم، [4]. والتربة الطفالية هي تربة تحتوي خليطاً من الطين والرمل والطمي بنسب متقاربة.

- يوصى بأن تكون عمق المياه الجوفية المثالي 3 أمتار وخصوصاً إذا كانت المياه الجوفية تستعمل للشرب، ويقبل حتى 1 م إذا كانت المياه الجوفية لا تستعمل للشرب [12].
- **التضاريس:**
- الإنحدار المثالي 0 % إلى 3 %
- وللحقن يقبل حتى 6% - 21%
- وفي الغابات حتى 30%.
- أن لا يوجد آبار أو أراضي رطبة أو جداول أو أنهار قريبة.
- عدد الجوار قليل بالنسبة لموقع الإستعمال.
- سهولة الوصول للموقع.
- درجة حموضة التربة: أن تكون قلوية أو محايدة (الرقم الهيدروجيني> 6.5).
- جيدة التصريف Well drained soil.
- بطيئة إلى متوسطة النفاذية slow to moderate permeability.
- يمكن تقريباً تكيّيف أي تربة باستخدام نظام جيد التصميم والتشغيل.
- تختلف الممارسات كثيراً إعتماداً على ما إذا كانت الحمأة التي يتم تطبيقها يتم نقلها بالصهارج أوبسيارات الشحن أو إذا كانت في أكياس فردية.

- في حالة التطبيق على الأراضي الزراعية أو الغابات أو مواقع الإتصال مع العامة، يجب استخدام الحمأة غير المعبأة bulk بمعدل يساوي أو أقل من المعدل الزراعي المطلوب للموقع [12].

الجدول (4-6-10-1) من EPA يلخص المعايير المطلوبة للموقع من أجل تطبيق الحمأة [8]، وكذلك مراجعة الشروط في الفقرة (4-6-12) التالية.

الجدول (4-6-10-1) معايير إختيار موقع التطبيق اعتمادا على EPA [8]

Parameter المؤشرات	Unacceptable غير مقبول	Desired مطلوب
Slope	>12%	<3%
Soil permeability	>1 × 10^{-5} cm/s for soil layers less than 0.6m deep	≤1 × 10^{-7} cm/s for soil layers deeper than 3.0 m
Distance from surface waters	<90 m	>300 m >60 m for intermittent streams
Water table depth	<3 m	>15 m
Distance from drinking wells	<300 m	>600 m

❖ **فئات التطبيق إعتماداً على شكل الأرض ونوعية التربة وعوامل الخطورة:**

تم تطوير إحتياجات خاصة تأخذ في الإعتبار شكل الأرض ونوعية التربة، للمساعدة في إختيار المواقع المناسبة لتطبيق الحمأة (المواد الصلبة الحيوية)، وتأخذ المعلومات في الإعتبار عوامل الخطر مثل حركة النترات المحتملة في النظام الهيدرولوجي، وإمتصاص النبات للمعادن الثقيلة. وتم الأخذ في الإعتبار استخدام الري في سقاية هذه الأراضي. وتستخدم هذه المعلومات جنباً إلى جنب مع سقف الملوثات في التربة لتحديد المواقع المناسبة لتطبيق الحمأة.

يمكن تصنيف مواقع التطبيق إلى أربعة فئات كما يلي [35]:

1. **الفئة 1:** لا تحتوي هذه الفئة على (أية قيود)، أو يمكن وجود قيود طفيفة بالنسبة لجميع خصائص التربة والأرض، ومن المرجح أن تتعامل مع تطبيقات متعدّدة لجميع منتجات الحمأة بأقصى معدلات مسموح بها

دون التعرّض لخطر حدوث تأثيرات خطيرة داخل الموقع أو خارجه.

2. **الفئة 2:** الأراضي التي تعتبر فيها واحدة أو أكثر من حدود التربة أو الأرض هي (متوسطة التأثير)، وبذلك يكون عدد تطبيقات الحمأة محدود، ولكن عند تطبيق الحمأة لن يتسبّب ذلك في التعرّض لحدوث تأثيرات خطيرة داخل الموقع أو خارجه، أو التي ستكون محدودة في مجال مجموعة من منتجات الحمأة المناسبة للاستخدام.
3. **الفئة 3:** الأرض التي يعتبر فيها واحد أو أكثر من قيود التربة أو الأرض (شديدة التأثير)، وهذه الأرض تكون مناسبة لعدد قليل فقط من تطبيقات الحمأة بأقصى معدلات يسمح بها، أو لمجموعة محدودة من منتجات الحمأة.
4. **الفئة 4:** أرض غير مناسبة لتطبيق الحمأة.

11-6-4. تطبيق الحمأة في الأراضي القاحلة Arid lands

في المناطق القاحلة التي يكون فيها الهطول المطري أقل من (500 ملم سنوياً)، يمكن أن تكون إضافات الحمأة مصدراً مهماً للمواد المغذية وللمواد العضوية. وغالباً ما يؤدي تطبيق الحمأة إلى تحسين الخواص الفيزيائية للتربة مثل قدرة الإحتفاظ بالمياه، النفوذية والتهوية. يؤدي تطبيق الحمأة إلى زيادة محتوى البروتين في المحاصيل مثل القمح الشتوي مقارنة بالمواقع التي تتلّقى سماداً تجارياً.

في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، عادة يتجاوز التبخّر كمية هطول الأمطار، مما يقلّل من هجرة NO_3-N للأسفل، وهذا ينطبق أيضاً على المناطق ذات الأمطار القليلة والتي تستعمل الري في زراعتها.

يجب كذلك مراعاة مكونات الحمأة مثل TDS والبورون (B) عند تحديد معدلات استخدام الحمأة، حيث إن وجود تركيز عالٍ من الأملاح في الطبقة السطحية يمكن أن يضعف الإنبات ونمو الشتلات المبكّر، ويمكن أن يتسبب الملح المفرط في تشتت التربة، مما يقلّل من معدلات تسرّب المياه وتهوية التربة. ويتسبب كذلك في تغييرات بنيوية للتربة تجعل فلاحة الأرض أكثر

صعوبة [37]. ويمكن أن يؤدي تراكم الأملاح إلى إعاقة إعادة زراعة الأعشاب الأصلية بسبب المنافسة من النباتات المبكرة والمتحملة للملوحة.

12-6-4. شروط الموقع ومسافات الفصل
Siting and Site Restrictions

يجب أن تفي الأراضي المخصصة لتطبق الحمأة بمسافات الفصل الدنيا وفق ما يلي [43]:

- الحد الأدنى للمسافة بين الأرض والمناطق العامة (الحدائق والملاعب ...الخ) يجب أن تكون 90 متراً.
- الحد الأدنى للمسافة بين الأرض والمباني المؤسساتية (المدارس والمستشفيات الخ) 200 متراً.
- الحد الأدنى للمسافة بين الأرض والمناطق السكنية يجب أن تكون 450 متراً.
- يجب ألا تقل المسافة بين الأرض والمساكن الفردية والمباني التجارية عن 90 متراً.
- يجب أن لا تقل المسافة الدنيا بين الأرض والطرق العامة وخطوط السكك الحديدية وخطوط الصرف الموسمية عن 30 متراً.
- يجب أن لا تقل المسافة عن موقع إمدادات المياه السطحية عن 750 متراً [12].
- الحد الأدنى للمسافة بين الأرض المستعملة لتطبيق الحمأة ذات الميول من 0% إلى 3% وبين المجاري المائية والأحواض المائية وآبار المياه يجب أن لا تقل 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 تقل عن 200 متراً [43]. (وفي بعض المراجع أن لا تقل عن 300 م) [4].
- يجب أن يكون لنظام العاصفة المطرية القريب من مكان التطبيق والتجميع القدرة على معالجة الجريان السطحي لمدة 24 ساعة [EPA

.[503

13-6-4. القيود المفروضة على زراعة وحصاد المحاصيل بعد تطبيق الحمأة.

تكون شروط الزراعة والحصاد بعد تطبيق الحمأة على الأراضي وفق ما يلي:

- لا يسمح بحصاد المحاصيل الغذائية فوق الأرض والتي تلامس الحمأة المستعملة أو خليط التربة والحمأة لمدة 14 شهراً بعد استخدام الحمأة [4+43].
- لا يسمح بحصاد المحاصيل الغذائية (الأجزاء الصالحة للأكل تحت سطح التربة) لمدة 38 شهراً بعد استخدام الحمأة [4+43].
- لا يسمح بحصاد المحاصيل الغذائية ذات الأجزاء التي لا تلامس الحمأة / خليط التربة والحمأة كمحاصيل الأعلاف ومحاصيل الألياف لمدة 60 يوماً بعد استخدام الحمأة [43].
- يمنع حصاد العشب الذي يزرع على الأرض التي يتم فيها استخدام الحمأة ولمدة سنة واحدة إذا كان هنالك إمكانية عالية لتعرض الاشخاص [4].
- في الحدائق العامة أو ما شابه ذلك والمطبق عليها الحمأة يمنع /أو يحدّد دخول اشخاص لمدة عام [4].
- في المزارع المطبق عليها الحمأة يمنع /أو يحدّد دخول الاشخاص لمدة شهر [4].
- لا يسمح باستخدام الحمأة من أجل زراعة المحاصيل اللينة من الخضار والفواكه تحت هياكل دائمة من الزجاج أو البلاستيك [5].
- يمكن تطبيق الحمأة المعالجة على زراعة محاصيل الحبوب دون قيود [5].
- بشكل عام، لا ينبغي فرش الحمأة غير المعالجة أو حقنها في التربة إلا قبل زراعة المحاصيل، ولكن يمكن حقنها في العشب أو العشب النامي، مع فرض قيود على الحد الأدنى من الزمن اللازم للحصاد كما ذُكر سابقاً [12].
- يطلب (EC Directive توجيه المفوضية الأوروبية) فترة إلزامية لمدة 3 أسابيع لعدم الرعي في الأراضي المطبق عليها الحمأة، ولكن يُحظر نشر الحمأة غير المعالجة على الأراضي العشبية ما لم يتم حقنها [4+43].

14-6-4. المراقبة المطلوبة قبل وأثناء التطبيق Monitoring Requirements

- **مراقبة جودة الحمأة:** قبل تطبيق الحمأة البلدية على الأرض يجب تحليل الحمأة، من أجل معرفة كمية المعادن ومستوى وجود الكائنات المسببة للأمراض والمواد المغذّية، والمواد العضوية السامّة، كما هو محدد في الفقرة (4-6-5)، ويجب أن يتم أخذ العينات وتحليلها وفق الطرق القياسية المعتمدة لفحص المياه، والمياه العادمة، والحمأة [43]. وتُجرى التجارب قبل البدء بالتطبيق، ومن ثم يتم تكرار أخذ العينات وفق ما ورد في الفقرة (4-6-7-1).
- **مراقبة جودة التربة:** يتم جمع عينات مركبة وإجراء التحاليل المحدّدة في الجدول (4-6-8-2-1)، ويجب تحليل العينة وفق الطرق المعتمدة أصولا [43]، ويعتمد تكرار أخذ العينات كما ورد في الفقرة (4-6-8).
- يجب مراقبة جميع آبار مياه الشرب الواقعة في مجال 500 متراً من حدود التطبيق، وإجراء تحاليل فيزيائية وكيميائية وجرثومية (بكتريولوجية) لعينات من مياه الآبار كل عام، ومطابقتها للمعايير العالمية والمحلية المعتمدة.
- يجب الإحتفاظ بالسجلات المتعلّقة بكمية الحمأة المطبقة على الأرض، ومعدل التطبيق، ونتائج تحاليل الحمأة، وتحليل جودة التربة والمياه، والمحاصيل المزروعة وتفاصيل المحاصيل. كما يجب تقديم تقرير المراقبة مع التفاصيل كل مدة وفق ما تفرضه الشروط الناظمة في الدولة المعنية.

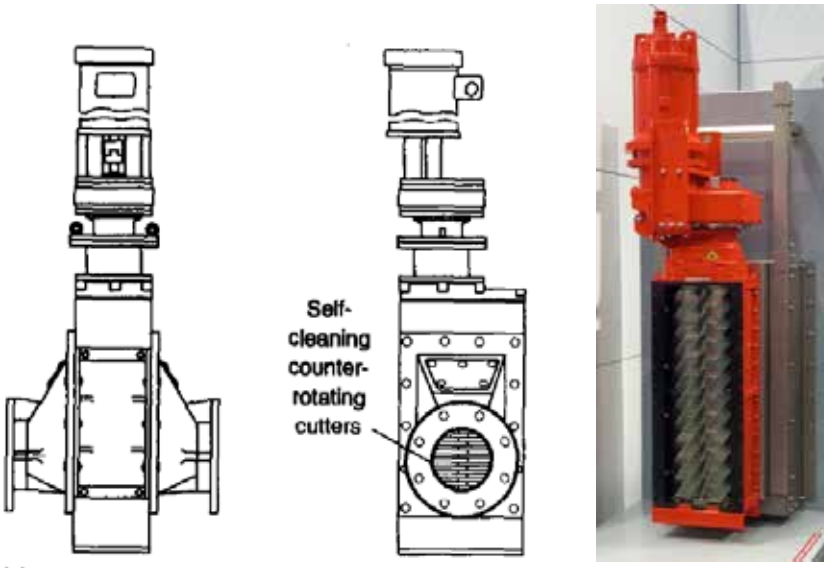
15-6-4. عمليات الحمأة الأولية، النقل، التخزين Primary sludge processes, transportation, storage

1. يعد الطحن، أنظر الشكل (4-6-15-1)، والتفتيت، وإزالة الرمال، ومزج وتخزين الحمأة أمراً ضرورياً لتوفير تغذية ثابتة ومتجانسة نسبياً لمنشآت المعالجة اللاحقة ومن ثم نقلها للتطبيق على الأراضي.

يمكن إجراء المزج والتخزين إما في وحدة متكاملة مصمّمة للقيام

بالأمرين معاً، أو بشكل منفصل. أحياناً يكون تمرير الحمأة الخام أو الحمأة المهضومة على المصافي مطلوباً في تطبيقات إعادة الاستخدام وذلك لإزالة البلاستيك والخرق والمواد الأخرى.

2. يتم معالجة موضوع نقل الحمأة إلى مواقع التطبيق حسب الحالة، وحسب درجة معالجة الحمأة. يمكن نقل الحمأة بواسطة الضخ أو الصهاريج أو بواسطة الشاحنات أو في القطارات. الشكل (4-6-15-2) يبيّن عدد من طرائق نقل الحمأة حسب محتوى الرطوبة الموجودة فيها. ويبيّن الجدول (4-6-15-1) طرق نقل الحمأة إعتماداً على محتوى المواد الصلبة [37].



(a) (b) (c)

الشكل (4-6-15-1) طاحنة حمأة نموذجية توضع على مسار ضخ الحمأة.
(a) منظر جانبي، (b) منظر أمامي، (c) صورة طاحنة. [12]

الشكل (4-6-15-2) صور لطرائق نقل الحمأة السائلة والحمأة منزوعة المياه

الجدول (4-6-15-1) نسبة المواد الصلبة في الحمأة وطرائق نقلها [37]

Sludge Type نوع الحمأة	Typical Solids Content (%) نسبة المواد الجافة	Handling Transport Methods نقل الحمأة
Liquid سائلة	1 - 10	Gravity flow, pump, pipeline, tank transport بالجاذبية، بالضخ، بالقساطل، بالصهاريج
Sludge cake (wet solids) حمأة رطبة	10 - 30	Conveyor, auger, trucking (water-tight box) بالسير الناقل، بالحلزون، بالشاحنات..الخ
Dried جافة	50 - 95	Conveyor, bucket, truck transport (box) بالسير الناقل، حلزون، آليات هندسية، قطارات....الخ

ولتقليل مخاطر الإنسكابات والروائح، وإنتشار مسببات الأمراض في الهواء يجب أن نقوم بما يلي:

- نقل الحمأة السائلة في عبوات مغلقة مثل الخزانات (على الشاحنات)، أو عربات صهريج أو صهاريج السكك الحديدية، أو المركبات المغطاة [4].
- يمكن نقل الحمأة المستقرّة (أي المكثّفة والمثبّتة بيولوجياً) في عربات مفتوحة، مثل شاحنات التفريغ أو في السكك الحديدية [4]، ويجب أن تُغطّى آليات النقل المذكورة بإحكام بأغطية بلاستكية، أنظر الشكل (4-6-15-2).
- وضع علامات على الآليات الناقلة تدل بأنها تنقل حمأة مياه صرف، والإهتمام بالنظافة.

4-6-16. تخزين الحمأة Sludge storage

يتم تخزين الحمأة لعدة أسباب:

- يتم تخزين الحمأة التي تم تثبيتها وهضمها بطريقة لاهوائية قبل التخلص منها أو استخدامها.
- يمكن تخزين الحمأة السائلة في أحواض تخزين خاصة.
- كما يمكن تخزين الحمأة على منصات تخزين من الاسمنت أو من الاسفلت sludge storage pads .[4].

- **أحواض التخزين Basins:** عندما يتم تخزين الحمأة في الأحواض تصبح أكثر تركيزاً، وتتحسّن نوعيتها [4]. ويتراوح عمق أحواض تخزين الحمأة من 3م إلى 5م، ومعدّل التحميل (0.1-0.25 kgVSS/m2.d)، كما يمكن استخدام أجهزة التهوية السطحية للحفاظ على الظروف الهوائية في الطبقات العليا، ويتم - عادةً - توفير عدد من الأحواض للتخزين التي يمكن أن تحتفظ بالحمأة حتى 6 أشهر. أنظر الشكل (4-6-16-1)a.

ويمكن إزالة الحمأة المستقرة والمكثفة من الأحواض باستخدام مضخات الطين Mud pump المثبتة على منصة عائمة أو بواسطة رافعة متحركة باستخدام خط السحب، أنظر فقرة المضخات (1-3). وقد تم الوصول إلى

تركيز 35 % مواد صلبة في الطبقات السفلية من هذه الأحواض [12].

- **البحيرات lagoons:** تستخدم البحيرات عادةً لتخزين طويل الأمد، ولا يحتاج تخزين الحمأة المثبّتة في البحيرات إلى تكنولوجيا معقّدة، وهو عمل اقتصادي، إضافة إلى أن رائحة الحمأة المثبّتة قليلة، وخصوصاً إذا كانت محطة المعالجة في مكان ناءٍ. أنظر الشكل (4-6-16-1)b.
- والبحيرة عبارة عن حوض ترابي عمقه من 1.25 إلى 1.5 متر. وعادةً يُمنع دخول منطقة التخزين إلا للأشخاص المرخّص لهم.

a b

الشكل (4-6-16-1) a. نموذج خزان أسمنتي للتخزين b. بحيرة لتخزين الحمأة [Assiniboine Co], [moore concret Co]

- **منصات التخزين Storage Pads:** تُستعمل المنصات لتخزين الحمأة المنزوعة المياه قبل تطبيقها على الأراضي. يتم حساب مساحة التخزين بحيث لا تُترك الحمأة على المنصة لمدة طويلة، مع الأخذ بالإعتبار (الإنتاجية، مساحة التخزين، آليات النقل والمناورة، موقع الإستقبال، والوزن). الشكل (4-6-16-2) نموذج لتخزين مؤقت مفتوح للحمأة على بلاطة من الاسمنت المسلح.

يجب دراسة المناورة في الموقع، وبدائل الدخول والخروج، وعدد آليات التحميل أو الروافع ذات السطل حسب الحالة. يجب أن تكون منصّات التخزين مصنوعة من الخرسانة المسلحة ومصمّمة لتحمل الشاحنات وأكوام الحمأة. كما يجب الأخذ في الإعتبار تصريف السوائل الراشحة ومياه الأمطار والتخلص المناسب منها.

الشكل (4-6-16-2) نموذج تخزين حمأة مؤقت مفتوح على بلاطة من الاسمنت المسلح [Alfa Laval]

4-6-17. الإحتياجات الغذائية للمحاصيل.

إن أهم المغذيات للنبات هي النتروجين والفسفور. بيد أن النتروجين الموجود في الحمأة بطئ وصعب الإطلاق، وعادةً يتم حساب النتروجين اللازم للنبات وفقاً للكمية اللازمة من السماد التجاري خلال العام. إذ يجب معرفة محتوى النيتروجين في الحمأة (النترات، الأمونيا، والنتروجين العضوي-Nitro gen org. N) [4]، إضافة إلى معرفة طريقة تثبيت الحمأة، ونوعية المناخ. فمثلاً نوعية الحمأة عند التثبيت بالكلس تكون فقيرة بالنتروجين والفوسفور والمعادن وغنية بالكلس [44].

الجدول (4-6-17-1) يعطي أمثلة على إحتياج المغذيات لبعض المحاصيل (كغ/هكتار.عام). كما يجب أن لا يزيد تركيز المغذيات - (النتروجين الفوسفور البوتاسيوم) عن حدود معينة، بحيث يمكن أن تتراكم هذه المواد في التربة إلى حدود غير مقبولة، علماً أن التركيز المطلوب يختلف حسب نوعية المحاصيل كما ذكرنا سابقاً.

الجدول (4-6-17-2) يوضح معدّل تحوّل مركبات النتروجين في الحمأة إلى حالة معدنية حسب طريقة التثبيت الأساسية لهذه الحمأة، وذلك في العام الأول من التطبيق.

الجدول (4-6-17-1) معدل إستهلاك المغذيات من قبل بعض المحاصيل [2], [15], [4], [7]

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

الجدول (4-6-17-2) معدّل تحوّل مركبات النتروجين إلى الحالة المعدنية [EPA,35]

Biooslid type نوع الحمأة	Nitrogen MR نتروجين
	% in the first year of application نسبة تمعدن النتروجين في أول سنة للتطبيق
Anaerobically digested هضم لاهوائي	15%
Aerobically digested هضم هوائي	25%
Composted أسمَدة	10%

4-6-18. الحدود المسموحة للتلوث في حمأة مياه الصرف المطبقة على الأراضي.

تحمل الحمأة القادمة من محطات المعالجة ثلاث ملوثات رئيسية هي:

- العناصر النذرة والمعادن الثقيلة Trace Elements and Heavy Metals.
- المركبات العضوية الخطرة Organic toxic material.
- مسببات الأمراض pathogens.

4-6-18-1. العناصر النزرة والمعادن الثقيلة Trace Elements and Heavy Metals

تعتبر العناصر النزرة والثقيلة (سنسميها كلها مجازاً المعادن الثقيلة) في الحمأة ذات أهمية خاصة، فيما يتعلق بآثارها على صحة الإنسان والحيوان والنبات والكائنات الحية في التربة. وقد ذكرنا سابقاً (كمثال) الحدود المفروضة من EPA وتوجيه الإتحاد الأوربي لسقف المعادن في الحمأة قبل التطبيق. وقد إعتُبر أنه لا يوجد مخاطر عند تطبيق الحمأة على الأراضي بتراكيز السقف، والتراكمي الواردة في الجدول (4-6-18-1-1)، الذي يبيّن تركيز المعادن الثقيلة في الحمأة المطبقة في حالات التسميد الزراعي، وكذلك معدّل تحميل الحمأة على الأراضي (كوزن جاف).

الجدول (4-6-18-1-2) من FAO يبيّن الحد الأقصى للتراكيز المسموح بها للمعادن الثقيلة المحتملة في أنواع التربة بعد استخدام الحمأة، وحسب درجة PH للتربة والحد الأقصى لمعدلات الإضافة السنوية.

لا يمكن تطبيق هذه الحمأة إذا تم تجاوز أي من هذه العناصر أحد المعايير في الجدول (4-6-18-1-1) وكذلك إذا كان الحد التراكمي يقترب من تلك الأرقام في الجدول.

يتم استخدام الحمأة في التسميد بتوزيعها وفق المقنّنات الواردة في الجدول (4-6-17-1)، ووفق الحدود الواردة في الجدول (4-6-18-1-1) الذي يشمل حالات التطبيق التالية:

الجدول (4-6-18-1-1) سقف تركيز المعادن ومعدلات التحميل لتطبيق الحمأة على الأرض [12]، [FAO]

	Ceiling concentra-tion سقف التركيز	Cumulative Pollutant loading rate معدل التحميل التراكمي للملوثات	pollutant centration for exceptional quality تركيز الملوثات للحصول على جودة إستثنائية ليناسب نوعية A من الأراضي *	Annual pollutant loading rate معدل تحميل الملوثات السنوي	The maximum annual average rate over 10 years (FAO) الحد الاقصى للمعدل الوسطي السنوي خلال 10 سنوات
Pollutant / الملوث	mg/kg	kg/ha	mg/kg	kg/ha	kg/ha
Arsenic	75	41	41	2.0	0.7
Cadmium	85	39	39	1.9	0.15
Chromium	-	-	-	-	15
Copper	4300	1500	1500	75	7.5
Lead	840	300	300	15	15
Mercury	57	17	17	0.85	>0.1
Molybdenum	75	-	-	-	0.2
Nickel	420	420	420	21	3
Selenium	100	100	100	5.0	0.15
Zinc	7500	2800	2800	140	15
Fluoride (FAO)					20

*تم تعريف فئة من الحمأة المعالجة (ذات الجودة الإستثنائية) على أنها تلك الحمأة التي تفي بمعايير المعادن، ومعايير الحد من مسببات الأمراض من الفئة A, ومعايير تقليل ناقلات الأمراض [المحددة في لوائح EPA 503].

- سقف التركيز في الأراضي الزراعية Ceiling concentration mg/kg
- نسبة تحميل التلوث التراكمي في الأراضي الزراعية
  Cumulative pollutant Loading rate Kg/ha
- تركيز الملوثات للحصول على جودة استثنائية
  pollutant centration for exceptional quality quality

- معدل التحميل السنوي للأراضي الزراعية
  Annual pollutant loading rate kg/h/year
- 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 الإنتباه إلى أن إنخفاض PH في التربة الحمضية التي تطبّق عليها الحمأة، والتي تحوي معادن (الزنك والنحاس والنيكل) سيؤدي إلى تلف المحاصيل أو ضعف إنباتها، فيجب ان نتوخّى في هذه الحالة أن تكون محتويات الحمأة ليست ضمن الحدود العليا، وأن تحوي أقل ما يمكن من المعادن المذكورة. [FAO1992].

الجدول (4-6-18-1-2) الحد الأقصى للتراكيز المسموح بها للمعادن الثقيلة المحتملة في التربة حسب درجةPH ، بعد استخدام حمأة مياه الصرف، والحد الأقصى لمعدلات الإضافة السنوية [5] FAO 1992

Potentially toxic element (PTE) الملوث المحتمل	Maximum permissible concentration of PTE in soil (mg/kg dry solids) الحد الأقصى المسموح				Maximum permissible average annual rate of PTE addition over a 10 year period (kg/ha) الحد الأقصى السنوي المسموح على مدة 10 سنوات
	PH 5.0 <5.5	pH 5.5<6.0	pH 6.0-7.0	PH > 7.0	
Zinc	200	250	300	450	15
Copper	80	100	135	200	7.5
Nickel	50	60	75	110	3
Cadmium	3				0.15
Lead	300				15
Mercury	1				0.1
Chromium	400 (prov.)				15 (provisional)
Molybdenum	4				0.2
Selenium	3				0.15
Arsenic	50				0.7
Fluoride	500				20

4-6-18-2. المركبات العضوية السامّة في الحمأة 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 في الحمأة وتنتقل منها إلى البيئة [44]، والعديد من هذه المركبات سامة أو مسببة للسرطان للكائنات التي تتعرض لتراكيز حرجة خلال فترات زمنية معينة. إن وجود المواد العضوية في الحمأة يسبب قلقاً كبيراً لأنها عموماً ثابتة يصعب تحلّلها، وهي أيضاً تتراكم بيولوجيا.

ذكرنا في الجدول (4-5-2-6) توجيه الإتحاد الأوربي بإعتماد حدود الملوّثات العضوية وتطبيقها في بعض الدول. وتجدر الإشارة إلى أن تطبيق الحمأة يعتمد كذلك على كمية هذه المركبات في التربة كما سيرد لاحقاً.

4-6-19. طرق تطبيق الحمأة على الأراضي Land Application of sludge (Biosolids)

تتراوح طرق تطبيق الحمأة على الأراضي من الحقن المباشر إلى نشر الحمأة السطحي. وتعتمد طرائق التطبيق على حالة الحمأة (سائلة، أو منزوعة الماء)، وعلى التضاريس، والموقع، ونوع الغطاء النباتي الموجود (المحاصيل الحقلية السنوية، محاصيل الأعلاف الحالية، والأشجار، الخ).

يجب تطبيق الحمأة بعد عملية معالجة مسببات الأمراض في غضون8 ساعات، كما يجب أن تمزج في التربة في غضون 6 ساعات بعد التطبيق [37].

هناك عدد كبير من أشكال منتجات الحمأة بما في ذلك الشكل السائل أو كعكة الحمأةcake أو البيليت pellet، وقد تأتي الحمأة السائلة مباشرة من الهاضم دون المرور بأي عملية نزع للماء/ أو التجفيف، وبالتالي فهي تحتوي على نسبة عالية من الماء (94-97 %) ويكون محتواها من المواد الصلبة الجافة منخفض (3-6 %) [44].

كما يمكن إنشاء حمأة ذات قوام اسفنجي رطب، حيث يمكن عملها بإستعمال حمأة سائلة مهضومة أو حمأة سائلة غير مهضومة تُثبّت قلوياً

(alkali-stabilized) بواسطة الكلس السريع (أكسيد الكالسيوم) (Calci-um oxide) أو بواسطة (ماءات الكالسيوم) (Calcium hydroxide) [44]. وبشكل عام تحتوي الحمأة في شكل الكيك على نسبة مواد صلبة تتراوح من 11 إلى 40%. ويتم إنتاج الحمأة على شكل البيليت عن طريق التسخين والتجفيف إلى محتوى من المواد صلبة قد يصل 90%. وبذلك يتم تقليل حجم ووزن الحمأة، ويزيد من قيمتها الاقتصادية عن طريق تقليل تكاليف النقل والتخزين، كما يسهل التعامل معها حيث يمكن نشرها بواسطة المعدات الزراعية التقليدية.

- إن الحمأة المنزوعة الماء أكثر ثباتاً، ولكنها أبطأ في إطلاق المغذّيات، في حين أن الحمأة السائلة أسرع في توفير المواد المغذية للنبات. الشكل (4-6-19-1) عملية توزيع الحمأة على الأراضي، a السائلة،b الجافة، c حقن الحمأة تحت التربة.

a b c

الشكل (4-6-19-1) عملية توزيع الحمأة على الأراضي a. السائلة، b. الجافة، c. حقن الحمأة تحت التربة.

4-6-19-1. كيفية تطبيق الحمأة السائلة على الأراضي.

إن تطبيق الحمأة السائلة على الأراضي سهل جداً، ويزيد الطلب عليها أكثر من الحمأة المنزوعة الماء، وذلك بسبب سهولة التعامل مع الحمأة السائلة، حيث يمكن نقلها وتوزيعها عن طريق الضخ.

إن تركيز المواد الصلبة النموذجي للحمأة السائلة المطبقة على الأراضي من 1 % إلى 10% [4].

ويتم تطبيق الحمأة السائلة على الأراضي عن طريق استخدام آلات خاصة، أو باستخدام طرق مشابهة لتلك المستخدمة في توزيع المياه (ري بالثقالة أو ري بالرش).

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

كما أن تطبيق الحمأة السائلة هو الأكثر شيوعاً في حقول المحاصيل العلفية السنوية، وتتم العملية وفق ما يلي:

1. نشر الحمأة السائلة قبل الزراعة.
2. السماح للحمأة بأن تجف جزئياً.
3. مزج الحمأة بالتربة عن طريق القرص أو الحراثة العادية.

تتكرر العملية بعد الحصاد.

لا يسمح بالتسميد بالحمأة غير المثبّتة.

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

الجدول (4-6-19-1-1) يبين كمية الأمونيا المتاحة للنبات من الحمأة حسب نوع التطبيق و PH

الجدول (4-6-19-1-1) كمية الأمونيا المتاحة للنبات من الحمأة حسب نوع التطبيق و PH

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

4-6-19-2. كيفية تطبيق الحمأة منزوعة الماء على الأراضي.

يُشبه تطبيق الحمأة المثبتة والمنزوعة الماء على الأرض، تطبيق السماد الحيواني العادي شبه الصلب. ويُعد 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% [4].

تُنشر الحمأة منزوعة الماء بواسطة صندوق موزّع الحمأة الذي يركب على جرّار زراعي (تركتور) أو آلة نشر روث الحيوانات المركبة على جرار، أو نثر السماد متبوعاً بحراثة عادية أو بالقرص، الشكل (4-6-19-2-1)، بالنسبة لمشاريع تطبيق الحمأة الكبيرة، يمكن استخدام الآلات الهندسية الكبيرة.

الشكل (4-6-19-2-1) نثر الحمأة المنزوعة المياه على الأراضي الزراعية
[National biosolids data projects]

4-6-19-3. إصلاح الأراضي وتحسين نوعيتها.

بسبب تدخل الإنسان في الطبيعة نرى أن هنالك مساحات كبيرة من الأراضي المضطربة disturbed Land التي يمكن أن تستفيد من تطبيق الحمأة مثل: [37]

- مقالع الغضار (مادة ترابية ذات حبيبات دقيقة، غنية بالمعادن, تصبح لزجة عندما تبتل، صلبة عندما تجف، ومزججة عندما تتعرض لدرجات حرارة عالية). والمواد الحصوية والحجر والفوسفات والفحم والمعادن الأخرى.
- يمكن أن تستفيد مناطق البناء من التطبيق مثل حفريات مقاطع الطرق وحفر الإستعارة.
- الغابات المقطوعة أو المحروقة.
- تحويل الكثبان الرملية ومدافن النفايات، والمواقع التي دمرتها الأبخرة السامة والغبار الملوث إلى مواقع مفيدة.

4-6-19-3-1. التطبيق على الأراضي المضطربة Disturbed land

هنالك نوعان من التطبيق على الأراضي المضطربة:

1- استصلاح الأراضي وإعادة إستعمالها.

يتكون من تطبيق لمرة واحدة، ويتراوح ما بين (120 إلى 240 طن جاف/ هكتار) [4].

2- تحسين خصوبة التربة.

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

في دراسة أجراها [Zerzghi etal] ذكر أنه خلال 20 عاماً متتالياً من تطبيق حمأة الفئة B (وهو تصنيف من EPA يهتم فقط بالمعادن الثقيلة B ومسببات الأمراض، بيد أن سقف التلوُّث المقبول فيه عالي) على التربة في الصحراء جنوب غرب أريزونا، وجد أنه لم يكن لها أي تأثير ضار على التنوع الميكروبي للتربة soil microbial diversity, [44].

4-6-20. مواصفات مطلوبة للحمأة المعدة للتطبيق على الأراضي.

- يطلب أن تكون نسبة المواد المتطايرةvolatile solids في الحمأة 38% على الأقل [37]، وهذه النسبة نحصل عليها بالهضم اللاهوائي والهوائي والكيميائي.
- يحدث تخفيض إضافي للمواد الصلبة المتطايرة خلال المعالجة في أحواض التجفيف أو البحيرات، أو التسميد.
- بالنسبة للحمأة الناتجة عن المعالجة الهوائية يُطلب أن يكون معدّل إمتصاص الأوكسجين(SOUR) المحدّد عند 20 درجة مئوية هو 1.5 ملغ من الأوكسجين / ساعة / غ للمواد الصلبة الكلية [37].

4-6-21. إجراءات تحديد معدّل تطبيق الحمأة (المواد الصلبة الحيوية) Procedures For Determining Biosolids Application Rate

4-6-21-1. تصميم معدّلات التحميل Design Loading Rates

يمكن أن تكون معدّلات التحميل التصميمية لتطبيق الحمأة على الأرض محدودة بالملوثات (المعادن الثقيلة)، أو بالنيتروجين. يعتمد معدل التحميل طويل المدى على المعادن الثقيلة، أما التحميل السنوي (قصير المدى) فيعتمد عادةً على معدل تحميل النيتروجين [12].

1- حساب التطبيق وفقاً لكمية النتروجين.

يتم تحديد معدّلات تحميل النيتروجين عادةً لتتناسب مع النيتروجين الذي توفّره الأسمدة التجارية [12].

نظراً لأن الحمأة البلدية تمثل سماداً عضوياً بطيء الإطلاق، فيجب عمل مزيج من الأمونيا والنيتروجين العضوي وفقاً للمعادلة المشتركة (4-6-21-1-1).

$$L_N = [(NO_3) + K_v(NH_4) + f_n (N_o)]F \qquad (4\text{-}6\text{-}21\text{-}1\text{-}1)$$

L_N: النتروجين المتوفر للنبات في سنة التطبيق، غ N/ كغ.

NO_3 : نسبة نترات النيتروجين في المواد الصلبة الحيوية (الحمأة).

K_v: عامل التطاير لضياع الأمونيا.

0.5: الحمأة السائلة المطبقة على السطح.

0.75: الحمأة منزوعة الماء المطبقة على السطح.

1.0: للسائل المحقون أو الحمأة المنزوعة الماء.

NH_4: نسبة نيتروجين الأمونيا في الحمأة.

f_n : عامل التمعدُن للنيتروجين العضوي.

0.5: للطقس الدافئ والحمأة المهضومة.

0.4: للطقس البارد والحمأة المهضومة.

0.3: للطقس البارد أو الحمأة المسمدة.

N_o : النسبة المئوية للنيتروجين العضوي في الحمأة.

F: عامل التحويل، 1000 غ/كغ من المواد الصلبة الجافة.

لكي نستخدم المعادلة (4-6-21-1-1) لابد من معرفة طريقة تطبيق الحمأة، ومحتوى النيتروجين الذي في الحمأة (النترات والأمونيا والعضوي) (nitrate, ammonia, and organic)، ونوعية التثبيت، ونوع المناخ. إذ يؤدي استخدام عوامل التمعدن إلى تبسيط الطريقة المستخدمة سابقاً لحساب كمية النيتروجين العضوي المتمعدن في كل عام، وإضافة الإجمالي للمعادل السنوي.

إن استخدام المعادلة. (4-6-21-1-1) يكون مناسباً إذا تم تطبيق الحمأة على موقع واحد مرة كل 2 إلى 3 سنوات. ثم يتم حساب معدل التحميل على أساس تحميل النيتروجين وفق المعادلة (4-6-21-1-2) [12].

$$L_{SN}=U/N_PF \qquad (4\text{-}6\text{-}21\text{-}1\text{-}2)$$

حيث:

L_{SN} : معدل تحميل الحمأة استناداً إلى N ، كغ/هكتار.عام.

U: كمية امتصاص المحاصيل للنيتروجين، كغ/هكتار، أنظر الجدول (4-6-17-1)، جدول (4)، في الملحق.

N_P :النيتروجين المتوفر في الحمأة، غ/كغ.

F : عامل التحويل، 10^{-3} كغ/غ.

2- حساب تطبيق الحمأة على أساس تحميل الملوثات.

يمكن إستعمال الحدود المذكورة في الجدول (4-6-18-1-1) لحساب معدّل تحميل الحمأة على أساس تحميل الملوثات، وفق المعادلة (4-6-21-1-3).

$$L_s = L_c/CF \qquad (4\text{-}6\text{-}21\text{-}1\text{-}3)$$

حيث:

L_s: الحد الأقصى لكمية الحمأة (المادة الصلبة العضوية) التي يمكن استخدامها سنوياً، كغ/هكتار.

L_c: الحد الأقصى لكمية الملوثات التي يمكن تطبيقها في السنة، كغ/هكتار.عام.

C: تركيز الملوثات في الحمأة. (ملغ/كغ).

F: عامل التحويل، 10^{-6}كغ/ملغ.

مساحة الأرض. يتم عمل مقارنة بين القيم في المعادلتين (4-6-21-1-2) و (4-6-21-1-3) لتحديد الحد الأقصى لمعدّل تحميل الملوثات، ومنه نقوم بحساب مساحة الأرض اللازمة وفق المعادلة (4-6-21-1-4).

$$A= B/L_S \qquad (4\text{-}6\text{-}21\text{-}1\text{-}4)$$

A: منطقة التطبيق المطلوبة، هكتار.

B: إنتاج الحمأة، كغ من المواد الصلبة الجافة / عام.

مثال: تحميل المعادن في تطبيق الحمأة على الأرضي.

نريد تطبيق حمأة معالجة على أرض زراعية، تركيز المعادن في الحمأة (ملغ/كغ) وفق ما يلي:

Zn = 3100 , Se = 15 , Ni = 350 , Hg = 5 , Pb = 250 , Cu = 1200 , Cd = 30 , As = 45

حدّد فيما إذا كانت الحمأة مقبولة للتطبيق على الأرض.

الحل:

1. مقارنة تركيز المعادن المذكورة أعلاه بمحتوى السقف (العمود 2) في الجدول (4-6-18-1-1). وتركيز الملوثات للحصول على جودة إستثنائية (العمود 4).

A . جميع تراكيز المعادن أقل من الحدود القصوى في العمود 2، والحمأة مناسبة للاستخدام على الأراضي.

B. يتجاوز الزرنيخ والزنك قيم الجودة الإستثنائية، منه نجد أن حسابات الأحمال السنوية ضرورية.

2. حساب معدّل تحميل الحمأة السنوي المسموح به باستخدام المعادلة (4-6-21-1-3)، وذلك للمعدنين المذكورين باستخدام معدلات تحميل الملوثات السنوية في الجدول (4-6-18-1-1).

A- معدل التحميل إعتماداً على الزرنيخ Arsenic (L_c = 2 كغ/هكتار. سنة).

$$L_S = L_c/(C \times 10^{-6}) = L_S = 2/(45 \times 10^{-6}) = 44{,}444 \text{ kg/h.y}$$

B- معدل التحميل المعتمد على الزنك Zinc (L_c = 140 كغ/هكتار. سنة).

$$L_S = L_c/(C \times 10^{-6}) = L_S = 140/(3100 \times 10^{-6}) = 45{,}161 \text{ kg/h.y}$$

من مقارنة معدّلي تحميل الحمأة في الحالتين السابقتين نجد أن القيمة (44.444 kg/h.y) والمعتمدة على تلوّث الزرنيخ arsenic هي التي يجب اعتمادها.

عادةً ما تكون حمولة النيتروجين هي الأكثر تقييداً من حمولة المعادن. ووفقEPA95 إذا تجاوز تحميل النتروجين (20طن/هكتار.عام)، فإن الزرنيخ هو من سيحدّد كمية التطبيق [12].

4-6-22. تطبيق حمأة مياه الصرف في الوطن العربي
Sludge Application in the Arabic country

تعاني الحمأة في الوطن العربي من التلوّث بالمعادن الثقيلة والمركبات العضوية الخطرة الناتجة عن التلوث الصناعي الذي يصل الى محطات معالجة مياه الصرف بسبب عدم ضبط ومراقبة المنشآت الصناعية في القطاع العام والخاص. وبشكل عام، ورغم المحاولات لضبط التلوث من المصدر الا أنه أغلب انواع الحمأة تعاني من التلوث بالمعادن الثقيلة والمركبات العضوية الخطرة، وبالتالي تصبح غير صالحة للاستعمال الزراعي أو حتى في أعمال استصلاح الأراضي خوفاً من أن تصل هذه المواد الملوثة الى التربة والمياه الجوفية.

اذاً لضمان نجاح تطبيق الحمأة في الزراعة في الوطن العربي، من الضروري إتباع أفضل الممارسات العالمية فيما يتعلق بمعالجة الحمأة، وتطبيق معايير صارمة للتحكم في الملوثات من المصدر، وضمان أن تكون الحمأة آمنة للاستخدام الزراعي.

1. في تونس قبل عام 1998، كان استخدام الحمأة في الزراعة كبيراً، وتجاوز ال 60% من الحجم المنتج، ولكن تطبيقه تم بطريقة غير خاضعة للرقابة مما أدّى إلى حظر انتشاره. ولكن مع وضع معيار (NT-106.20)، تم إعادة استخدام الحمأة بشكل متواضع في الأراضي المعدّة للتجارب فقط. وفي الوقت الحاضر، يتم إسترداد 3260 طناً فقط من إجمالي 130.000 متر مكعب/ سنة من الحمأة المجفّفة في أسرّة التجفيف الرملية حتى عام 2016 مع استمرار في الانخفاض.

[How Can Sewage Sludge Use in Sustainable Tunisian Agriculture Be Increased? by Nidhal Marzougui and others 2022]

2. الإمارات العربية المتحدة: جزء من رؤية الإمارات المستقبلية يشمل تبنّي أساليب زراعية مستدامة، واستخدام الحمأة هو جزء من هذه الإستراتيجية لتحسين إستدامة القطاع الزراعي وتقليل النفايات. وقد أنتجت الامارات 181,716.1الف طن/عام 2022 [Federal Competitiveness and Statistics Centre]. وتقوم الإمارات بإنتاج حمأة معالجة يمكن استخدامها في الزراعة، والبنية التحتية لهذه المعالجة تتحسن مع الوقت بفضل الاستثمار في التقنيات الحديثة. هناك تجارب على استخدام الحمأة في الزراعة لتحسين خصوبة الأراضي المزروعة بالأعلاف والنباتات الصحراوية، هذه التجارب تساعد على تحسين فهم تأثير استخدام الحمأة في المناخات الجافة. في بعض الإمارات تستعمل الحمأة في الزراعة في بعض الأراضي من نوع الكومبوست أو المجففة.
3. الأردن: لا يمكن إعادة استخدام الحمأة في الأردن إلا إذا كانت جودة الحمأة متوافقة مع المعايير الأردنية (JS 1145, 2016). حالياً، لا يتم تثبيت الحمأة في معظم محطات معالجة مياه الصرف. (بشكل عام)، يتم تجفيف الحمأة في ما يسمى بأسرّة تجفيف الحمأة، ويتم تخزينها إما في محطة معالجة مياه الصرف، أو نقلها إلى مكب النفايات [AECOM، 2014]. وقد وصلت كمية الحمأة المنتجة في 2010 إلى حوالي 300.000 م^3 سائلة و15.000 م^3 جافة. وتجرى بحوث عديدة في الجامعات، مع الإستعانة بالخبرات العالمية، من أجل الوصول لأفضل الحلول لإدارة الحمأة كالتسميد أو الإستفادة من طاقتها الحرارية [H.A. Abu Qdais 2018].
4. في المملكة العربية السعودية يتم إنتاج ما يقرب من 500 طن من الحمأة الجافة يومياً. إن دفن النفايات خارج الموقع هو الممارسة الحالية لإدارة الحمأة الناتجة عن النفايات. يتم جمع الحمأة الناتجة عن محطات معالجة مياه الصرف الصحي ونقلها إلى مواقع دفن النفايات. [https://data.gov.sa/ 2022]. ولكن هنالك بعض المشاريع التي تعتمد على تدوير

الحمأة المجفّفة مثل صناعة الطوب وغيره.

5. مصر: تمتلك مصر بنية تحتية متطورة نسبياً لمعالجة مياه الصرف الصحي، ويتم إنتاج كميات كبيرة من الحمأة سنوياً. وتسعى بعض مشاريع المعالجة إلى تطوير تقنيات لتحسين جودة الحمأة، وجعلها آمنة للاستخدام الزراعي. وتقوم مراكز الأبحاث الزراعية والجامعات بدراسات عديدة حول استخدام الحمأة في تحسين خصوبة الأراضي الزراعية. هناك تجارب ناجحة في استخدام الحمأة لزراعة محاصيل مثل القمح، الذرة، والخضروات، مع ملاحظة زيادة في الإنتاجية، وتجرى تجارب على استخدام الحمأة لتحسين التربة الفقيرة.
6. في الجزائر: أظهرت بعض الدراسات أن استخدام الحمأة المعالجة يمكن أن يحسّن من خصوبة التربة، ويسهم في زيادة إنتاجية المحاصيل، هناك جهود في الجزائر لإجراء بحوث متقدمة تهدف إلى تحسين طرق معالجة الحمأة لجعلها أكثر أماناً وفعالية للاستخدام الزراعي. تسعى هذه البحوث إلى تقليل التلوّث بالمعادن الثقيلة أو المواد الضارة، التي قد تؤثر على المحاصيل وصحة الإنسان.
7. سورية: كما هو الحال في العديد من البلدان، قد تحتوي الحمأة في سورية على ملوّثات مثل المعادن الثقيلة، أو المواد العضوية الضارّة القادمة من الصناعة عموماً، والتي قد تؤثر على نوعية التربة والمياه والمحاصيل. لذلك، من الضروري مراقبة مياه الصرف الداخلة الى محطات المعالجة، وأن تخضع الحمأة لعمليات معالجة صارمة قبل استخدامها في الزراعة لضمان جودتها. تقوم مراكز البحوث الزراعية، والجامعات بدراسات حول استخدام الحمأة في تحسين خصوبة التربة أو استصلاح الأراضي. تهدف هذه الدراسات إلى تقييم فعالية الحمأة، وتحديد التحديات المرتبطة بها، مثل تأثيرها على التربة والمياه الجوفية.
8. المغرب: يستثمر المغرب في محطات معالجة مياه الصرف، بما في ذلك إنتاج الحمأة المعالجة لاستخدامها في الزراعة. هذه المحطات تُعد مصدراً

رئيسياً للحمأة التي يمكن استخدامها في تحسين خصوبة التربة الزراعية. وهناك العديد من البرامج والمشاريع التي تدعمها منظمات دولية تهدف إلى تحسين إدارة المخلفات في المغرب، وتطوير تقنيات معالجة الحمأة لتصبح أكثر أماناً وفعالية في الزراعة. كما أن بعض المزارعين في المغرب قد بدأوا في استخدام الحمأة المعالجة في مزارعهم بهدف تحسين إنتاجية التربة. هذه التجارب، إذا نجحت، يمكن أن تشجع على التوسُّع في استخدام الحمأة في الزراعة على نطاق أوسع.

9. السودان: مثل باقي الدول، قد تحتوي الحمأة على ملوّثات مثل المعادن الثقيلة أو الملوثات العضوية الخطرة، أو مسببات الأمراض إذا لم تتم معالجتها بشكل صحيح. هذه المواد قد تشكّل خطراً على التربة والمياه الجوفية، وبالتالي على صحة الإنسان والحيوان، خاصة في المناطق التي تعتمد بشكل كبير على المياه الجوفية. والسودان يعاني من بنية تحتية غير كافية لمعالجة مياه الصرف في بعض المناطق، مما يجعل إنتاج حمأة معالجة بشكل صحيح وآمن محدوداً. هذا يعني أن استخدام الحمأة في الزراعة قد يقتصر على المناطق التي تتوفّر فيها محطات معالجة متقدمة. وقد تسهم الجامعات والمراكز البحثية في السودان في إجراء دراسات حول استخدام الحمأة في تحسين خصوبة الأراضي الزراعية لتوفُّر الكوادر العلمية والبحثية المتمكنة.

7-4. التخلص من الحمأة في المطامر Landfill sludge disposal

- لا يعد طمر الحمأة هو الحل المثالي للتخلص منها، ولكن يتم طمر الحمأة للأسباب التالية:
- إما لعدم وجود تصريف تجاري لها.
- أو لعدم مطابقتها للمعايير المطلوبة للتطبيق على الأراضي.
- أو لا يوجد في الأساس نظام عام لإدارة الحمأة.

وبشكل عام، تتشارك أغلب الدول النامية برمي الحمأة في المطامر لعدم

مطابقتها للمعايير، ولعدم وجود نظام لإدارة الحمأة.

وينتج عن المطامر رشاحةleachates شديدة التلوّث، الجدول (4-7-1) يبيّن المكوّنات النموذجية للمادة الراشحة (الرشاحة) من المطامر.

وتعد مطامر النفايات حلاً مرناً لأنها قد تستوعب أحجام الحمأة المتغيّرة، كما تستوعب الطلبات الزائدة في أي وقت، وتعمل بشكل مستقل عن العوامل الخارجية.

عند إختيار الطمر كحل نهائي للتخلّص من الحمأة، فإن خصائص الحمأة مثل درجة الثبات، أو مستوى مسببات الأمراض لا تعتبر مسألةً رئيسية.

الجدول (4-7-1) المكونات النموذجية للرشاحة من المطامر [12]

Parameter	Concentration
TOC	100 - 15000 mg/L
COD	100 - 24,000 mg/L
Cd	0.001-0.2 mg/L
Cr	0.01-50 mg/L
Zn	0.0001 -0.0011 mg/L
Hg	0.1 - 10 mg/L
Pb	0.1 - 10 mg/L
Faecal coliforms	2,400 - 24,000 MPN/100mL

إن أحد الإعتبارات الرئيسية لتنفيذ عملية تعبئة المطامر الأحادية (مخصّص للحماة) monofills هو توفُّر أرض مناسبة غير بعيدة عن محطة معالجة مياه الصرف. علماً أن إختيار الموقع يعتمد على دراسة موسّعة، تطبّق فيها عدد كبير من المعايير لكافة التخصّصات لتحديد أفضل خيار بيئي واقتصادي، إلى جانب الحصول على موافقة وكالات البيئة والإمتثال الكامل للمعايير.

إن أحد الأنشطة الأولية والأساسية التي يجب إنجازها في مشروع مطمر النفايات هو تقييم الأثر البيئي EIA المرتبط بمراحل التنفيذ والتشغيل

المختلفة للمطمر.

يسمح تقييم الأثر البيئي بتعريفنا بالمشروع، ومعرفة التدابير اللازمة للحماية والتحكّم في التأثيرات السلبية وتقليلها. ويعد إختيار موقع المطمر أمراً بالغ الأهمية، إذ يمكن التخلّص من العديد من التأثيرات، أو التقليل منها إذا كان الموقع المختار يوفر ميزات مناسبة لإنشاء المطمر. ومن الضرورة الإستماع إلى السكان المجاورين لموقع المطمر المستقبلي، وأخذ مخاوفهم في الإعتبار قبل وخلال مراحل التصميم والبناء.

وتشير العديد من التجارب إلى أن تجاهل دراسة الأثر البيئي، وعدم أخذ رأي وموافقة السكان المجاورين قد يؤدي إلى إعتراض الأهالي وإيقاف المشاريع نتيجة لذلك. فعلى سبيل المثال، قامت ولاية الخرطوم بالتخطيط لإنشاء محطة معالجة مياه الصرف باستخدام طريقة برك الاكسدة waste-water stabilization ponds وبعد أن قطعت الدراسات الأولية مراحل متقدمة من قبل مختلف الجهات المختصة، تم إيقاف المشروع بسبب عدم تفهم السكان المجاورين ورفضهم لها. جاء هذا الرفض نتيجة لتأخُّر عملية استشارتهم وعدم إشراكهم في القرار في الوقت المناسب.

عندما لا يتم تصميم أو تشغيل المطمر بشكل صحيح فقد يتسبّب في حدوث تلوث:

1. في الهواء، بسبب الروائح الكريهة والغازات السامة أو المعلقات.
2. في المسطحات المائية، من خلال تصريف المياه المتسربة أو الأمطار أو من عمليات نقل الحمأة.
3. تلوث التربة والمياه الجوفية، عن طريق رشح السوائل.

4-7-1. الشروط المطلوبة لطمر الحمأة.

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

- يجب التقيُّد بمواصفات الحمأة المصرفة إلى المطامر.
- يجب الحصول على ترخيص أصولي من الجهات البيئية المسؤولة المحلية.
- بشكل عام، لا توجد قيود بالنسبة للعوامل الممرضة pathogen.

- يُطلب أن تكون الحمأة مثبّتة.
- ضرورة نزع المياه من الحمأة قبل الطمر لتقليل حجم النقل، وللتحكُّم في إنتاج الرشاحة الناتجة عن المطمر.
- يجب أن يكون المطمر مدروساً لإستقبال الحمأة وكذلك النفايات الصلبة الأخرى.
- يتم فرش الحمأة في منطقة محددة لهذه الغاية، ويتم ضغطها بواسطة مدحلة، وتُغَطّى بطبقة من التربة النظيفة بسماكة (35سم) [12].
- يجب التقيُّد بمواصفات السوائل الناتجة عن مطامر الحمأة، مثال الجدول (4-7-1-1) الذي يبيّن الحدود الموصى بها للسوائل الراشحة لأنواع مختلفة من مواد الطمر وفق توجيهات الإتحاد الأوربي [45].
- إن عملية تغطية الحمأة المفروشة في أرض المطمر يجب أن تتم يوميا لتقليل الروائح والحشرات.
- يجب تكرار أخذ العينات على الشكل التالي: عينة واحدة لكل 300 طن حمأة (مواد جافة) [35].

4-7-2. طمر الحمأة إذا كانت غير مناسبة للتطبيق على الأراضي.

إذا تبين أن الحمأة غير مناسبة للاستخدام والتطبيق على الأراضي، فعندها يجب أن نتخلّص منها في المطامر المعدّة والمرخّصة للتخلّص من الحمأة.

يجب أن يتوافق التخلّص في مدافن النفايات (المطامر) مع متطلبات المعايير العالمية والمحليّة.

يجب تحديد تركيز الملوثات الخطرة في الحمأة المصرّفة إلى المطامر، مثل تركيز المعادن الثقيلة والمركبات العضوية الخطرة، وكذلك خصائص رشاحة الحمأة، ويتم ذلك بإختبار الخواص السميُّة لرشاحة الحمأة. مثال الجدول (4-7-1-1) توجيهات الإتحاد الأوربي، وإذا تجاوزت نتائج هذه الإختبارات المعايير المحلية فيجب معالجة الحمأة قبل التخلص منها مرة أخرى.

الجدول (4-7-1-1) الحدود الموصى بها للرشاحة لأنواع مختلفة من مواد الطمر وفق توجيهات الإتحاد الأوربي, [45]

	Inert wastes			Non-hazardous wastes			Hazardous waste acceptable at non-hazardous waste landfills			Hazardous waste acceptable at hazardous waste landfills		
	*L/S = 2 L/kg	L/S = 10 L/kg	C_0	L/S = 2 L/kg	L/S = 10 L/kg	C_0	L/S = 2 L/kg	L/S = 10 L/kg	C_0	L/S = 2 L/kg	L/S = 10 L/kg	C_0
Element or substance			percolation test			percolation test			Percolation test			percolation test
	mg/kg	mg/kg	mg/L	mg/kg	mg/kg	mg/L	mg/kg	mg/kg	mg/L	mg/kg	mg/kg	mg/L
As	0.1	0.5	0.06	0.4	2	0.3	0.4	2	0.3	6	25	3
Ba	7	20	4	30	100	20	30	100	20	100	300	60
Cd	0.03	0.04	0.02	0.6	1	0.3	0.6	1	0.3	3	5	1.7
Cr (total)	–	–	–	4	10	2.5	4	10	2.5	25	70	15
Cu	0.9	2	0.6	25	50	30	25	50	30	50	100	60
Hg	0.003	0.01	0.002	0.05	0.2	0.03	0.05	0.2	0.03	0.5	2	0.3
Mo	0.3	0.5	0.2	5	10	3.5	5	10	3.5	20	30	10
Ni	0.2	0.4	0.12	5	10	3	5	10	3	20	40	12
Pb	0.2	0.5	0.15	5	10	3	5	10	3	25	50	15
Sb	0.02	0.06	0.1	0.2	0.7	0.15	0.2	0.7	0.15	2	5	1
Se	0.06	0.1	0.04	0.3	0.5	0.2	0.3	0.5	0.2	4	7	3
Sn	–	–	–	–	–	–	–	50	–	–	–	–
Zn	2	4	1.2	25	50	15	25	50	15	90	200	60
Cl^-	550	880	450	10000	15,000	8500	10,000	15,000	8500	17,000	25,000	15,000
F^-	4	10	2.5	60	150	40	60	150	40	200	500	120
So_4^{-2}	560	1000	1500	10,000	20,000	7000	10,000	20,000	7000	25000	50,000	17,000
Phenol index	0.5	1	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* liquid-to-solid ratio (L/S)

4-7-3. أنواع مطامر الحمأة Types of landfills for sludge disposal

تصنّف مطامر الحمأة إلى مطامر النفايات الأحادية monofills، والمطامر المشتركة Co-disposal مع النفايات الصلبة البلدية، وهناك عدد كبير من التقنيات المتاحة لبناء وتشغيل وصيانة كلا النوعين كبدائل للتخلّص من الحمأة على الأرض.

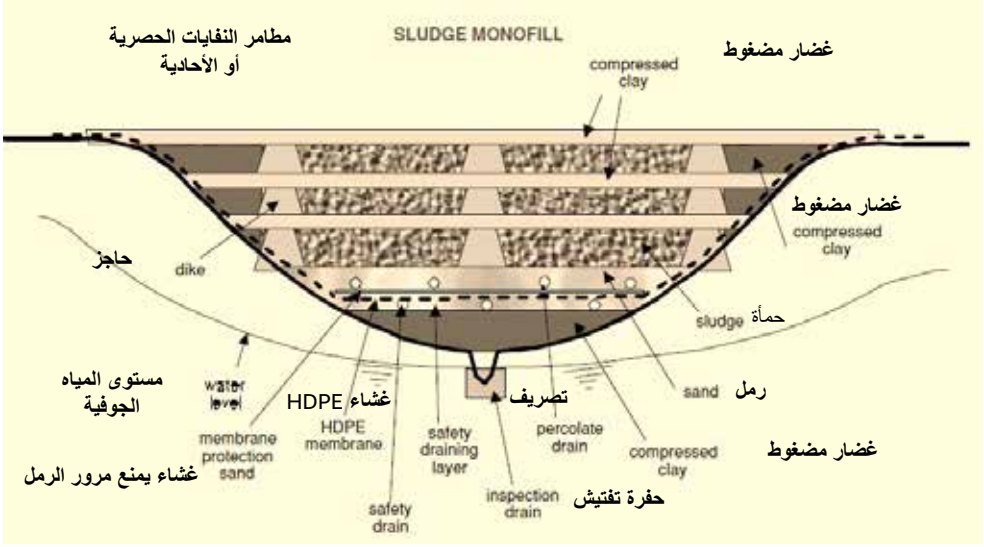
4-7-3-1. مطامر النفايات الحصرية أو الأحادية
Exclusive landfills or monofills

يتم تصميم مطامر النفايات الأحادية (أو مطامر النفايات الحصرية أو مطامر النفايات المخصّصة) لتلقّي حمأة مياه الصرف حصرياً. وعادةً ما يُطلب أن تكون الحمأة مجفّفة حرارياً، وتحتوي على نسبة عالية من المواد الصلبة (>30%). يتراوح عرض معظم مدافن النفايات الأحادية من 1 إلى 15 متراً [8].

1. الخنادق الأحادية الضيّقة (عرضها من 1 إلى 3 أمتار) تسمح بتفريغ الشاحنات دون دخول الشاحنة في خندق المطمر. ويمكن أن يكون تركيز المواد الصلبة للحمأة أقل من 40%، وعندها سيتم بناء جدران إستنادية للخنادق تمنع إنهيار الجدران الترابية (يمكن أن تكون الأطراف من طبقات من الغضار، وقد لا يبنى جدار إستنادي). ويحتاج هذا النوع من المطامر إلى مساحات كبيرة، ولكنه يتمتع بالبساطة في التشغيل ويوصى به لأحجام الحمأة الصغيرة. الشكل (4-7-3-1-1) يبيّن مقطع عرضي نموذجي لمطمر حمأة أحادي مكون من عدة طبقات.
2. تسمح الخنادق الكبيرة (بعرض 3-15 متراً) للشاحنات بالوصول إلى داخل الخنادق لتفريغ الحمأة، وهذا يتطلب أن يكون تركيز المواد الصلبة أعلى من 40% [8].
3. يمكن أن تستوعب الخنادق الضيقة 450 - 2100 طن من الحمأة (أساس جاف) لكل هكتار، أما بالنسبة للخنادق العريضة فيمكن أن تستوعب كمية تتراوح بين 1200 - 5500 طن/هكتار [8].
4. تُوصي EPA بأن تكون نسبة المواد الصلبة أكثر من 15% للمطمر

الأحادي، ويمكن مزجه بالتربة لتحقيق هذه النسبة.

5. الجدول (4-7-3-1-1) مثال للحجم المطلوب للحمأة في المطمر (عامل الطلب، أو طلب الحجم) إعتمادا على المواد الصلبة.



الشكل (4-7-3-1-1) مقطع عرضي لمطمر حمأة أحادي مكون من عدة طبقات [8]

الجدول (4-7-3-1-1) مثال على حجم المطمر المطلوب (عامل الطلب) إعتماداً على المواد الصلبة الكلية في الحمأة [8]

Solids content in the sludge(%) نسبة المواد الصلبة في الحمأة	Volumetric demand per tonne of dry matter (m^3/tonne dry solids) الحجم المطلوب في المطمر
15	6.96
20	5.43
25	4.3
40	2.75
90	1.10
Ashes	0.32

4-7-3-2. التخلص المشترك للحمأة مع النفايات الصلبة البلدية Co-disposal with municipal solid wastes

في التخلّص المشترك للحمأة مع النفايات الصلبة البلدية، يُطلب أن لا تقل نسبة المواد الصلبة في الحمأة عن 20% خوفاً من زيادة كمية السوائل، مما يهدّد في إستقرار المنحدرات الجانبية، وزيادة كبيرة في كمية السوائل.

تُستخدم الجرافات والمداحِل عادةً لتنفيذ الخلايا وضغط النفايات، وعندما تكون الحمأة طرّية تلتصق بالجنازير والمداحِل مما يعيق العمل ويقلّل من قدرتها على الإستجابة للضغط. ويكون معدّل التطبيق في التخلّص المشترك للحمأة مع النفايات الصلبة أقل بالمقارنة مع معدلات التعبئة الأحادية mono-fill، حيث يتراوح بين 200 - 1600 طن/هكتار مواد جافة [8]. وهذه مجرد أرقام مرجعية، حيث يجب تحديد نسبة الحمأة إلى النفايات الصلبة المنزلية كدالّة لخصائص كل من المخلفات ومطمر النفايات نفسه.

بشكل عام، تُنشر طبقة من النفايات الصلبة البلدية بالقرب من الجزء العامل في المطمر، ويتم بعد ذلك توزيع حمأة مياه الصرف على النفايات الصلبة البلدية، وبعد أن يتم خلطها جيداً باستخدام آلات طمر النفايات النموذجية، ومن ثم يتم طمر وضغط وتغطية الخليط. تعتمد نسبة الحمأة إلى نسبة المواد الصلبة على نسبة المياه في الحمأة، وتعتبر نسبة 10% من الحمأة إلى 90% من النفايات الصلبة (من حيث الحجم) أمراً شائعاً، [EPA 2003].

4-7-4. عناصر التصميم الأساسية Basic design elements

يجب أن يتم حساب حجم المطمر على أساس حجم الحمأة التي سيتم التخلص منها خلال فترة معينة، والتي تتراوح عادة بين 15 إلى 20 سنة، وينبغي توقّع التوسّع المستقبلي لنظام صرف الرشاحة Leachate في التصميم، مع الأخذ في الإعتبار الزيادات السنوية في كمية الحمأة.

يجب حساب حجم الحمأة وفقاً للإنتاج اليومي على أساس جاف، حيث سيؤثر محتوى الرطوبة بشدة على النقل والحجم المشغول وتشغيل المطمر،

كما هو موضّح في الجدول (4-7-3-1-1). ويؤدي إرتفاع نسبة الرطوبة في الحمأة إلى شغلها لحجم أكبر، إضافة إلى توقُّع هبوطات كبيرة بسبب فقدان الرشاحة المستمر من الحمأة.

يمكن حساب الحجم الشهري المطلوب على النحو التالي:

$$V = P.C.F \times 30$$

V: حجم التعبئة المطلوب للحمأة في شهر واحد (م^3/شهر).

P: إنتاج الحمأة اليومي على أساس وزن جاف (طن/يوم).

C: عامل تغطية التربة اليومي (عادة 1.2 إلى 1.5).

F: عامل الطلب (عامل الحجم) (م^3 من المطمر لكل طن من الحمأة على أساس جاف).

مثال:

إحسب المساحة المطلوبة في العام لمطمر معد لطمر الحمأة، من أجل مدينة عدد سكانها 100 الف نسمة. أبعاد الخنادق

3m × 100 m× 2.5 m. علماً أنه تم معالجة الحمأة بواسطة مفاعل (UASB)، ثم تبعها عملية نزع للماء.

قم بتقدير مساحة المطمر اللازمة سنوياً للتخلّص من الحمأة المنزوعة المياه باستخدام الخنادق الضيقة (3 م):

المعطيات:

- إنتاج المواد الصلبة للحمأة المنزوعة الماء: 1500 كغ/يوم.
- حجم الإنتاج اليومي للحمأة المنزوعة الماء: 4 م^3/يوم.
- كثافة الحمأة: 1050 كغ/م^3.
- أبعاد الخندق المعتمد، طول الخندق : 100 م ، عمق الخندق : 2.50 م.

الحل:

1- المعلومات الأولية.

في الحمأة المراد طمرها: تركيز SS

$$(1{,}500\ kg/d) / (4{,}0\ m^3/d) = 375\ kg/m^3$$

محتوى المواد الصلبة:

$$(375\ kg/m^3) / (1050\ kg/m^3) = 0.36 = 36\%$$

يتم تحديد عمق الخندق من خلال معرفة منسوب المياه الجوفية.

يمكن للجرافات الصغيرة الحجم التعامل مع الخنادق بعمق 2.50 متر، وهي معدّات شائعة ومتوفرة.

يجب ترك 1.5 بين قاع الخندق والمياه الجوفيةWater Table .

2- الخنادق الضيقة 3 م.

السعة الحجمية لكل خندق من نوع (3 م)

$$3\ m \times 2.50\ m \times 100\ m = 750\ m^3$$

يتطلب نظام الطمر اليومي للحمأة أن يتم تغطيتها في نهاية كل وردية يومية.

وبإفتراض أن نسبة التربة إلى الحمأة هي 25% من حيث الحجم، سيكون الخندق قادراً على تخزين حمأة بكمية:

$$750\ m^3 /(1.00 + 0.25) = 600\ m^3$$ (الوزن الرطب)

أما المساحة المتبقية البالغة 150 متراً مكعباً فهي مخصصة لحجم غطاء التربة.

بالنسبة لحجم الحمأة منزوعة الماء والتي قدرت بمقدار 4.0 م^3/يوم ووزن نوعي 1.05، فإن إجمالي كتلة الحمأة (المواد الصلبة الجافة + الماء) المنقولة إلى المطمر هي:

$$4 \times 1.05 = 4.2\ t/day$$

1 م^3 من حجم مطمر النفايات يمكن أن يقبل 1.05 طن من الحمأة (الوزن الرطب).

إنتاج الحمأة السنوي:

$$4.2\ tonne/d \times 365\ d/year = 1{,}533\ t/year$$

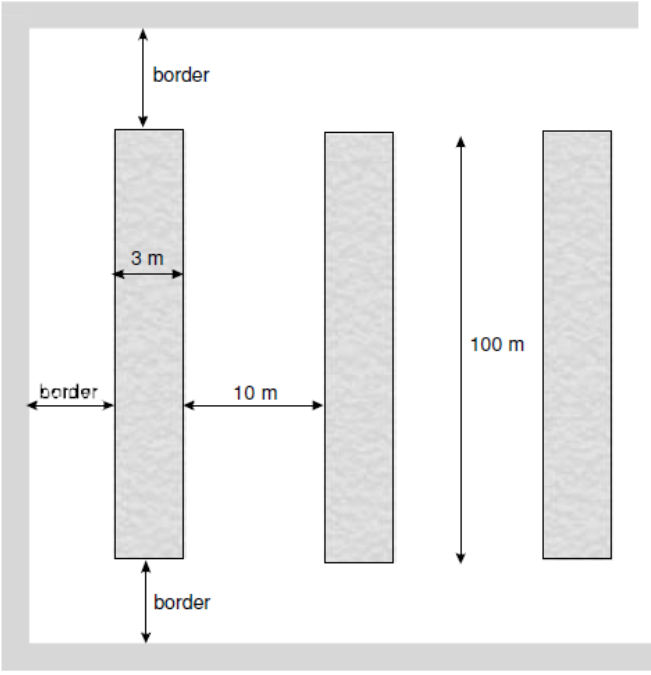
حجم الحمأة السنوي:

$4.0\ m^3/d \times 365\ d/year = 1{,}460\ m^3/year$

عدد الخلايا المطلوبة:

$(1{,}460\ m^3)/(600\ m^3/cell) = 2.43\ cells.$

بإفتراض وجود 10 م بين الخلايا المتجاورة منه، يلزم إنشاء 3 خلايا لطمر الحمأة في العام تقريباً، كما هو موضح في الشكل (4-7-4-1).



الشكل (4-7-4-1) مسقط أفقي لمطمر حمأة لمدينة عدد سكانها 100 الف نسمة، ويبين عدد الخنادق اللازمة سنوياً [8]

4-7-5. نفاذيّة سرير المطامر Permeability of landfill bed

تتسبب رشاحة المطامر في تلوث المياه الجوفية. ولمنع تسرب الرشاحة من قاع المطمر يمكن أن نضع تربة غضارية خاصة في قاع المطمر بسماكة مناسبة. ويكون معامل النفاذية المقبول لهذه التربة ($K < 10^{-7} cm/s$) . ويتم ضغط الغضار بشكل جيد وعلى طبقات.

يتم مد أغشية مرنة Flexible Membrane Liners (FML) بسماكات مختلفة، (يوجد عدد كبير من الأنواع التجارية) للنفايات غير الخطرة، مثل حمأة مياه الصرف و/أو النفايات الصلبة البلدية. وعادةً ما يُعتبر سُمْك FML 1-2 مم مقبولاً. أنظر الشكل (4-7-3-1-1).

4-7-6. أنظمة جمع الرشاحة Leachate collection system

لا يمكن معرفة كمية رشاحة المطامر بشكل دقيق لتداخل كثير من العوامل، مثل نوعية الحمأة وكمية الأمطار. وعادةً يتكوّن النظام من إنشاء قنوات ذات ميول مناسبة أسفل خندق المطمر (عادة يتم تنفذها في التربة) ، تقود الرشاحة إلى حفرة خاصة. بعد إنشاء القنوات يُمد غشاء جيوتكستيل مسامي صناعي (غير منسوج) (A porous non-woven geotextile membrane) على طول الخندق، ثم توضع فوقه صخور، ثم رمل خشن، يلي ذلك طبقات الحمأة [8].

4-7-7. العاصفة المطرية Stormwater drainage system

يَهدف إنشاء المصارف السطحية والحواجز في موقع المطمر إلى تحويل مياه الأمطار، وتقليل كمية السوائل المتسرّبة إلى المطمر، ومنع تآكل التربة. يجب أن يكون تصميم شبكة التصريف السطحية متناسبة مع تضاريس الموقع، وأن يكون نظام تصريف مياه الأمطار متوافقاً مع مساحة سطح الهطول المطري، ونفاذية التربة السطحية، ومعدّل الهطول المطري، وخصائص الموقع الأخرى. عادة ما يتم إنشاء مجمعات الصرف النهائية من أنابيب خرسانية مفتوحة.

4-7-8. نظام جمع الغاز Gas collection system

يؤدي التحلّل اللاهوائي للمواد العضوية في المطمر إلى إنتاج غازات (CH_4, CO_2, H_2S الخ)، والتي يجب جمعها لتجنّب إنتشارها غير المنضبط. ويمكن أن يتكون نظام جمع الغازات من أنابيب مثقوبة، مثبتة شاقولياً، ومحاطة من الخارج بالحجارة لمنع إنسداد الثقوب، وأن تكون متباعدة أفقياً عن بعضها

البعض بما لا يزيد عن 50 متراً. وعادةً ما يتم إقامتها فوق نظام تجميع الرشاحة [8].

4-7-9. معالجة الرشاحة Leachate treatment

تحتوي الرشاحة على تركيز عالٍ من الملوثات، الجدول (4-7-1-1)، لذلك يجب معالجتها قبل التخلّص منها. وتستخدم الطرق البيولوجية لمعالجة الرشاحة، ولا يُنصح باستخدام أحواض التثبيت التقليدية عندما تكون الرشاحة شديدة التركيز [8].

لا يوجد حل أو حلول لكل أنواع الرشاحة، وتتمثّل إحدى الصعوبات في عدم تجانس النفايات السائلة، مع وجود تباين واسع في تركيبها بسبب المجموعة الكبيرة من النفايات التي يتم التخلّص منها في مواقع دفن النفايات.

إن عملية معالجة الرشاحة الأكثر استخداماً هي المعالجة البيولوجية الهوائية، ولكن تعاني الطريقة من إختلال في نسب المغذيّات في أحواض المعالجة، ولذلك من الضروري إضافة العناصر المغذيّة المناسبة. يتم كذلك استخدام المعالجة الفيزيائية والكيميائية، وذلك بشكل رئيسي لتحسين جودة النفايات السائلة (polishing) وتقليل تركيز المعادن والفوسفور.

يمكن اللجوء إلى حلول أخرى، مثل إعادة التدوير، أو الري، أو يتم استخدام الأغشية في المعالجة، وهي حلول ممكنة كذلك إن لم تكن أحجام الرشاحة كبيرة جداً.

4-7-10. مراقبة مطامر النفايات Landfill monitoring

يجب مراقبة المطمر طوال عمره الإفتراضي ولسنوات عديدة بعد توقف التشغيل، لأنه سيستمر في إنتاج الرشاحة والغازات لأكثر من 20 عاماً بعد إغلاقه. وبما أن مراقبة منسوب المياه هي أهم عنصر يجب تقييمه، فإنه عادةً ما يتم إنشاء آبار مراقبة مكوّنة من قسطل قطره 30 سم من الفولاذ أو PVC. يجب أن يتوقّف الثُّقب في أسفل مستوى منسوب المياه الجوفية على عدة أمتار، ويجب أن يكون الطرف العلوي للقسطل مغلقاً لمنع وصول التلوث الخارجي إلى المياه.

4-7-10-1. تواتر المراقبة Monitoring frequency

ينبغي تكرار أخذ العينات للمعاملات (للمُعلمات) المختارة لكل من الحمأة ولمناطق التخلّص من الحمأة (المطامر- الأراضي المستهدفه)، ويجب أن تكون المراقبة متوافقة مع الفترات الحرجة ومتناسبة مع التغيُّرات الموسمية. الجدول (4-7-10-1-1) مثال على متطلبات تكرار المراقبة في مطمر أحادي والمواقع المخصصة للتطبيق [8].

تتطلب مراقبة الحمأة المطبقة، مراقبة المعادن، وكثافة مسببات الأمراض، ويعتمد تكرار أخذ العينات على كمية الحمأة المستخدمة (خلال عام واحد). أما من أجل تكرار مراقبة مطامر الحمأة فيجب عمل تقييم لتأثير التطبيق، وبناء قاعدة بيانات تحتوي على المعلومات التي تم جمعها من كل موقع طمر. كما ينبغي إنشاء شبكة لتحديد نقاط أخذ العينات في مواقع الطمر والمناطق المحيطة به.

4-8. الطريقة الأرضية غير المقيّدة Landfarming

هي معالجة هوائية للمواد العضوية القابلة للتحلُّل تحدث في الطبقة العليا من التربة. يتم فرش الحمأة على الأرض، وبذلك تتفاعل الحمأة مع الموقع والتربة والمناخ والنشاط البيولوجي في نظام ديناميكي معقد، تتغيّر فيه خصائص المكونات مع مرور الوقت. ونظراً لأنه نظام مفتوح، فإن التخطيط والإدارة الخاطئين قد يتسببان في تلوث مصادر المياه والغذاء والتربة، أنظرالشكل (4-8-1).

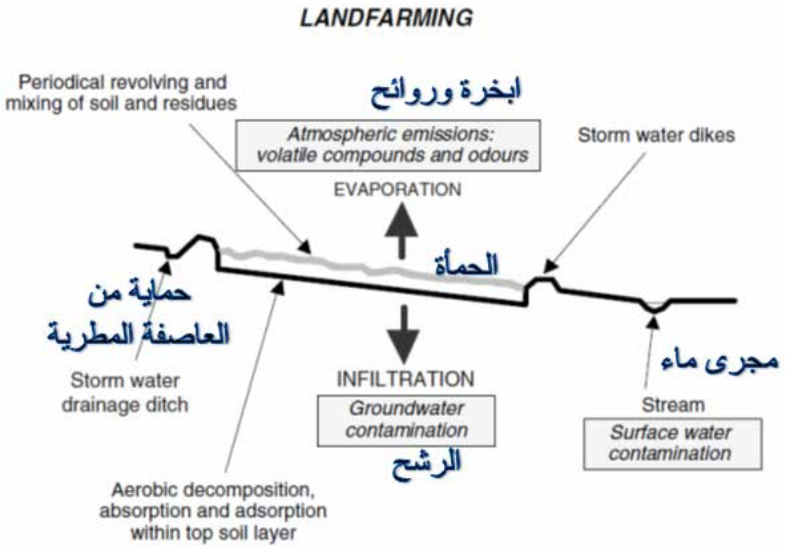
تُصمم الطريقة لمعالجة الحمأة صعبة التحلّل والخطرة بيئياً وذات التركيز العالي، ولكن عند التطبيق المستمر سوف تتراكم الملوثات في التربة، وقد تجعل هذه المواد المنطقة غير قابلة للاستخدام كمناطق زراعة. وعموماً أصبح إستعمال الطريقة قليلاً جداً.

الجدول (4-7-10-1-1) نموذج تكرار مراقبة المطمر الأحادي والمواقع المخصصة للتطبيق على الأراضي [8]

Parameter المؤشرات/	Sludge حمأة		Groundwater [1] مياه جوفية		Soil [2] التربة	
	Unit الواحدة	Frequency تكرار العينات	Unit	Fre-quency	Unit	Frequency
Total nitro-gen	mg/kg	شهريا Monthly	mg/L	quar-terly	mg/kg	كل 4 شهور quarterly
Nitrate nitrogen	mg/kg	Monthly	mg/L	quar-terly	mg/kg	quarterly
Ammonia nitrogen	mg/kg	Monthly	mg/L	quar-terly	mg/kg	quarterly
Phosphorus	mg/kg	كل 4 شهور Quarterly	mg/L	quar-terly	mg/kg	كل 2 شهر 2/month
Potassium	mg/kg	Quarterly	mg/L	quar-terly	mg/kg	2/month
Cadmium	mg/kg	Quarterly	mg/L	quar-terly	mg/kg	2/month
Lead	mg/kg	Quarterly	mg/L	quar-terly	mg/kg	2/month
Zinc	mg/kg	Quarterly	mg/L	quar-terly	mg/kg	2/month
Copper	mg/kg	Quarterly	mg/L	quar-terly	mg/kg	2/month
Nickel	mg/kg	Quarterly	mg/L	quar-terly	mg/kg	2/month
pH	–	Monthly	–	quar-terly	–	2/month
PCB	mg/kg	سنوي Yearly	mg/L	yearly	mg/kg	2/month
Water level	–	–	Me-ter	quar-terly	–	–
CEC cation exchange capacity	–	–	–	–	me-q/100g	quarterly

1. بئر لكل 20 هكتار من المطمر، ولمواقع التطبيق المحددة.

2 .عينة واحدة على مسافة 15 سم و45 سم و75 سم لكل 8 هكتار من الأراضي



الشكل (4-8-1) مقطع في حوض Land farming والآثار البيئية المحتملة في موقع التطبيق [8]

4-9. القضايا الحساسة في تطبيق الحمأة والإحتياطات [44].

تعد الرائحة أحد أهم القضايا الحساسة التي أدّت إلى عدم قبول تطبيق الحمأة على الأراضي. وقد أدّت الشكاوي من الرائحة في كثير من الدول إلى تقييد استخدام الحمأة.

إن الروائح المزعجة يمكن أن يكون لها آثار ضارة على جمال الموقع والجوار، وقيم الممتلكات، ونوعية الحياة في المجتمعات التي تخضع لها.

فالروائح الكريهة أو تخفيفها من بين التحديات الكبرى في الحصول على قبول تطبيق الحمأة. وعلى الرغم من أن العديد من البكتيريا المسببة للرائحة في الحمأة يتم تدميرها في عملية تثبيت الحمأة، إلا أنه يمكن إتخاذ بعض الإجراءات والتدابير للسيطرة على الروائح في مواقع التطبيق، كما يلي:

1. تقصير زمن تخزين الحمأة.
2. إختيار المواقع والحقول البعيدة عن الجوار ما أمكن من أجل تطبيق الحمأة.

3. تجنُّب استخدام التطبيق على الأراضي عندما يكون إتجاه الرياح بإتجاه المناطق السكنية القريبة.
4. تقليل الآثار الضارة بجمالية مواقع الحمأة.
5. صيانة دائمة لمعدّات النقل والتطبيق.
6. أن تكون مناطق التطبيق والتخزين محفوظة جيداً ونظيفة، ومسيجة إذا لزم الأمر.
7. الإحتفاظ بالسجلات.
8. تغطية ومزج الحمأة في أسرع وقت ممكن بعد التسليم.
9. التنظيف اليومي (أو بشكل متكرّر إذا لزم الأمر) للشاحنات والخزانات وغيرها من المعدات، وكذلك الطرق التي تسلكها العربات.
10. تجنُّب استخدام الحمأة في التربة التي تغمرها المياه.
11. استخدام معدّلات تطبيق الحمأة المناسبة لظروف موقع التطبيق.
12. تجنُّب، أو الحد من بناء واستخدام مرافق تخزين الحمأة في موقع التطبيق.
13. عزل موقع تطبيق الحمأة عن المناطق السكنية والتجارية وغيرها من المناطق العامة ما أمكن.

References / المراجع

1. Design and Operational Issues Related to Co-Disposal of Sludges and Biosolids in Class-I Landfills - Phase III March (2007) Debra R Reinhart, Principal Investigator Civil and Environmental Engineering Department University of Central Florida, Orlando, Florida.
2. دليل تصميم محطات معالجة مياه الصرف، معن برادعي, 2018
3. EPA Land Application of Sewage Sludge - EPA/831-B-93-002b ,December, 1994
4. Waste water engineering and reuse -Metcalf&Eddy - Fourth Edition, 2003.
5. Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47, 1992.
6. Land Application of Biosolids. Gregory K. Evanylo , Department of Crop and Soil Environmental Sciences, Virginia Tech, 2005.
7. Handbook of Environmental Engineering Calculations, 2nd Edition C. C. Lee Shun Dar Lin, 2007.
8. Sludge Treatment and Disposal. Cleverson Vitorio Andreoli, Marcos von Sperling and Fernando Fernandes (Editors), 2007.
9. Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land - (Milieu Ltd, WRc and RPA for the European Commission), 2010.
10. Guidelines and Regulations for Fecal Sludge. Management from On-site Sanitation Facilities. Nilanthi Jayathilake, Pay Drechsel, Bernard Keraita, Sudarshana Fernando and Munir A. Hanjra, 2019.
11. ASCE & WPCF (1977) + Dr. Fatima jaara.
12. Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery ,Fifth adition Metcalf & Eddy I AECOM , 2014.
13. Sewage sludge in Germany - amount, treatment and challenges. Michael nelles, Isabell eickhoff, Gert morscheck & Abdallah nassour, 2019.

14. Organic contaminants in sewage sludge (biosolids) and their significance for agricultural recycling - S. R. Smith ,2009.
15. Waste water engineering disposal and reuse -Metcalf&Eddy - Third Edition, 1991.
16. A Review on the Physical Dewatering Methods of Sludge Pretreatment in Recent Ten Years, Zheng Zhen et al, 2020.
17. An Application of Ultrasonic Waves in the Pretreatment of Biological Sludge in Urban Sewage and Proposing an Artificial Neural Network Predictive Model of Concentration by Atef El Jery and others, 2023.
18. Water and waste water engineering systems - by D. Barnes, B. W. Gould, P. J. Bliss, H. R. Valentine, 1983.
19. Sewage and Sewage Treatment Systems - Dr. Faysal Asfari, Dr. Saleh Al-Muzaini.
20. Modern technologies of treatment and stabilization for sewage sludge from water treatment plant, Valentin feodorov, 2016.
21. Wastewater Treatment and Reuse Theory and Design Examples Volume 2: Post-Treatment, Reuse, and Disposal Syed R. Qasim, 2018.
22. A Review of Sludge-to-Energy Recovery Methods . Jumoke Oladejo and others, 2019.
23. WEF - Industrial Wastewater Management, Treatment, and Disposal-Third Edition, 2008.
24. Atmospheric Emissions of Metals from Sewage Sludge Incineration, Richard W. Gerstle & Diane N. Albrinck .2018. (Journal of the Air Pollution Control Association).
25. SUEZ's degremont® water handbook. (European regulations on incineration,2002).
26. Stack emission test results from existing and new high temperature fluid bed municipal sludge incinerators operating in us and ontario (ca). k. dangtran, ph.d., dfbc consulting, llc l. takmaz, ph.d., suez, 2018.

27. phosphorus Recovery from Sewage/Sludge/Ash Dr. Christian Kabbe February 2019.
28. Emission Estimation Technique Manual for Sewage Sludge and Biomedical Waste Incineration, Environment Australia, 1999.
29. Edur company.
30. دليل تصميم محطات معالجة مياه الصرف الصناعي, معن برادعي 2020
31. Present restrictions of sewage sludge application in agriculture within the European Union, Hana Hudcová, Jan Vymazal, Miloš Rozkošný, 2019.
32. Commission staff working document evaluation council directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture, 2023.
33. Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management-edited by: Ronald j. Leblanc, Peter Matthews, Roland p. Richard, 2006.
34. Sewage sludge disposal in the Federal Republic of Germany. German Environment Agency, Andrea Roskosch, Patric Heidecke, 2018.
35. Use and Disposal of Biosolids Products - Chye Ang Environmental Policy - John Sparkes, EPA ,2000.
36. Land Application of Biosolids in Europe: Possibilities, Con-Straints and Future Perspectives. Andrea Gianico, Camilla Maria Braguglia, Agata Gallipoli, Daniele Montecchio and Giuseppe Mininni, 2021.
37. EPA Process Design Manual Land Application of Sewage Sludge and Domestic Septage EPA/625/R-95/001 Environmental Protection Development, 1995.
38. Land application of sewage sludge, pathogen issues, a.c. chang, 1997.
39. الهيئة العامة للبيئة القرار رقم 6 - 2017 - اللائحة التنفيذية لإدارة النفايات الخطرة
40. Evaluation of sludge treatment for pathogen reduction final report. European commission -directorate - general environment, 2001.
41. Implementing Oregon's Biosolids Program Internal Management Directive

December ,2005.

42. Council on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture (86 /278/ EEC) , Advisory leaflet1985.
43. Land Application of Municipal Sewage Sludge Guidelines EPB 296 , June ,2015. (From Canadian Standards).
44. 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 Florida2012, .
45. A review of municipal solid waste environmental standards with a focus on incinerator.
46. MEP Centre on Emission Inventories and Projections
47. Sludge Dewatering and Mineralization in Sludge Treatment Reed Beds- Hans Brix, 2017.

مراجع أخرى لها علاقة بالكتاب

48. EPA, WEF and ASCE, (1991).
49. 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, 2018.
50. Disposal and recycling routes for sewage sludge Part 2- Regulatory report - Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2001.
51. Advisory leaflet ATV-DVWK-M 368E Germany. Biological Stabilization of Sewage Sludge, 2003.
52. Huber technology Co.
53. 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 ,2002.

54. Review Organic chemicals in sewage sludges. Ellen Z. Harrison a, Summer Rayne Oakes, Matthew Hysell, Anthony Hay , 2006.
55. Sludge use acceptance, 2001 - European Commission ,DG Environment - Part 1
56. Guidelines for sewerage systems biosolids management-Australia-(Natural Resource Management Ministerial Council) ,2004.
57. EPA. Sludge Treatment and Disposal Volume 1, 1978.
58. Sludge Treatment and Disposal-Management Approaches and Experiences By ISWA's ,Albrecht R. Bresters. Isabelle Coulomb. Bela Deak. Bernhard Matter. Alice Saabye .Ludivico Spinosa .Ådne Ø. Utvik,1997 .
59. Advances in hazardous industrial waste treatment / edited by Lawrence K. Wang, Nazih K. Shammas, Yung-Tse Hung, 2008.
60. Sewage sludge disposal in germany - status and needs for changes. Gert morscheck, vicky shettigondahalli ekanthalu, satyanarayana narra, jennifer and Michael, Rostock University, (2018).
61. European union legislation on sewage sludge management , vassilis j. inglezakis, antonis a. zorpas, avraam karagiannidis, petros samaras, irene voukkali and stella sklari, 2011.
62. Practical Wastewater Treatment. Russell, David L, 2019.
63. Design of sewage treatment plants,(in arabic) Dr. Faisal Asfari.

Information and support, logistical and scientific:

Dr. Abdullah Nasour.

Dr. Haitham Shaheen.

Dr.Ahmad Mohamad Taher.

Dr. Marwan Al-Dimashqi.

Dr .H.A. Abu Qdais.

الملحق (1)

الكشف الأولي على موقع تطبيق الحمأة		
المعلومات المطلوبة:		ملاحظات
موقع التطبيق		
رقم المنطقة / الأرض		
المالك		
مساحة الأرض		
وصف المقيمين في الجوار		
وصف المقيمين في الأرض		
نوع التطبيق	زراعي	
	غابات	
	استصلاح	
ابعاد تقريبه للموقع		
طبوغرافية الأرض	سهل - خفيف - حاد	
	الميل %	
طريقة تصريف مياه المطر أو الري الزائد		
أي تصريف تحت أرضي		
بعد موقع التطبيق عن اقرب	مياه سطحية	
	بئر	
	سكن	
طريقة الوصول للأرض	طرق	
	أخرى	
نوع المحاصيل الموجودة	في الموقع	
	الجوار	
وصف طبيعة التربة	طبيعة التربة	
	تنوع التربة	

ملحق (2)

ملخص مواقع وكميات تطبيق الحمأة				
رقم الترخيص Licence applicable	موقع التطبيق Site appli-cation	Biosolids Product Type التصنيف	الكتلة الجافة بالطن Dry ،Mass tonnes	المستخدم الأخير End Use
المجموع				

ملحق (3)

المياه الجوفية في منطقة تطبيق الحمأة							
Bore No. رقم البئر / الحفرة	Zone المنطقة	Depth (m) العمق	Standing Water Level (m) منسوب الماء	flow (L/s) التدفق	Water Quality نوعية المياه	Strata Details تفاصيل الطبقات	Current Water Use الاستخدام الحالي للمياه
Are there any proposed application sites where the groundwater is less than 3 metres? (circle) Yes / No If groundwater is less than 3 metres، provide technical advice that the proposed application is acceptable in terms of environmental impact. Provide information on bores located within 5 km of the are							

ملحق (4)

كمية النتروجين اللازمة لبعض المحاصيل [12]			
Crop	Nitrogen uptake	Crop	Nitrogen up-take
	kg/ha·y		kg/ha·y
Forage crops		Tree crops	
Alfalfa	220-640	E. forest	
Brome grass	130-220	Mixed hardwoods	225
Coastalc Bermuda grass	390-670	Red pine	110
Kentucky bluegrass	195-270	White spruce	225
Quack grass	235-280	Pioneer succession	225
Orchard grass	250-350	Aspen sprouts	110
Reed canory gross	335-450	Southern forests	
Ryegross	180-280	Mixed hardwoods	280
Sweet clovera	175	Loblolly pine	225-280
Toll fescue Field crop	145-325	Lake states forest Mixed hardwoods	 110
Barley	120	Hybrid poplar	155
Corn	175-200	Western forest	
Cotton	70-110	Hybrid poplar	300
Grain sorghum	135	Douglas fir	225
Potatoes	225		
Soybeans	245		
Wheat	155		
a. Legume crops can fix nitrogen from the air but will take up most of their nitrogen from applied wastewater.			

الملحق (5)
الملوثات ذات الأولوية من EPA

EPA United States Environmental Protection Agency

Priority Pollutant List

Priority Pollutants are a set of chemical pollutants we regulate, and for which we have developed analytical test methods. The current list of 126 Priority Pollutants, shown below, can also be found at 40 CFR Part 423, Appendix A.

These are not the only pollutants regulated in Clean Water Act programs. The list is an important starting point for EPA to consider, for example, in developing national discharge standards (such as Effluent Guidelines) or in national permitting programs (such as NPDES).

1. Acenaphthene
2. Acrolein
3. Acrylonitrile
4. Benzene
5. Benzidine
6. Carbon tetrachloride
7. Chlorobenzene
8. 1,2,4-trichlorobenzene
9. Hexachlorobenzene
10. 1,2-dichloroethane
11. 1,1,1-trichloreothane
12. Hexachloroethane
13. 1,1-dichloroethane
14. 1,1,2-trichloroethane
15. 1,1,2,2-tetrachloroethane
16. Chloroethane
17. (Removed)
18. Bis(2-chloroethyl) ether
19. 2-chloroethyl vinyl ethers
20. 2-chloronaphthalene
21. 2,4,6-trichlorophenol
22. Parachlorometa cresol
23. Chloroform
24. 2-chlorophenol
25. 1,2-dichlorobenzene
26. 1,3-dichlorobenzene
27. 1,4-dichlorobenzene
28. 3,3-dichlorobenzidine
29. 1,1-dichloroethylene
30. 1,2-trans-dichloroethylene
31. 2,4-dichlorophenol
32. 1,2-dichloropropane
33. 1,3-dichloropropylene
34. 2,4-dimethylphenol
35. 2,4-dinitrotoluene
36. 2,6-dinitrotoluene
37. 1,2-diphenylhydrazine
38. Ethylbenzene
39. Fluoranthene
40. 4-chlorophenyl phenyl ether
41. 4-bromophenyl phenyl ether
42. Bis(2-chloroisopropyl) ether
43. Bis(2-chloroethoxy) methane
44. Methylene chloride
45. Methyl chloride
46. Methyl bromide
47. Bromoform
48. Dichlorobromomethane
49. (Removed)
50. (Removed)
51. Chlorodibromomethane
52. Hexachlorobutadiene
53. Hexachlorocyclopentadiene
54. Isophorone
55. Naphthalene
56. Nitrobenzene
57. 2-nitrophenol
58. 4-nitrophenol
59. 2,4-dinitrophenol
60. 4,6-dinitro-o-cresol
61. N-nitrosodimethylamine
62. N-nitrosodiphenylamine
63. N-nitrosodi-n-propylamine
64. Pentachlorophenol
65. Phenol
66. Bis(2-ethylhexyl) phthalate
67. Butyl benzyl phthalate
68. Di-N-Butyl Phthalate

69. Di-n-octyl phthalate
70. Diethyl Phthalate
71. Dimethyl phthalate
72. Benzo(a) anthracene
73. Benzo(a) pyrene
74. Benzo(b) fluoranthene
75. Benzo(k) fluoranthene
76. Chrysene
77. Acenaphthylene
78. Anthracene
79. Benzo(ghi) perylene
80. Fluorene
81. Phenanthrene
82. Dibenzo(,h) anthracene
83. Indeno (1,2,3-cd) pyrene
84. Pyrene
85. Tetrachloroethylene
86. Toluene
87. Trichloroethylene
88. Vinyl chloride
89. Aldrin
90. Dieldrin
91. Chlordane
92. 4,4-DDT
93. 4,4-DDE
94. 4,4-DDD
95. Alpha-endosulfan
96. Beta-endosulfan
97. Endosulfan sulfate
98. Endrin
99. Endrin aldehyde
100. Heptachlor
101. Heptachlor epoxide
102. Alpha-BHC
103. Beta-BHC
104. Gamma-BHC
105. Delta-BHC
106. PCB-1242 (Arochlor 1242)
107. PCB-1254 (Arochlor 1254)
108. PCB-1221 (Arochlor 1221)
109. PCB-1232 (Arochlor 1232)
110. PCB-1248 (Arochlor 1248)
111. PCB-1260 (Arochlor 1260)
112. PCB-1016 (Arochlor 1016)
113. Toxaphene
114. Antimony
115. Arsenic
116. Asbestos
117. Beryllium
118. Cadmium
119. Chromium
120. Copper
121. Cyanide, Total
122. Lead
123. Mercury
124. Nickel
125. Selenium
126. Silver
127. Thallium
128. Zinc
129. 2,3,7,8-TCDD

الملحق (6)

الحد الأدنى المقترح للمسافات العازلة عن وحدات المعالجة لإحتواء الرائحة [12]

Suggested minimum buffer distances from treatment units for odor containment

Treatment process unit وحدة المعالجة		Buffer distance المسافة
		m
Sedimentation tank	أحواض الترسيب	125
Trickling filter التنقيط	مرشح بيولوجي	125
Aeration lank	حوض تهوية	150
Aerated lagoon	بحيرات التهوية	300
Sludge digester (aerobic or anaerobic)	الهواضم	150
Sludge handling units	إدارة ومعالجة الحمأة	300
Open drying beds مفترشات التجفيف الرملية المفتوحة		150
Covered drying beds	أسرة تجفيف مغطاة	125
Sludge holding tank	خزانات جمع الحمأة	300
Sludge thickening tank	أحواض التكثيف	300
Vacuum filter	المرشح الإنفراغي	150
Wet air oxidation	الأكسدة الرطبة	450
Effluent recharge bed سرير إعادة شحن المياه المعالجة		250
Secondary effluent filters	**المرشح الثانوي**	
Open	مفتوح	150
Enclosed	مغلق	75
Advanced wastewater treatment	**المعالجة المتقدمة**	
Tertiary effluent filters	**مرشحات المعالجة الثلاثية**	
Open	مفتوح	100
Enclosed	مغلق	75
Denitrification	إزالة النتروجين	100
Polishing lagoon		150
Land disposal	التصريف على الأراضي	150

الملحق (7)

دليل توجيهي لقيم المواد الكيميائية الهامة للصحة في مياه الشرب (WHO)

Guidelines for drinking-water quality - Fourth edition, 2022, World Health Organization (WHO)

Chemical	Guideline value mg/l	Guideline value µg/l	Remarks
Acrylamide	0.0005[a]	0.5[a]	
Alachlor	0.02[a]	20[a]	
Aldicarb	0.01	10	Applies to aldicarb sulfoxide and aldicarb sulfone
Aldrin and dieldrin	0.000 03	0.03	For combined aldrin plus dieldrin
Antimony	0.02	20	
Arsenic	0.01 (A, T)	10 (A, T)	
Atrazine and its chloro-*s*-triazine metabolites	0.1	100	
Barium	1.3	1300	
Benzene	0.01[a]	10[a]	
Benzo[*a*]pyrene	0.0007[a]	0.7[a]	
Boron	2.4	2 400	
Bromate	0.01[a] (A, T)	10[a] (A, T)	
Bromodichloromethane	0.06[a]	60[a]	
Bromoform	0.1	100	
Cadmium	0.003	3	
Carbofuran	0.007	7	
Carbon tetrachloride	0.004	4	
Chlorate	0.7 (D)	700 (D)	
Chlordane	0.0002	0.2	
Chlorine	5 (C)	5 000 (C)	For free chlorine. For effective disinfection, there should be a residual concentration of free chlorine of ≥0.5 mg/l after at least 30 min contact time at pH <8.0. A chlorine residual should be maintained throughout the distribution system. At the point of delivery, the minimum residual concentration of free chlorine should be 0.2 mg/l.
Chlorite	0.7 (D)	700 (D)	
Chloroform	0.3	300	
Chlorotoluron	0.03	30	
Chlorpyrifos	0.03	30	
Chromium	0.05	50	For total chromium
Copper	2	2 000	Staining of laundry and sanitary ware may occur below guideline value
Cyanazine	0.0006	0.6	

تابع الملحق (7)

Chemical	Guideline value mg/l	µg/l	Remarks
Cylindrospermopsins (cyanobacterial toxin)	0.0007 (P)	0.7 (P)	
	0.003 (P)	3 (P)	For short-term exposure[b] Values are for total cylindrospermopsins (sum of all congeners, free plus-cell bound)
2,4-D[c]	0.03	30	Applies to free acid
2,4-DB[d]	0.09	90	
DDT[e] and metabolites	0.001	1	
Dibromoacetonitrile	0.07	70	
Dibromochloromethane	0.1	100	
1,2-Dibromo-3-chloropropane	0.001[a]	1[a]	
1,2-Dibromoethane	0.0004[a] (P)	0.4[a] (P)	
Dichloroacetate	0.05[a] (D)	50[a] (D)	
Dichloroacetonitrile	0.02 (P)	20 (P)	
1,2-Dichlorobenzene	1 (C)	1 000 (C)	
1,4-Dichlorobenzene	0.3 (C)	300 (C)	
1,2-Dichloroethane	0.03[a]	30[a]	
1,2-Dichloroethene	0.05	50	
Dichloromethane	0.02	20	
1,2-Dichloropropane	0.04 (P)	40 (P)	
1,3-Dichloropropene	0.02[a]	20[a]	
Dichlorprop	0.1	100	
Di(2-ethylhexyl)phthalate	0.008	8	
Dimethoate	0.006	6	
1,4-Dioxane	0.05[a]	50[a]	Derived using tolerable daily intake approach as well as linearized multistage modelling
Edetic acid	0.6	600	Applies to the free acid
Endrin	0.0006	0.6	
Epichlorohydrin	0.0004 (P)	0.4 (P)	
Ethylbenzene	0.3 (C)	300 (C)	
Fenoprop	0.009	9	
Fluoride	1.5	1 500	Volume of water consumed and intake from other sources should be considered when setting national standards
Hexachlorobutadiene	0.0006	0.6	
Hydroxyatrazine	0.2	200	Atrazine metabolite
Isoproturon	0.009	9	

تابع الملحق (7)

Chemical	Guideline value mg/l	µg/l	Remarks
Lead	0.01 (A, T)	10 (A, T)	
Lindane	0.002	2	
Manganese	0.08 (P)	80 (P)	For total manganese. Aesthetic as well as health aspects should be considered when setting national standards
Mecoprop	0.01	10	
Mercury	0.006	6	For inorganic mercury
Methoxychlor	0.02	20	
Metolachlor	0.01	10	
Microcystins (cyanobacterial toxin)	0.001 (P) 0.012 (P)	1 (P) 12 (P)	 For short-term exposure[b] Values are for total microcystins (sum of all congeners, free plus-cell bound)
Molinate	0.006	6	
Monochloramine	3	3 000	
Monochloroacetate	0.02	20	
Nickel	0.07	70	Based on long-term effects, but protective for short-term effects
Nitrate (as NO_3^-)	50	50 000	Based on short-term effects, but protective for long-term effects
Nitrilotriacetic acid	0.2	200	
Nitrite (as NO_2^-)	3	3 000	Based on short-term effects, but protective for long-term effects
N-Nitrosodimethylamine	0.0001	0.1	
Pendimethalin	0.02	20	
Pentachlorophenol	0.009[a] (P)	9[a] (P)	
Perchlorate	0.07	70	
Saxitoxins (cyanobacterial toxin)	0.003	3	For acute exposure For total saxitoxins (sum of all congeners, free plus-cell bound)
Selenium	0.04 (P)	40 (P)	
Simazine	0.002	2	
Sodium dichloroisocyanurate	50 40	50 000 40 000	As sodium dichloroisocyanurate As cyanuric acid
Styrene	0.02 (C)	20 (C)	
2,4,5-T[f]	0.009	9	
Terbuthylazine	0.007	7	
Tetrachloroethene	0.1	100	
Toluene	0.7 (C)	700 (C)	
Trichloroacetate	0.2	200	

تابع الملحق (7)

Chemical	Guideline value mg/l	Guideline value µg/l	Remarks
Trichloroethene	0.008	8	
2,4,6-Trichlorophenol	0.2[a] (C)	200[a] (C)	
Trifluralin	0.02	20	
Trihalomethanes			The sum of the ratio of the concentration of each to its respective guideline value should not exceed 1
Uranium	0.03 (P)	30 (P)	Only chemical, not radiological, aspects of uranium addressed
Vinyl chloride	0.0003[a]	0.3[a]	
Xylenes	0.5 (C)	500 (C)	

A, provisional guideline value because calculated guideline value is below the achievable quantification level; C, concentrations of the substance at or below the health-based guideline value may affect the appearance, taste or odour of the water, leading to consumer complaints; D, provisional guideline value because effective disinfection may result in the guideline value being exceeded; P, provisional guideline value because of uncertainties in the health database; T, provisional guideline value because calculated guideline value is below the level that can be achieved through practical treatment methods, source protection, etc.

[a] For substances that are considered to be carcinogenic, the guideline value is the concentration in drinking-water associated with an upper-bound excess lifetime cancer risk of 10^{-5} (one additional case of cancer per 100 000 of the population ingesting drinking-water containing the substance at the guideline value for 70 years). Concentrations associated with upper-bound estimated excess lifetime cancer risks of 10^{-4} and 10^{-6} can be calculated by multiplying and dividing, respectively, the guideline value by 10.

[b] See the respective chemical fact sheet in chapter 12 for considerations for bottle-fed infants.

[c] 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid.

[d] 2,4-Dichlorophenoxybutyric acid.

[e] Dichlorodiphenyltrichlorethane.

[f] 2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid.

سلسلة كتاب عالم البيئة

سلسلة عالم البيئة هى سلسلة كتب علمية ثقافية ربع سنوية تصدر عن مؤسسة زايد الدولية للبيئة - دبي - دولة الإمارات العربية المتحدة.

طبيعة السلسلة: كتابة المتخصصين لغير المتخصصين

الأهداف:

تهدف هذه السلسلة إلى توفير المعلومة العلمية حول قضايا البيئة التى تهم المجتمع بأسلوب بسيط وسلس يساهم فى نشر الثقافة والتوعية البيئية ويساعد فى إتخاذ القرارات التى تتسق مع أسس التنمية المستدامة.

الفئات المستهدفة:

تستهدف السلسلة متخذ القرار لمساعدته على اتخاذ القرارات الصديقة للبيئة والإعلامي والمعلم والمثقف العربي لمساعدتهم على نشر الوعي البيئي ومتابعة ما يهم الجمهور من ممارسات تؤثر سلبا أو إيجابا على البيئة. كما تستهدف الطلاب والباحثين الذين يودون الحصول على معلومات ومؤشرات.

إدارة السلسلة:

رئيس التحرير/ المدير العام

الأستاذ الدكتور/ محمد أحمد بن فهد

رئيس اللجنة العليا لمؤسسة زايد الدولية للبيئة

مدير التحرير

الدكتور/ حمدان خليفة الشاعر

نائب رئيس اللجنة العليا لمؤسسة زايد الدولية للبيئة

المحرر

د. عيسى محمد عبد اللطيف

كبير المستشارين بمؤسسة زايد الدولية للبيئة

قواعد النشر: (منشورة في آخر صفحات كل كتاب)

1. ترحب سلسلة عالم البيئة بإقتراحات التأليف أو الترجمة فى المجالات المحددة أدناه وفقا للشروط **التالية:**

1. تكون الأولوية للقضايا المُلحّة بالمنطقة العربية والأفكار القابلة للتطبيق
2. أن يكون الحجم فى حدود **200 - 300** صفحة من القطع المتوسط
3. ألا يكون قد تم نشر الكتاب كاملا أو فى أجزاء من قبل
4. ألا يكون هناك نسْخ لنصوص من كتاب أو بحث آخر بإستثناء ما يشار إليه كإقتباس مع تسجيل كل المراجع التى استخدمت فى التأليف
5. فى حالة الترجمة يُشار إلى صفحات الكتاب الأصلى المقابلة للنص المترجم وترفق نسخة باللغة الأصلية للكتاب المُترجم مع موافقة المؤلف
6. الهيئة الإستشارية غير ملزمة بقبول كل الإقتراحات التى تقدم لها
7. يكون نشر الكتاب المعين حسب الأولويات التى تحددها الهيئة الإستشارية وهيئة التحرير
8. لا تُرد المسودات والكتب الأجنبية فى حالة الإعتذار عن نشرها
9. أن ترسل أولا مذكرة بالفكرة العامة للكتاب وموضوعاته وأهميته على الإستمارة المرفقة لإقتراح كتاب للنشر مصحوبة بالسيرة الذاتية للمؤلف
10. يرسل الكتاب إلى محكّمين متخصصين فى موضوعه لإبداء الرأى حول

11. صلاحيته للنشر. ويستحق المحكم مبلغ 3000 درهم اماراتي أو ما يعادلها تحول إلى حسابه بعد استلام كل التقارير واصدار الكتاب

12. في حالة إجازته من المحكمين والموافقة عليه من هيئة التحرير، يستحق المؤلف مبلغ **15,000** درهم اماراتى أو ما يعادلها يتم تحويلها للمؤلف بعد إكمال كل التعديلات المطلوبة وارسال نسخة (وورد) عبر البريد الإلكتروني وبعد إصدار الكتاب.

13. في حالة قبول الترجمة والتعاقد يستحق المترجم مبلغ **10,000** درهم اماراتى أو ما يعادلها يتم تحويلها له بعد إكمال كل التعديلات المطلوبة وارسال نسخة عبر البريد الإلكتروني وبعد إصدار الكتاب

14. المترجم مسؤول عن حق الملكية الفكرية بالنسبة للمؤلف.

15. مؤسسة زايد الدولية للبيئة غير مسؤولة عن محتويات الكتاب والفكرة المنشورة تعبر عن رأى الكاتب.

16. لا يحق للمؤلف أو المترجم إعادة الطبع إلا بموافقة مكتوبة من مؤسسة زايد الدولية للبيئة التى تحتفظ بحقوق النشر.

17. أن يقوم المؤلف أو المترجم بتعبئة وتوقيع إستمارة المشاركة المرفقة أدناه

مجالات السلسلة:

تدور مجالات السلسلة فى فلك الإطار الشامل لصون البيئة والموارد الطبيعية وفقا لأسس التنمية المستدامة التى تحقق التوازن بين التنمية الإقتصادية والتنمية الإجتماعية وحماية البيئة.

إستمارة إقتراح كتاب للنشر

تهدى جائزة زايد الدولية للبيئة تحياتها لكل العلماء والخبراء والباحثين العرب فى مجالات البيئة والتنمية المختلفة وتدعوهم للمشاركة فى هذه السلسلة بالتأليف والترجمة مساهمة منهم فى توجيه التنمية فى بلادنا العربية نحو الإستدامة وحفظ حقوق الأجيال القادمة فى بيئة سليمة معافاة.

ولمن يرغب في المشاركة الرجاء الاطلاع على قواعد النشر أعلاه وتعبئة القسيمة أدناه وإرسالها بالبريد الإلكترونى إلى:

هيئة تحرير سلسلة عالم البيئة

مؤسسة زايد الدولية للبيئة

ص.ب. 28399 دبى - الإمارات العربية المتحدة

هاتف: 3326666 04 (971+)

البريد الإلكترونى: ea@zayedprize.org.ae

الإســـــــــــم: .....

الدرجة العلميــة: .....

الوظيـــفـــــــة: .....

العنـــــــــوان: .....

.....

الهـاتـــــــــف: ..... الفاكس: .....

البريد الإلكترونى: .....

عنوان الكتـــاب: .....

نبذة مختصرة عن أهمية الكتاب ومحتواه:

.....

.....

.....

.....

.....

إقـــرار

- **أقر أنا الموقع أدناه** بأني قد اطلعت على قواعد النشر فى سلسلة عالم البيئة وأوافق على حفظ حقوق النشر وإعادة الطبع لمؤسسة زايد الدولية للبيئة حسب الشروط الموضحة فى آخر كل كتاب من السلسلة.

التوقيع: .....

التاريخ:.....

- الرجاء التكرم بإرفاق السيرة الذاتية للمؤلف وقائمة المحتويات (أبواب وفصول)