الأمانة العامة
الشؤون الاقتصادية
إدارة الإسكان والموارد المائية والحد من الكوارث

ج17-05/06(11/23)/01-ت(12611)

توصيات
الاجتماع الخامس للجنة الفنية المشتركة رفيعة المستوى للزراعة والمياه

(القاهرة- فندق النايل ريتز: 2023/11/1)

فهرس تقرير وتوصيات

الاجتماع الخامس للجنة الفنية المشتركة رفيعة المستوى للزراعة والمياه

(القاهرة – فندق النايل ريتز: 2023/11/1)

البنود	الموضوعات	الصفحة
أولا:	التقرير	1
ثانياً:	التوصيات	2
البند الأول	خطة العمل التنفيذية لإعلان القاهرة	2
البند الثاني	استخدام الموارد المائية غير التقليدية في الزراعة	4
البند الثالث	التطبيق الطوعي للمبادئ التوجيهية لتحصيص المياه للزراعة	6
البند الرابع	سد نقص البيانات في مجالات المياه والزراعة بتطبيق المعلومات المكانية (الاستشعار عن بعد والبيانات الجغرافية)	7
البند الخامس	تعزيز صمود قطاعي الزراعة والمياه في مواجهة آثار التغيرات المناخية	9

	المرفقات	الصفحة
مرفق رقم (1)	خطة عمل اعلان القاهرة	11
مرفق رقم (2)	مسودة الشروط المرجعية لمجموعة العمل المشتركة لتعبئة الموارد المالية على المستوى الإقليمي	15
مرفق رقم (3)	تقرير تحلية المياه	18
مرفق رقم (4)	تقرير الاستخدام الامن للحمأة الناتجة عن المياه المعالجة	63
مرفق رقم (5)	تقرير استخدام المياه الضاربة الى الملوحة في المنطقة العربية	100
مرفق رقم (6)	برنامج تدريبي لتنمية القدرات لاستخدام تكنولوجيا المعلومات الجغرافية المكانية لسد الفجوات في البيانات ودعم اتخاذ القرار في قطاعي المياه والزراعة	136
مرفق رقم (7)	العرض المقدم من (الفاو) بشأن استحداث بند بعنوان تعزيز صمود قطاعي الزراعة والمياه في مواجهة آثار التغيرات المناخية	142

تقرير وتوصيات

الاجتماع الخامس للجنة الفنية المشتركة رفيعة المستوى للزراعة والمياه

(القاهرة – فندق النايل ريتز: 2023/11/1)

أولا: التقرير:

1- تنفيذاً لقرار المجلس الوزاري العربي للمياه في دورته (14) رقم (ق 266-د.ع (14) م.و.ع.م – 2022/11/30) بشأن المبادرة الإقليمية للترابط بين قطاعات المياه والغذاء والطاقة في الدول العربية وأنشطتها: وبدعوة من الأمانة الفنية المشتركة (جامعة الدول العربية -إدارة الإسكان والموارد المائية والحد من الكوارث – المنظمة العربية للتنمية الزراعية)، وقرارات الجمعية العمومية لوزراء الزراعة ذات الصلة، قامت الأمانة الفنية للجنة المشتركة للزراعة والمياه بدعوة الدول العربية والمنظمات الشريكة للمشاركة في اعمال الاجتماع الخامس للجنة الفنية المشتركة الرفيعة المستوى للزراعة والمياه.

2- عقد الاجتماع الخامس للجنة الفنية المشتركة الرفيعة المستوى للزراعة والمياه بتاريخ 2023/11/1 بفندق النايل ريتز – القاهرة برئاسة مشتركة من كلا من دولة ليبيا بصفتها رئيس الدورة (14) للمجلس الوزاري العربي للمياه ممثلة بالسيد/ زكريا سعيد أبو منجي مستشار بوزارة الموارد المائية، والجمهورية الإسلامية الموريتانية بصفتها رئيس الجمعية العمومية للمنظمة العربية للتنمية الزراعية ممثلة بالسيدة/ هدمة عبد القاسم مستشار أول بالمندوبية، وقد قاموا بإلقاء كلمة ترحيبية بالسادة المشاركين في اعمال الاجتماع.

3- كما القت السيدة/ شهيرة حسن وهبي – مدير إدارة الإسكان والموارد المائية والحد من الكوارث كلمة ترحيبية نقلت فيها تحيات معالي الأمين العام لجامعة الدول العربية وتمنياتها للاجتماع بالنجاح والتوفيق.

4- أقرت اللجنة المشتركة جدول أعمالها على النحو التالي:

البنود	الموضوعات
البند الأول	خطة العمل التنفيذية لإعلان القاهرة
البند الثاني	استخدام الموارد المائية غير التقليدية في الزراعة
البند الثالث	التطبيق الطوعي للمبادئ التوجيهية لتحصيص المياه للزراعة
البند الرابع	سد نقص البيانات في مجالات المياه والزراعة بتطبيق المعلومات المكانية (الاستشعار عن بعد والبيانات الجغرافية
البند الخامس	ما يستجد من أعمال: تعزيز صمود قطاعي الزراعة والمياه في مواجهة آثار التغيرات المناخية

ثانياً: التوصيات:

البند الأول: خطة العمل التنفيذية لإعلان القاهرة:

- إن اللجنة الفنية المشتركة وبعد اطلاعها على:
- مذكرة الأمانة الفنية للجنة،
- توصية اللجنة المشتركة في هذا الخصوص،

وفي ضوء المناقشات،

توصـــــــي بـــــ

1. الاخذ علماً بما قامت به الأمانة الفنية والشركاء من الاسكوا والفاو لتنفيذ خطة عمل اعلان القاهرة (مرفق1)، وتكليف الأمانة الفنية بالتنسيق مع الشركاء للاستمرار في تنفيذ الخطة وتقديم تقرير للاجتماع القادم حول التنفيذ.
2. الطلب من الامانة الفنية المشتركة بالتعاون مع الشركاء مجدداً اعداد استبيان لتحديد متطلبات البيئة التمكينية لتكامل قطاعي الزراعة والمياه، بغرض اعداد نموذج مقترح للتقرير الوطني يعمم على الدول العربية لتمكين الدول العربية من إعداد تقارير وطنية عن المستوى الحالي للتنسيق بين المياه والزراعة، بغرض اتساق كافة التقارير الوطنية لتيسير عملية اعداد تقرير عربي إقليمي.
3. الدعوة مجدداً للدول العربية الراغبة في اجراء تقييم للبيئة التمكينية لتنسيق قطاعي المياه والزراعة، التواصل مع الأمانة الفنية المشتركة والشركاء للنظر في إمكانية تقديم الدعم لها، مع التأكيد على ان البيئة التمكينية المستهدفة التي اقرتها الخطة التنفيذية لإعلان القاهرة تشمل:
   - وضع برامج الإدارة المثلى للمياه والزراعة،
   - ريادة الأعمال الزراعية،
   - تطوير واعتماد التقنيات الزراعية،
   - تأهيل البنية التحتية،
   - رفع مستوى الحماية الاجتماعية والقدرة على الصمود،
4. الاخذ علماً بإعداد الاسكوا مسودة الشروط المرجعية (مرفق2) لمجموعة العمل المشتركة لتعبئة الموارد المالية على المستوى الإقليمي وتكليف الأمانة المشتركة بتعميمها على الدول العربية لإبداء الملاحظات بشأنها في موعد أقصاه 2023/12/31، وتكليف الاسكوا بإدماج الملاحظات ومن ثم تعميم المسودة المعدلة على الدول العربية قبل عرضها مجدداً على الاجتماع الوزاري الذي يعقد في فبراير 2024.

5. الموافقة على انشاء مجموعة العمل المشتركة للمياه والزراعة، والمنبثقة عن اللجنة، المعنية بتعبئة الموارد ودعوة الدول العربية المنظمات الراغبة في الانضمام اليها وموافاة الأمانة المشتركة برغبتها في ذلك بالطرق المتبعة.

(ق1 – ل.م.ز.م– 2023/11/1)

البند الثاني: استخدام الموارد المائية غير التقليدية في الزراعة:

- إن اللجنة الفنية المشتركة وبعد اطلاعها على:

- مذكرة الأمانة الفنية للجنة،
- التقارير المقدمة من المنظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) حول الاستخدام الامن للحمأة الناتجة عن المياه المعالجة، تحلية المياه في المنطقة العربية، استخدام المياه الضاربة الى الملوحة في المنطقة العربية.
- وإذ احيط علماً بمداخلات كلاً من الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية، جمهورية الصومال الفيدرالية.
- توصية اللجنة المشتركة في هذا الخصوص،

وفي ضوء المناقشات،

توصـــــــي بـــــ

1- تقديم الشكر لمنظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) لإعدادها تقرير تحلية المياه (مرفق3) في المنطقة العربية والطلب من الأمانة المشتركة تعميمها على الدول العربية لإبداء الملاحظات في موعد أقصاه 2023/12/31.

2- الاخذ علماً بإعداد الفاو لتقرير الاستخدام الامن للحمأة الناتجة عن المياه المعالجة (مرفق4)، والطلب من الأمانة المشتركة تعميمها على الدول العربية لإبداء ملاحظاتها عليها في موعد أقصاه 31 ديسمبر 2023، ليتم ادماجها في التقارير بغرض عرضها في شكلها النهائي على الاجتماع الوزاري المشترك القادم. ودعوة منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) واللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب اسيا (الاسكوا) للعمل على تعبئة الموارد لتطوير وتنفيذ برنامج تدريبي توعوي حول استخدام الحمأة في الزراعة.

3- الاخذ علماً بإعداد الفاو لتقرير استخدام المياه الضاربة الى الملوحة في المنطقة العربية (مرفق5)، والطلب من الأمانة المشتركة تعميمها على الدول العربية لإبداء ملاحظاتها عليها في موعد أقصاه 31 ديسمبر 2023، ليتم ادماجها في التقارير بغرض عرضها في شكلها النهائي على الاجتماع الوزاري المشترك القادم.

4- دعوة منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) واللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب اسيا (الاسكوا) اعداد دراسة فنية حول اقتصاديات استخدام مياه التحلية للزراعة.

5- تقديم الشكر الى كل من دولة فلسطين، المملكة الأردنية الهاشمية ، الجمهورية التونسية ودولة ليبيا لبدئها في اعداد خطط سلامة الصرف الصحي وتنفيذها على مستوى تجريبي لديها ودعوة منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) واللجنة الاقتصادية والاجتماعية

لغرب اسيا (الاسكوا) الاستمرار في دعمها، ودعوتها النظر في دعم الدول العربية الأخرى الراغبة في اعداد خطط سلامة الصرف الصحي (sanitation safety plan) وتنفيذها على مستوى تجريبي في إطار إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة، ورفع تقرير حول التقدم المحرز الى الاجتماع القادم للجنة المشتركة.

(ق2 – ل.م.ز.م– 2023/11/1)

البند الثالث: التطبيق الطوعي للمبادئ التوجيهية لتحصيص المياه للزراعة:

- إن اللجنة الفنية المشتركة وبعد اطلاعها على:
  - مذكرة الأمانة الفنية للجنة،
  - وإذ استمعت لمداخلة الجمهورية الصومالية الفيدرالية.
  - وإذ اطلعت على توصية اللجنة في هذا الخصوص،

وفي ضوء المناقشات،

توصـــــــي بـــــ

1. تقديم الشكر للدول التي بدأت في التطبيق التجريبي للمبادئ الاسترشادية لتحصيص المياه للزراعة والطلب من منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) واللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب اسيا (الاسكوا) مواصلة دعم هذه الدول في اعداد وتنفيذ خطط تحصيص المياه للزراعة على المستوى الوطني، ورفع النتائج الى الاجتماع القادم للجنة المشتركة.
2. الاخذ علماً بطلب كل من السودان وليبيا الاستفادة من تجربة التطبيق التجريبي للمبادئ الاسترشادية لتحصيص المياه للزراعة، ودعوة الدول العربية الأخرى الراغبة في الالتحاق بتجربة التطبيق التجريبي للمبادئ الاسترشادية لتحصيص المياه للزراعة ارسال طلبها الى الأمانة الفنية المشتركة لتمكين الشركاء من تعبئة الموارد اللازمة للبدء في عملية التطبيق.
3. الاخذ علماً بطلب الجمهورية اليمنية دعمها لإعداد رؤية وطنية لتحصيص المياه بما في ذلك للزراعة، ودعوتها لمخاطبة منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) لطلب الدعم اللازم لذلك.

(ق3 – ل.م.ز.م– 2023/11/1)

البنـد الرابع: سد نقص البيانات في مجالات المياه والزراعة بتطبيق المعلومات المكانية (الاستشعار عن بعد والبيانات الجغرافية):

- إن اللجنة الفنية المشتركة وبعد اطلاعها على:
  - مذكرة الأمانة الفنية للجنة،
  - توصية اللجنة في هذا الخصوص،
- وفي ضوء المناقشات،

توصـــــــي بـــــ

1. (أ) تقديم الشكر منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) على مقترحها لبرنامج تدريبي لتنمية القدرات لاستخدام تكنولوجيا المعلومات الجغرافية المكانية لسد الفجوات في البيانات ودعم اتخاذ القرار في قطاعي المياه والزراعة (مرفق6)، والطلب من الأمانة المشتركة تعميم المقترح على الدول العربية لأخذ ملاحظاتها ومن ثم البدء في تنفيذه وفق الإطار الذي أعدته منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) المرفق.

   (ب) الطلب من منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) واللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب اسيا (الاسكوا) العمل على تعبئة الموارد اللازمة لإعداد وتنفيذ البرنامج التدريبي واستدامته، وكذلك اعداد كتيب حول المصطلحات المتعلقة بالبيانات في مجال المياه والزراعة وتطبيقات المعلومات المكانية.

   (ج) دعوة الدول الراغبة في الاستفادة من البرنامج التدريبي ارسال طلبها الى الأمانة الفنية المشتركة في موعد أقصاه 31 ديسمبر 2023.
2. دعوة الدول العربية للاستفادة من المبادئ التوجيهية لاستخدام بيانات الطقس والمناخ، والسعي لتوسيع شبكات الرصد وتحسين جودة البيانات والنشر، وتفعيل خدمات الإنذار المبكر للزراعة، ووضع خطط تكيُّف وطنية وتقييم للمخاطر، وتعزيز التعاون، والتدريب والتوعية، وتطوير واستعمال تطبيقات زراعية، وسد الفجوة بين البحث العلمي والخدمات الإرشادية وصغار المزارعين، مع الاستفادة من المنتديات العربية للتوقعات المناخية، وتطوير مركز فعال للمعلومات المتعلقة بالمياه والزراعة، والنظر في إمكانية إنشاء مراكز للإنذار المبكر للدول العربية، وتوفير التمويل للعمل المناخي في قطاع الزراعة.
3. دعوة اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب اسيا (الاسكوا) ومنظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) للنظر في إمكانية عقد دورات تدريبية حول نمذجة تأثير التغيرات المناخية على قطاعي المياه والزراعة.

(ق4 – ل.م.ز.م– 2023/11/1)

البند الخامس: تعزيز صمود قطاعي الزراعة والمياه في مواجهة آثار التغيرات المناخية

إن اللجنة الفنية المشتركة وبعد اطلاعها على:

- مذكرة الأمانة الفنية للجنة،
- العرض المقدم من المكتب الإقليمي للشرق الأدنى وشمال أفريقيا لمنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو) بشأن استحداث بند بعنوان تعزيز صمود قطاعي الزراعة والمياه في مواجهة آثار التغيرات المناخية (مرفق 7 العرض المقدم من المنظمة).
- توصية اللجنة في هذا الخصوص،

وفي ضوء المناقشات،

توصـــــــي بـــــ

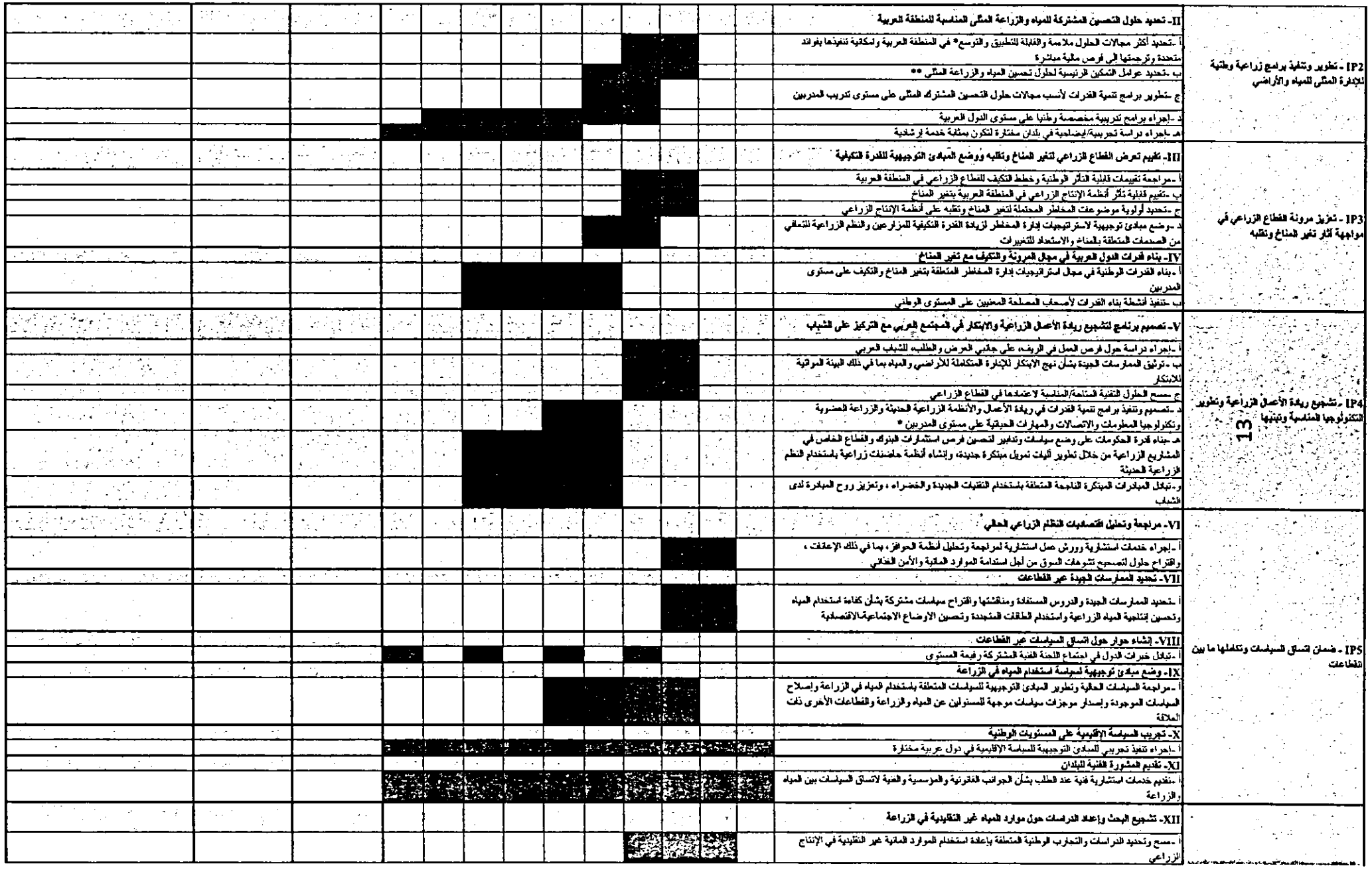
الطلب من اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب اسيا (الاسكوا) ومنظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) اتخاذ إجراءات وتقديم مقترحات والعمل على اعداد مشاريع بالتعاون مع الأمانة الفنية المشتركة والشركاء لتقوية صمود قطاعي المياه والزراعة في الدول العربية وتعزيز قدرات الدول العربية لتحقيق ذلك، ومن ثم عرضها على الدول لاتخاذ الاجراء المناسب حولها.

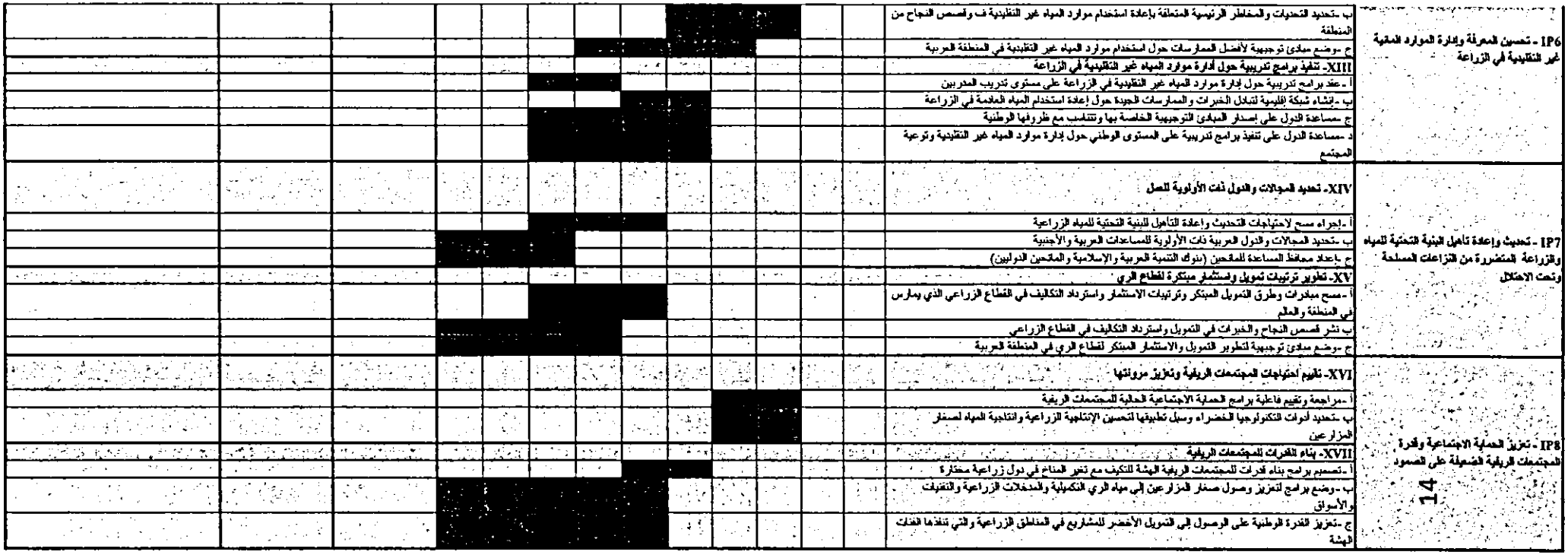
(ق5 – ل.م.ز.م– 2023/11/1)

المرفقات

مرفق (1)

خارطة الخطة التنفيذية لإعلان القاهرة 2019	المبادرات / خطة العمل / العملية (ما الذي يجب القيام به لتحقيق ذلك)	الإطار الزمني 2022	2023	2024	2025	2026	الدولة المهتمة بالتنفيذ	المنظمة المهتمة بالتنفيذ	الموازنات والموارد يتم تقدير الميزانية بواسطة أصحاب المصلحة
العوامل الممكنة للتعلم والنمو والابتكار									
LG1 - تعزيز التنسيق ما بين قطاعات المياه والأراضي/الزراعة على المستويين الإقليمي والوطني	I- الحصول على الموافقة على خطة العمل								
	أ- تحديد التحديات الرئيسية للقطاعات التي تحتاج إلى استجابة منسقة (تم)								الأمانة الفنية المشتركة
	ب -إعداد خطة عمل لتنفيذ إعلان القاهرة ومناقشتها والمصادقة عليها (تم)								الأمانة الفنية المشتركة
	ج -تشكيل فريق عمل من الامانة المشتركة لتنسيق ومتابعة تنفيذ الخطة								الأمانة الفنية المشتركة
	II- ضمان الالتزام من الدول والتنسيق القوي والمستمر								
	أ -تعيين نقاط اتصال ثابتة وبديلة من قطاعي المياه والزراعة في كل بلد								
	ب -إعداد تقارير وطنية عن المستوى الحالي للتنسيق بين المياه والزراعة (ملاحظة: تقوم السكرتارية/الامانة الفنية المشتركة باعداد نموذج التقرير وإعداد تقرير تجميعي)								
LG2 - تنمية القدرات المؤسسية والفردية واستخدام التقنيات في قطاعات المياه والأراضي/الزراعة	III- تنفيذ برامج بناء القدرات في الإدارة المتكاملة للأراضي والمياه								
	أ -اجراء تقييم للاحتياجات من القدرات المطلوبة (معرفة ومهارات) لتفعيل التخطيط المشترك								
	ب -مراجعة أدوات ومنصات التخطيط والإدارة المتاحة بهدف اعتماد المناسبة منها								
	ج -تنظيم أنشطة بناء قدرات إقليمية على مستوى المدربين في التخطيط والإدارة المتكاملة للأراضي والمياه								
	د -تنفيذ أنشطة بناء القدرات الوطنية لأصحاب المصلحة المعنيين بشأن الإدارة المتكاملة للأراضي والمياه								
	IV- تعزيز تبادل الخبرات بين الدول العربية								
	أ -تسهيل تبادل الخبرات والمبادرات المبتكرة الناجحة والتقنيات المناسبةمن خلال توأمة المؤسسات المحلية والتشبيك								
LG3 - تحسين جمع البيانات وإدارة المعلومات والبحوث والخبرات	V- تطوير وتحديث آليات جمع وتحليل وتبادل البيانات والإحصاءات المتعلقة بالمياه والأراضي								
	أ -مسح وتحديد فجوات البيانات وتحديث آليات جمع البيانات وتحليلها ومشاركتها بين مؤسسات المياه والزراعة								
	ب -إنشاء آليات وطنية وبناء القدرات الوطنية والإقليمية من خلال برامج التدريب على نظم معلومات إدارة المياه والزراعة وتقنيات تحليل البيانات								
	VI- تعظيم الفوائد الاجتماعية والاقتصادية والبيئية المتعلقة بحوكمة المياه والأراضي								
	أ - البحوث متعددة التخصصات حول القضايا المتعلقة بالتنمية الريفية الشاملة والإدارة المتكاملة لموارد الأراضي والمياه								
	ب -اعتماد الأدوات المناسبة لتبادل الخبرات الناجحة وأفضل الممارسات بين الدول								
LG4 - تهيئة بيئة ممكنة لجذب وتحفيز الاستثمارات والشراكة	VII- وضع إرشادات لتعزيز العائد على الاستثمار الحكومي وتشجيع الشراكة بين القطاعين العام والخاص للتمويل								
	أ -تحديد المعوقات الرئيسية للشراكة بين القطاعين العام والخاص من حيث السياسات واللوائح								
	ب -تحديد أفضل الممارسات في المنطقة والعالم ووضع إرشادات مؤسسية وتشريعية حول الشراكة بين القطاعين العام والخاص								
	ج -اجراء تقييمات وطنية لزيادة عائد الاستثمارات الحكومية عبر القطاعات								
	د -وضع ورقة سياسة بقابلية لمشاركة القطاع الخاص في قطاع الري وتعزز عقد الاستثمار الحكومي								
	VIII- جذب المانحين وجمع التبرعات في مجالي المياه والزراعة								
	أ -إنشاء مجموعة عمل مشتركة حول جلب الدعم والمنح المالية على المستوى الوطني								
	ب -وضع مبادئ توجيهية بشأن البيئة التمكينية لتعزيز الآليات المشتركة في الإدارة المتكاملة للأراضي والمياه								
	ج -إنشاء بيئة تمكينية تعزز آليات التمويل المشترك من قبل المانحين في الإدارة المتكاملة للأراضي والمياه								
العمليات الداخلية									
IP1 - تعزيز واجهة العلم والسياسات والابتكار التقني والتفاعل بينها	I- تعزيز السياسات القائمة على الأدلة العلمية								
	أ - مراجعة للدراسات المتاحة وتحديد أوجه القصور في سياسات تكامل المياه والزراعة وتأثيرات تغير المناخ								
	ب -تحديد الخيارات المتاحة لتعزيز جوانب الاكتفاء الذاتي للأمن الغذائي وتقليل فواقد المياه وتعزيز استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة للري								
	ج -زيادة الاستثمار في البحث العلمي الزراعي وتطوير التقنيات والأنظمة الزراعية المبتكرة المناسبة للمناطق القاحلة والمقاومة لتغير المناخ								
	د -إشراك المؤسسات الأكاديمية والبحثية وتقديم الحوافز لها وإنشاء شبكة علمية في مجال سياسات وعلوم والابتكار التقني في مجال المياه والزراعة								


IP2 - تطوير وتنفيذ برامج زراعية وطنية للإدارة المثلى للمياه والأراضي
II- تحديد حلول التحسين المشتركة للمياه والزراعة المثلى المناسبة للمنطقة العربية
أ -تحديد أكثر مجالات الحلول ملاءمة والقابلة للتطبيق والتوسع* في المنطقة العربية وامكانية تنفيذها بفوائد متعددة وترجمتها الى فرص مالية مباشرة
ب -تحديد عوامل التمكين الرئيسية لحلول تحسين المياه والزراعة المثلى **
ج -تطوير برامج تنمية القدرات لأنسب مجالات حلول التحسين المشترك المثلى على مستوى تدريب المدربين
د -اجراء برامج تدريبية مخصصة وطنيا على مستوى الدول العربية
هـ -اجراء دراسة تجريبية/ايضاحية في بلدان مختارة لتكون بمثابة خدمة إرشادية
IP3 - تعزيز مرونة القطاع الزراعي في مواجهة آثار تغير المناخ وتقلبه
III- تقييم تعرض القطاع الزراعي لتغير المناخ وتقلبه ووضع المبادئ التوجيهية للقدرة التكيفية
أ -مراجعة تقييمات قابلية التأثر الوطنية وخطط التكيف للقطاع الزراعي في المنطقة العربية
ب -تقييم قابلية تأثر أنظمة الإنتاج الزراعي في المنطقة العربية بتغير المناخ
ج -تحديد أولوية موضوعات المخاطر المحتملة لتغير المناخ وتقلبه على أنظمة الإنتاج الزراعي
د -وضع مبادئ توجيهية لاستراتيجيات إدارة المخاطر لزيادة القدرة التكيفية للمزارعين والنظم الزراعية للتعافي من الصدمات المتعلقة بالمناخ والاستعداد للتغييرات
IV- بناء قدرات الدول العربية في مجال المرونة والتكيف مع تغير المناخ
أ -بناء القدرات الوطنية في مجال استراتيجيات إدارة المخاطر المتعلقة بتغير المناخ والتكيف على مستوى المدربين
ب -تنفيذ أنشطة بناء القدرات لأصحاب المصلحة المعنيين على المستوى الوطني
IP4 - تشجيع ريادة الأعمال الزراعية وتطوير التكنولوجيا المناسبة وتبنيها
V- تصميم برنامج لتشجيع ريادة الأعمال الزراعية والابتكار في المجتمع العربي مع التركيز على الشباب
أ -اجراء دراسة حول فرص العمل في الريف، على جانبي العرض والطلب، للشباب العربي
ب -توثيق الممارسات الجيدة بشأن نهج الابتكار للإدارة المتكاملة للأراضي والمياه بما في ذلك البيئة المواتية للابتكار
ج -مسح الحلول التقنية المناسبة/المناسبة لاعتمادها في القطاع الزراعي
د -تصميم وتنفيذ برامج تنمية القدرات في ريادة الأعمال والأنظمة الزراعية الحديثة والزراعة العضوية وتكنولوجيا المعلومات والاتصالات والمهارات الحياتية على مستوى المدربين *
هـ -بناء قدرة الحكومات على وضع سياسات وتدابير لتحسين فرص استثمارات البنوك والقطاع الخاص في المشاريع الزراعية من خلال تطوير آليات تمويل مبتكرة جديدة، وإنشاء أنظمة حاضنات زراعية باستخدام النظم الزراعية الحديثة
و -تبادل المبادرات المبتكرة الناجحة المتعلقة باستخدام التقنيات الجديدة والخضراء ، وتعزيز روح المبادرة لدى الشباب
IP5 - ضمان اتساق السياسات وتكاملها ما بين القطاعات
VI- مراجعة وتحليل اقتصاديات النظام الزراعي الحالي :
أ -إجراء خدمات استشارية وورش عمل استشارية لمراجعة وتحليل أنظمة الحوافز ، بما في ذلك الإعانات ، واقتراح حلول لتصحيح تشوهات السوق من أجل استدامة الموارد المائية والأمن الغذائي
VII- تحديد الممارسات الجيدة عبر القطاعات
أ -تحديد الممارسات الجيدة والدروس المستفادة ومناقشتها واقتراح سياسات مشتركة بشأن كفاءة استخدام المياه وتحسين إنتاجية المياه الزراعية واستخدام الطاقات المتجددة وتحسين الأوضاع الاجتماعية-الاقتصادية
VIII- إنشاء حوار حول اتساق السياسات عبر القطاعات
أ -تبادل خبرات الدول في اجتماع اللجنة الفنية المشتركة رفيعة المستوى
IX- وضع مبادئ توجيهية لسياسة استخدام المياه في الزراعة
أ -مراجعة السياسات الحالية وتطوير المبادئ التوجيهية للسياسات المتعلقة باستخدام المياه في الزراعة وإصلاح السياسات الموجودة وإصدار موجزات سياسات موجهة للمسئولين عن المياه والزراعة والقطاعات الأخرى ذات الملائمة
X- تجريب السياسة الإقليمية على المستويات الوطنية
أ -اجراء تنفيذ تجريبي للمبادئ التوجيهية للسياسة الإقليمية في دول عربية مختارة
XI- تقديم المشورة الفنية للبلدان
أ -تقديم خدمات استشارية فنية عند الطلب بشأن الجوانب القانونية والمؤسسية والفنية لاتساق السياسات بين المياه والزراعة
XII- تشجيع البحث وإعداد الدراسات حول موارد المياه غير التقليدية في الزراعة
أ -مسح وتحديد الدراسات والتجارب الوطنية المتعلقة بإعادة استخدام الموارد المائية غير التقليدية في الإنتاج الزراعي


IP6 - تحسين المعرفة وإدارة الموارد المائية غير التقليدية في الزراعة
ب -تحديد التحديات والمخاطر الرئيسية المتعلقة بإعادة استخدام موارد المياه غير التقليدية ف وتصميم النجاح من المنطقة
ح -وضع مبادئ توجيهية لأفضل الممارسات حول استخدام موارد المياه غير التقليدية في المنطقة العربية
XIII- تنفيذ برامج تدريبية حول إدارة موارد المياه غير التقليدية في الزراعة
أ -عقد برامج تدريبية حول إدارة موارد المياه غير التقليدية في الزراعة على مستوى تدريب المدربين
ب -إنشاء شبكة إقليمية لتبادل الخبرات والممارسات الجيدة حول إعادة استخدام المياه المعالجة في الزراعة
ج -مساعدة الدول على إصدار المبادئ التوجيهية الخاصة بها وتتناسب مع ظروفها الوطنية
د -مساعدة الدول على تنفيذ برامج تدريبية على المستوى الوطني حول إدارة موارد المياه غير التقليدية وتوعية المجتمع
IP7 - تحديث وإعادة تأهيل البنية التحتية للمياه والزراعة المتضررة من النزاعات المسلحة وتحت الاحتلال
XIV- تحديد المجالات والدول ذات الأولوية للعمل
أ -إجراء مسح لاحتياجات التحديث وإعادة التأهيل للبنية التحتية للمياه الزراعية
ب -تحديد المجالات والدول العربية ذات الأولوية للمساعدات العربية والأجنبية
ح -إعداد مخطط المساعدة للمانحين (بنوك التنمية العربية والإسلامية والمانحين الدوليين)
XV- تطوير ترتيبات تمويل واستثمار مبتكرة لقطاع الري
أ -مسح مبادرات وطرق التمويل المبتكر وترتيبات الاستثمار واسترداد التكاليف في القطاع الزراعي الذي يمارس في المنطقة والعالم
ب نشر قصص النجاح والخبرات في التمويل واسترداد التكاليف في القطاع الزراعي
ح -وضع مبادئ توجيهية لتطوير التمويل والاستثمار المبتكر لقطاع الري في المنطقة العربية
IP8 - تعزيز الحماية الاجتماعية وقدرة المجتمعات الريفية الضعيفة على الصمود
XVI- تقييم احتياجات المجتمعات الريفية وتعزيز مرونتها
أ -مراجعة وتقييم فاعلية برامج الحماية الاجتماعية الحالية للمجتمعات الريفية
ب -تحديد أدوات التكنولوجيا الخضراء وسبل تطبيقها لتحسين الإنتاجية الزراعية وانتاجية المياه لصغار المزارعين
XVII- بناء القدرات للمجتمعات الريفية
أ -تصميم برامج بناء قدرات للمجتمعات الريفية الهشة للتكيف مع تغير المناخ في دول زراعية مختارة
ب -وضع برامج لتعزيز وصول صغار المزارعين إلى مياه الري التكميلية والمدخلات الزراعية والتقنيات والأسواق
ج -تعزيز القدرة الوطنية على الوصول إلى التمويل الأخضر للمشاريع في المناطق الزراعية والتي تنفذها الفئات الهشة

مرفق (2)

مسودة الشروط المرجعية

مجموعة العمل المشتركة لتعبئة الموارد المالية على المستوى الإقليمي

خلفية

تم إنشاء اللجنة الفنية المشتركة رفيعة المستوى للمياه والزراعة كذراع فني للمجلس الوزاري المشترك للمياه والزراعة في جامعة الدول العربية بموجب قرار الاجتماع الوزاري المشترك للمياه والزراعة في 4 نيسان/أبريل 2019، والذي نتج عنه أيضا اعتماد إعلان القاهرة لعام 2019.

خلال الاجتماع الرابع للجنة الفنية للمياه والزراعة يوم 18 تشرين الثاني/اكتوبر 2022، تم الاتفاق على انشاء مجموعة العمل المشتركة لتعبئة الموارد المالية على المستوى الإقليمي بناء على خطة عمل اعلان القاهرة. البند الأول من توصيات اللجنة نص كالتالي:

البند الأول: خطة العمل التنفيذية لإعلان القاهرة:

ثانياً: اعتماد الأولويات التالية ليتم تنفيذها خلال عام 2023:

5. تكليف الفاو والاسكوا بالتعاون مع الأمانة الفنية المشتركة اعداد مسودة الشروط المرجعية لمجموعة العمل المشتركة لتعبئة الموارد المالية على المستوى الإقليمي بغرض الإسراع في انشائها لتعزيز وتهيئة بيئة تمكينية لجذب وتحفيز الاستثمارات والشراكة.

تعريف مجموعة العمل المشتركة

تهدف مجموعة العمل المشتركة لتعبئة الموارد المالية على المستوى الإقليمي الى مساعدة الدول في خلق البيئة التمكينية وبناء القدرات اللازمة لجذب وتحفيز الاستثمارات والشراكات الممكنة لتمويل المشاريع المشتركة بين القطاعين.

العضوية

تتكون هذه المجموعة من الأمانة الفنية المشتركة والمنظمة العربية للتنمية الزراعية بدعم من الفاو والاسكوا ومن الدول التي ترغب في الانضمام.

كما يمكن لمجموعة العمل ان تستضيف ممثلين من الهيئات المانحة والجهات الاستثمارية في قطاعي المياه والزراعة للاطلاع على الفرص المتاحة واحاطة الدول علماً بالمستجدات وفرص التمويل.

المهام

لتحقيق الاهداف المذكورة أعلاه تتولى مجموعة العمل المشتركة المهام التالية:

أ- اقتراح طرق مبتكرة لتعبئة الموارد المطلوب لتنفيذ خطة عمل اللجنة

ب- التنسيق بين الدول العربية وتحليل المعلومات حول احتياجاتها التمويلية لمشاريع قطاعي المياه والزراعة،

ج- تحديد مصادر للتمويل وتعزيز الشراكات مع المنظمات المتخصصة ومؤسسات التمويل الوطنية والإقليمية والدولية،

د- وضع مقترحات مشاريع اقليمية مشتركة للتمويل واقتراح طرق مبتكرة لتعبئة الموارد المطلوبة

ه- رصد الفرص المتاحة للتمويل و حشد التمويل وتعزيز الاستثمارات من خلال تعبئة موارد القطاع الخاص و المنظمات المانحة

و- ربط الفرص التمويلية المتاحة مع المشاريع ذات الاولوية وترتيب حاجة الدول في الاستثمار في المشاريع المشتركة بين المياه والزراعة،

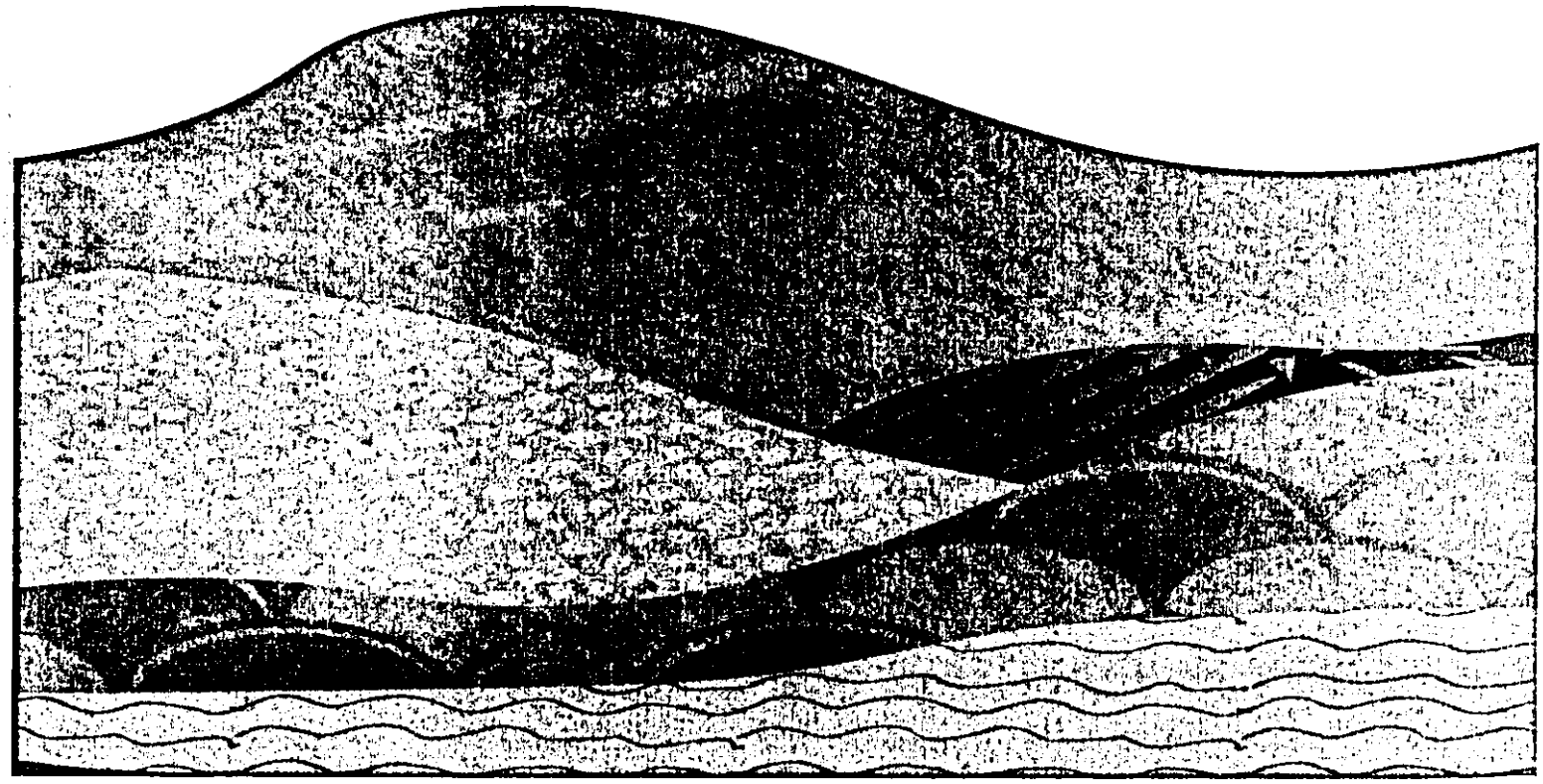
ز- دعم الدول في إعداد مشاريع عابرة للقطاعات قابلة للتمويل تتعلق بالزراعة والمياه،

ح- دعم الدول في بناء قدراتها لإعداد مشاريع قابلة للتمويل

مرفق (3)

الاجتماع الوزاري العربي المشترك للمياه والزراعة

واقع وتحديات وافاق تحلية المياه في المنطقة العربية



منظمة
الأغذية والزراعة
للأمم المتحدة

المحتويات

تنويه	**5**
الإختصارات	**6**
1. المقدمة	**8**
1.1. ندرة المياه في المنطقة العربية	8
1.2. نظرة عامة على تقنيات تحلية المياه	8
1.3. تقنيات التحلية الرئيسية: المميزات ونقاط الضعف	14
2. تحلية المياه في الوطن العربي	**16**
2.1. اتجاهات الطلب على المياه في العالم العربي	16
2.2. مصادر المياه غير التقليدية	18
2.3. الاعتماد على تحلية المياه في الوطن العربي	18
2.4. الاستخدام القطاعي لمياه التحلية في الوطن العربي	19
3. أبعاد تحلية المياه في المنطقة العربية	**20**
3.1. أبعاد تحلية المياه في المنطقة العربية	20
3.2. الأبعاد القانونية والسياسية	20
3.3. الأبعاد اقتصادية	21
3.4. الأطر المؤسسية والتنظيمية للاستثمار الخاص	25
3.5. السوق والتداول	26
3.6. المخاطر الإنشائية والفنية والتشغيلية	27
3.7. نظم التمويل	29
4. التحديات	**30**
4.1. التأثير البيئي	30
4.2. تحديات الإنشاء	30

4.3. جودة الهواء والبصمة الكربونية 30

4.4. البيئة البحرية 31

5. أفضل الممارسات 32

5.1. توافر البيانات والمعلومات وإمكانية الوصول إليها 32

5.2. توسيع وتحديث المراقبة الوطنية لتوافر المياه 32

5.3. تبادل البيانات والمعلومات عبر الحدود. 32

6. دور القطاع الخاص 33

6.1. شراء محطات التحلية 33

6.2. عقود التصميم والبناء والتشغيل (DBO) 34

6.3. عقود البناء والتشغيل والنقل (BOT) 34

6.4. البناء والامتلاك والتشغيل (BOO) 34

6.5. القيود المتعلقة بالتصور العام لمشاركة القطاع الخاص في الشراكة بين القطاعين العام والخاص 34

7. تنمية القدرات 36

7.1. الدرجات والأدوار الأكاديمية 37

7.2. البحث والتطوير 37

7.3. التدريب المهني والتقني 38

8. التوصيات والتوقعات المستقبلية 39

8.1. رؤى جديدة للتقنيات المبتكرة 39

8.2. الاستدامة المالية 39

8.3. الاستدامة البيئية 40

8.4. السعي لتحديث التشريعات والقوانين 40

8.5. الطلب على المياه في الثورة الصناعية الرابعة ودور التقنيات الهدامة 40

المصادر 42

تنويه

تم اعداد ومراجعة التقرير حول "واقع وتحديات وافاق تحلية المياه في المنطقة العربية" من قبل المكتب الاقليمي للشرق الادنى وشمال افريقيا لمنظمة الامم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) في اطار دعم الامانة الفنية المشتركة للاجتماع الوزاري المشترك للمياه والزراعة (المكونة من الامانة الفنية للمجلس العربي للمياه والمنظمة العربية للتنمية الزراعية) لتنفيذ توصية اللجنة الفنية المشتركة (للمياه والزراعة) رفيعة المستوى في اجتماعها المنعقد بتاريخ 18 اكتوبر 2022 والمتعلقة بالبند الثاني الخاص باستخدام الموارد المائية غير التقليدية في الزراعة. هذا وقد تم تنقيح النسخة الاولية للتقرير من خلال ادراج ملاحظات الدول عليها.

الإختصارات

GWI	المنظمة العالمية للمياه
MED	التقطير الومضي متعدد المراحل
MSF	التقطير متعدد التأثيرات
VC	ضغط البخار
SSD	التقطير الشمسي الثابت
SC	المداخن الشمسية
HDH	والترطيب وإزالة الرطوبة
RO	التناضح العكسي
CDI	إزالة الأيونات بالسعة الكهربائية
MD	التقطير بالأغشية
NF	الترشيح النانوي
FO	التناضح الأمامي
IXR	التبادل الأيوني
ED	الديلزة (الفرز الغشائي بالكهرباء)
MVC	البخار الميكانيكي
TVC	التبخير بالضغط الحراري
EDR	الفرز الغشائي المعاكس بالكهرباء
TDS	إجمالي المواد الصلبة الذائبة
SRF	إزالة الكبريتات
Capex	الإنفاق الرأسمالي
Opex	إجمالي النفقات التشغيلية

O&M	عمليات التشغيل والصيانة
DAF	التطويف بالهواء المذاب
IWRM	الإدارة المتكاملة لموارد المياه
SDGs	التنمية المستدامة
ASWS	الأمن المائي
PPP	الشراكة بين القطاعين العام والخاص
IWPP	مشروع المياه والطاقة المستقل
BOO	البناء والتشغيل
BOOT	بناء وامتلاك وتشغيل ونقل
EPC	الهندسة والمشتريات وعقد البناء
DBO	التصميم والبناء والتشغيل
BOT	البناء والتشغيل والنقل
MEDRC	مركز الشرق الأوسط لأبحاث تحلية المياه
SWCC	المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة
KISR	معهد الكويت للأبحاث العلمية
EDS	الجمعية الأوروبية لتحلية المياه
IWA	الرابطة الدولية للمياه
IDA	الرابطة الدولية لتحلية المياه
EPA	وكالة حماية البيئة الأمريكية
ZLD	التفريغ الصفري السائل

1. المقدمة

1.1. ندرة المياه في المنطقة العربية

الجفاف وشح الموارد المائية والسواحل الطويلة تجعل منطقة الدول العربية معرضة بشكل خاص لتأثير التغير المناخي. وتُعد المنطقة العربية أكثر مناطق العالم ندرة بالمياه، حيث يقل نصيب الفرد عن موارد المياه المستدامة 1،000 متر مكعب في السنة تقريبا. والذي يعتبر أقل بكثير من الحد الأدنى لموارد المياه المتجددة البالغ 1700 متر مكعب / سنة للفرد [1]. تتفاقم هذه المشكلة بسبب تغير المناخ حيث ترتفع درجات الحرارة العالمية وتنخفض مستويات هطول الأمطار، مما يؤدي إلى تناقص الموارد المائية. هنالك توقعات بانخفاض نصيب الفرد من المياه بمنطقة الدول العربية بمقدار النصف بحلول عام 2050، والذي بدوره سيؤدي إلى حدوث عجز بين العرض والطلب بنسبة زيادة تصل إلى 50 في المئة [2]. ومع ذلك، يمكن أن يقترن هذا بانخفاض الطلب على المياه العذبة إلى النصف. تساهم العديد من العوامل في ندرة المياه العذبة، مثل الاعتماد على موارد المياه المشتركة، والتلوث، وآثار تغير المناخ، والجفاف والظواهر الجوية الشديدة، ونضوب المياه الغير متجدده، والاستخدام غير الفعال للمياه، وارتفاع معدلات النمو السكاني. بالتالي تتطلب نقص المياه المتزايد إدارة مصادر مياه بديلة، مثل تحلية مياه البحر لإنتاج مياه نقية [3].

1.2. نظرة عامة على تقنيات تحلية المياه

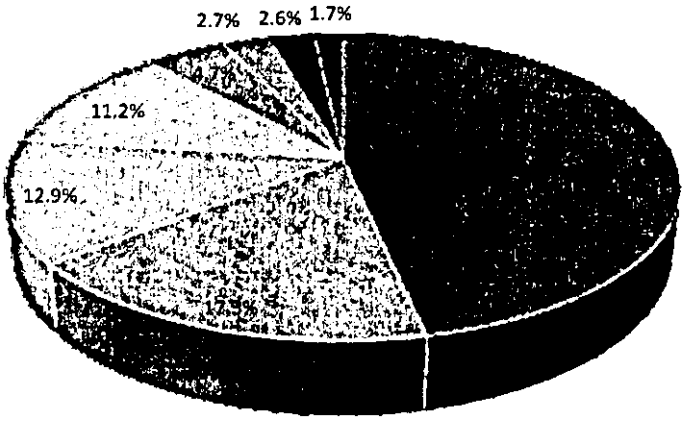
تزيل تحلية المياه الأملاح والمعادن من المياه المالحة لإنتاج مياه شرب نقية، وهي حل ناجع لنقص المياه، لا سيما في المناطق ذات المناخات الأكثر دفئًا وجفافًا. على الرغم من وجود محطات تحلية المياه في كل جزء من العالم تقريبًا والبعض قيد الإنشاء، إلا أن محطات التحلية تتركز بشكل كبير جدا بالمنطقة العربية، حيث تمثل 46.7٪ من الطاقة الإنتاجية العالمية (GWI) كما هو موضح في الشكل 1. المملكة العربية السعودية (عدد السكان 35 مليونًا) تستخدم حاليًا حوالي 60٪ من المياه الناتجة عن تحلية مياه البحر للاستخدام المنزلي. في أوائل القرن العشرين، بدأت مرافق التحلية التجارية في العمل وتم تطويرها بسرعة في المنطقة العربية. يقال إن شركة هولندية قامت ببناء أول محطة لتحلية المياه في منطقة الخليج عام 1907 في جدة بالمملكة العربية السعودية. تم إنشاء محطات تحلية المياه على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم خلال منتصف القرن العشرين، على الرغم من أن الشرق الأوسط كان أول منطقة يستخدمها. في المنطقة العربية، نمت محطات تحلية المياه بشكل كبير، بإجمالي سعة تبلغ 57 مليون متر مكعب في اليوم من 6782 وحدة تحلية قائمة على مياه البحر والمياه الجوفية ومياه الصرف ومياه الأنهار والمياه المالحة بحلول عام 2022 (GWI). تتراوح طاقة هذه المشاريع ما بين 100 إلى 1،000،000 متر مكعب في اليوم [4، 5].

تشتمل تقنية التحلية على ثلاث فئات رئيسية: التبخر والتكثيف، والترشيح، والتبلور. كان التبخير والتكثيف من أوائل عمليات التحلية التي تم إدخالها وتطبيقها لإنتاج المياه المحلاة. تستخدم هذه العمليات الطاقة الحرارية أو الميكانيكية لمياه البحر، وتنتج بخارًا، ثم تكثفها. أكثر التقنيات شيوعًا هي التقطير متعدد التأثيرات (MED)، والتقطير الومضي متعدد المراحل (MSF)، وضغط البخار (VC). يتم الآن دراسة البدائل الأخرى بما في ذلك التقطير الشمسي الثابت (SSD) والمداخن الشمسية (SC) والترطيب وإزالة الرطوبة

1 منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (2015)، تحصيص الموارد المائية: تقاسم المخاطر والفرص، دراسات منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي بشأن المياه، من منشورات منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، باريس.

(HDH). أما في فئة الترشيح، يعتبر التناضح العكسي (RO) هو أكثر تقنيات التحلية استخدامًا. يتم استخدام الفرز الكهربائي بالأغشية، الديلزة، (ED) والتبادل الأيوني (IXR) أيضًا لإنتاج الماء، ولكن لتحلية المياه منخفضة الملوحة. كما توجد تقنيات أخرى للتحلية مثل التناضح الأمامي (FO)، والترشيح النانوي (NF)، تقنية التقطير بالأغشية (MD)، وإزالة الأيونات بالسعة الكهربائية (CDI) ولكنها ما زالت في المراحل الأولى من التطوير [6].

الشكل 1. نسب إنتاج المياه المحلاة عالميا



المصدر: (GWI DesalData / IDA, 2022).

.1.2.1. التحلية الحرارية

ظلت التحلية الحرارية هي التقنية الأكثر شيوعًا وموثوقية لعدة عقود، ولكن نظرًا لاستهلاكها للطاقة، يتم الآن استبدالها إلى حد كبير بأنظمة تعتمد على الأغشية. يتطلب إنتاج 1000 متر مكعب في اليوم من المياه العذبة بالتقنيات الحرارية حوالي 10 آلاف طن من الوقود الأحفوري سنويًا. يعزى ذلك إلى متطلبات الطاقة الحرارية العالية (60-80 كيلو واط في المتر مكعب). ومع ذلك، تعتبر العمليات الحرارية مثالية لدول المنطقة العربية بسبب التكلفة المنخفضة للوقود الأحفوري وإمدادات الطاقة. يعتبر توفر الوقود الأحفوري السبب الرئيسي في أن دول الخليج العربي، وعلى رأسها الإمارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية، تستحوذ على ما يقرب من 90٪ من الطاقة الحرارية المستخدمة عالميًا في تطبيقات تحلية المياه. الطرق الرئيسية المستخدمة في فئة التقنيات الحرارية هي التبخير الومضي متعدد المراحل (MSF) والتقطير متعدد التأثير (MED) والتبخير بضغط البخار الميكانيكي (MVC) أو الحراري (TVC) [7].

يتم استخدام طريقة التبخير الومضي المتعدد المراحل (MSF) من قبل جميع دول مجلس التعاون الخليجي، ويتم استخدامها جنبًا إلى جنب مع محطات الطاقة المرتبطة بها. يرفع سخان المحلول الملحي مياه البحر التي تدخل النظام إلى درجة حرارة عالية خلال هذه العملية. بعدها يتم سكب الماء الساخن في غرف محكمة الإغلاق، بحيث تكون الغرفة الأولى أكثر سخونة من الغرفة التي تليها، وهكذا. عندما يدخل الماء إلى الغرف، فإنه يومض ليخرج ويتبخر. لأن الضغط في الغرفة التالية أقل، فيومض الماء عند درجة حرارة منخفضة. ناتج التقطير هو المياه العذبة المتراكمة في المرحلة

الأبرد أو النهائية، ومع زيادة تركيز مياه البحر من خطوة إلى أخرى، يتراكم المحلول الملحي ويتم التخلص منه في المرحلة النهائية. تتكون محطات التبخير الومضي المتعدد المراحل عادة من 18-25 مرحلة، ولكن يمكن أن تصل إلى 40 مرحلة [5].

يحدث التقطير متعدد التأثير (MED)، مثل التبخير الومضي المتعدد المراحل، على مراحل ويستخدم نفس مبادئ التبخر والتكثيف عند ضغط ينخفض تدريجيًا في كل مرحلة، ولكن دون إضافة حرارة إضافية. يتمثل الاختلاف الأساسي بين MSF وMED في عملية التبخر ونقل الحرارة، والتي تحدث عند درجة حرارة منخفضة (70 درجة مئوية لـ MED و90-110 درجة مئوية لـ MSF) [4]. علاوة على ذلك، تعد MED أول العمليات الحرارية الرئيسية، حيث يتم ضخ المياه المالحة من خلال أنابيب ساخنة لتتبخر من خلال الفتحات. مع ذلك، إذا كان الماء شديد التعكر، يمكن أن تسد هذه الفتحات بالكلس والملوثات. بسبب هذه المخاوف، بدأ التقطير بالMSFبالانتشار بعد عام 1960. ونتيجة لمزيد من التحسينات التكنولوجية، تتنافس MED الآن مع MSF تقنيًا واقتصاديًا، لكن التقطير MSF لا يزال تقنية موثوقة ومثبتة وتعتبر تقنية فعالة من حيث التكلفة في المناطق التي تكون فيها أسعار الوقود منخفضة.

إلى جانب MED وMSF، تعد تقنية التبخير بضغط البخار الميكانيكي (MVC) أو الحراري (TVC) تقنية تحلية مهمة قائمة على الحرارة يتم فيها تحويل المياه المالحة إلى بخار عبر مبادل حراري ثم ضغطها ميكانيكيًا أو حراريًا. بغض النظر عن الطريقة المستخدمة لصنع البخار، يتم تكثيف البخار في ناتج التقطير عن طريق المرور عبر مبادل حراري. ومع ذلك، فإن السمة المهمة لـ MVC هي أن حوالي 100٪ من الحرارة الكامنة الناتجة عن بخار الماء تنتقل إلى المحلول الملحي؛ ووفقًا لعملية الاسترداد، لا يلزم سوى القليل من الحرارة الخارجية [4].

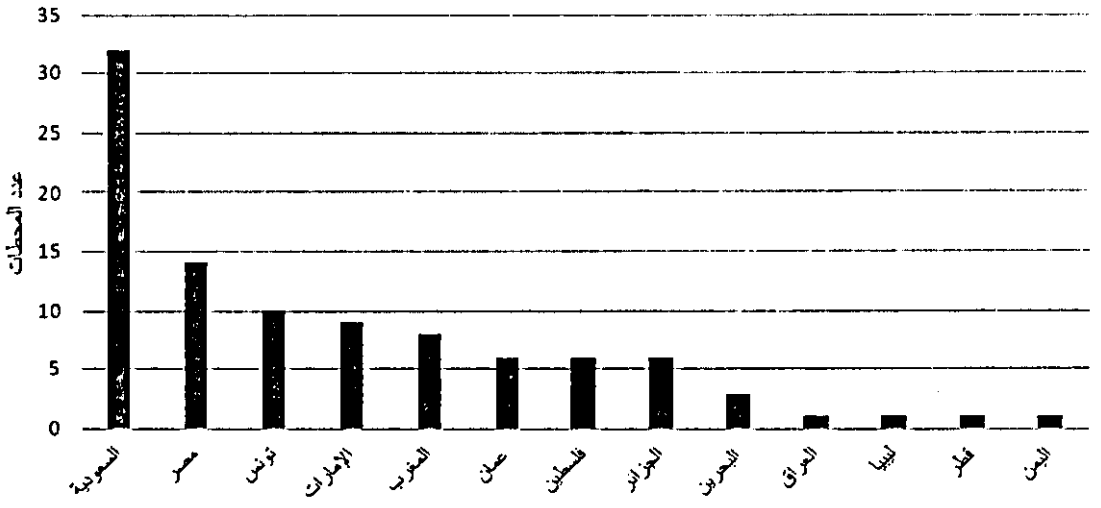
1.2.2. التحلية بالأغشية

تستخدم تقنية التحلية القائمة على الأغشية لتحلية مياه البحر وسيط من أغشية. ازدادت شعبية هذه التقنيات منذ عام 2000 حيث إن ما يقرب من 70٪ من عمليات التحلية تعتمد الآن على الأغشية. تقنية التقطير بالأغشية هي تقنية فصل تعتمد على الاختلاف الحراري تمر فيها جزيئات البخار فقط عبر غشاء دقيق المسام. يقود فرق ضغط البخار الناتج عن اختلاف درجة الحرارة عبر الغشاء الطارد للماء بعملية التقطير بالأغشية. لذلك فهي تقنية واعدة للغاية لتحلية المياه شديدة الملوحة. علاوة على ذلك، توفر هذه التقنية العديد من الخصائص الجذابة، بما في ذلك اعتمادها على درجات حرارة أقل لتشغيلها مقارنة بتقنيات التحليل الحراري حيث إنه لا يستدعي وصول الماء لدرجة الغليان. علاوة على ذلك، فإن الضغط الهيدروستاتيكي المستخدم أقل من ذلك الذي تحتاجه عمليات الغشاء المدفوعة بالضغط مثل التناضح العكسي (RO) [8]. في المنطقة العربية، لا توجد بيانات عن عدد محطات التحلية التي تستخدم MD التي سيتم بناؤها بين عامي 2020 و2030 بناءً على GWI / desaldata.

التناضح العكسي (RO) عبارة عن تقنية تحلية قائمة على الأغشية تُستخدم على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم وتعتبر واحدة من أكثر طرق التحلية كفاءة. التناضح العكسي هو عملية مدفوعة بالضغط يحدث فيها الفصل عبر آلية انتشار المحلول عبر غشاء شبه نفاذ. التناضح العكسي لا يعتمد على التسخين وإنما يعتمد على مضخات طرد مركزي ذات ضغط عالي. يتطلب وجود الطاقة الكهربائية لتشغيل مضخات الطرد المركزي عالية الضغط، ويتم تحديد مقدار الضغط المطلوب من خلال ملوحة المياه المراد تنقيتها. المحلول المركز المرتجع، والمعروف بالمحلول الملحي، يتم إرجاعه إلى البحر. من الناحية التجارية، تشتمل عملية التناضح العكسي على المعالجة المسبقة، حيث يتم معالجة مياه التغذية الواردة غالبًا بالمواد الكيميائية لجعلها أكثر ملاءمة لأغشية التناضح العكسي عن طريق تقليل التعكر والبكتيريا والملوثات والمواد الصلبة ومؤشر كثافة الطمي. من أهم محطات التحلية القائمة على التناضح العكسي محطة الشقيق 3، التي تعد واحدة من أكبر محطات تحلية المياه في المملكة العربية السعودية بسعة إنتاج تبلغ 450 ألف متر مكعب في اليوم، ما يكفي لتلبية احتياجات 2 مليون شخص [4].

تعتبر تحلية المياه بالتناضح العكسي أسرع تقنيات تحلية المياه نمواً في العالم، بقيمة سوقية تبلغ 9.227 مليار دولار أمريكي متوقعة بحلول عام 2022. بالنسبة لمياه البحر (SWRO)، يتراوح الضغط الهيدروليكي بين 55 و70 بار، بينما بالنسبة للمياه الجوفية المالحة، فإن الضغط يتراوح بين 15 و 40 بار عند استخدام مياه جوفية شديدة الملوحه. وكمثال على ذلك طبقة أم الرمضة بمملكة البحرين حيث يبلغ مجموع الأملاح الذائبة (TDS) 13500 ملجم|لتر . من المتوقع تشغيل وتشييد 98 محطة لتحلية المياه باستخدام تقنية التناضح العكسي بين عامي 2020-2030 في الوطن العربي، بسعة تتراوح بين 100 و مليون متر مكعب في اليوم. جميع محطات التناضح العكسي المخططة موجودة في مواقع برية باستثناء ثلاث محطات متحركة في المملكة العربية السعودية. يوضح الرسم البياني في الشكل 2 توزيع هذه المحطات في المنطقة العربية. ستمتلك المملكة العربية السعودية أكبر عدد من هذه المحطات، تليها تونس والإمارات. كذلك من المتوقع أن تمتلك قطر وليبيا والعراق واليمن محطة واحدة جديدة لتحلية المياه بالتناضح العكسي.

الشكل 2. توزيع محطات التحلية القائمة على التناضح العكسي (2020-2030)



المصدر: (GWI DesalData / IDA).

تُستخدم الكهرباء لتشغيل تقنيات تحلية المياه القائمة على الأغشية. يمكن أن تُعزى أغلب سعة المياه المحلاة في سلطنة عُمان، ونصفها تقريبًا في المملكة العربية السعودية إلى تقنية التناضح العكسي (RO) في عمليات التحلية القائمة على الأغشية. كجزء من مشروع تقوم بتطويره الشركة السعودية للكهرباء، تم افتتاح مشروع رابغ 3 في عام 2022، مع إمكانية أن يصبح أحد أكبر محطات تحلية مياه البحر القائمة على الأغشية في العالم، وذو دور رئيسي في إمداد المملكة بالمياه المحلاة.

تقنية الديلزة (الفرز الغشائي بالكهرباء) (ED) هي تقنية تحلية تعتمد على الأغشية وهي تقنية شبيهة بتقنية التبادل الأيوني. تعتمد هذه التقنية على جذب الأيونات الموجودة في الماء إلى أقطاب كهربائية ذات شحنة معاكسة. تعتمد هذه التقنية على استخدام الأغشية الانتقائية التي تسمح للأنيونات أو الكاتيونات (ولكن ليس كليهما) بالمرور عند وضعها بين زوج من الأقطاب الكهربائية. تُستخدم وحدات الديلزة عادةً لتحلية المياه قليلة الملوحة (المياه الجوفية أو السطحية). تستخدم تقنية الفرز الغشائي المعاكس بالكهرباء (EDR) لتقليل تلوث الغشاء والتكلس. تختلف

هذه التقنية عن سابقتها باعتمادها على عكس القطبية الكهربائية بعد فترة زمنية محددة. مثل التناضح العكسي، يتطلب نظامي ED وEDR مضخة لدفع الماء عبر الأغشية، ولكنه يكون بضغط أقل (وتكلفة أقل) مقارنة بتقنية التناضح العكسي [9]. نظرًا لأن تقنية الديلزة أكثر مقاومة لتلوث الأغشية، فإن التكاليف المرتبطة باستبدال الأغشية وتنظيفها يمكن أن تقلل التكلفة الإجمالية [7]. ونظرًا لأن ED يستخدم عادةً في المياه قليلة الملوحة مع مستويات منخفضة من إجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS)، فإن التكلفة غير مكلفة (حوالي 0.6 دولار / متر مكعب). تتميز تقنية الديلزة بقدرتها على تحقيق استرداد عال للمياه تتراوح بين 85-94٪ وجودة مياه منتجة عالية بتركيز للمواد الصلبة الذائبة من 140-600 مجم / لتر.

يعتبر التناضح الأمامي (FO) عملية جديدة جذبت اهتمام العاملين في مجال تحلية المياه بسبب العديد من الميزات المختلفة. توفر العملية الأساسية عمليات استرداد عالية النفاذية، تصل إلى 90٪ عند تحلية المياه قليلة الملوحة، ولا تتطلب استخدام ضغط عالي. تستخدم تحلية FO، مثل تحلية المياه بتقنية التناضح العكسي، غشاءً منفذاً بشكل انتقائي لفصل مياه التحلية عن مياه التغذية، مع وجود اختلاف في مستويات تركيز المواد المذابة على جانبي الغشاء الذي يقود عملية الفصل. تم ابتكار طريقة FO جديدة باستخدام الأمونيا وثاني أكسيد الكربون مع فوائد إضافية مثل زيادة قابلية ذوبان غاز الأمونيا وثاني أكسيد الكربون في الماء والضغط الأسموزي العالي لمحلول بيكربونات الأمونيوم المنتج. تتطلب هذه التقنية أقل من 0.25 كيلو واط للمتر المكعب من الطاقة لضخ السوائل حول الوحدة. نتيجة لذلك، تم تخفيض تكاليف التشغيل والصيانة بشكل كبير. بسبب هذه الفوائد، في عام 2009، تم إنشاء مرفق تناضح أمامي في منطقة خلوف في سلطنة عمان. تبلغ سعة هذا المصنع 100 متر مكعب في اليوم، وعند مقارنته مع التناضح العكسي لمياه البحر القريبة، فإنه يعمل بنفس السعة بدون تنظيف كيميائي [5].

الترشيح النانوي (NF) هو طريقة ترشيح غشائية تستخدم لإزالة الأيونات الذائبة أو المواد العضوية من الماء لتوليد الماء بتركيز محدود من الأيونات التي تسبب التكلس (Mg^{+2} ، Ca^{+2}...). يشبه التناضح العكسي بشكل عام هذا النهج. الفرق الرئيسي هو الإجراء المطلوب لاستخراج الأيونات من المياه المالحة. يستخدم NF غشاء نصف نفاذ، وقوة الدفع الخاصة به هي الضغط الهيدروليكي [6]. تشير كلمة «نانو» إلى أقطار المسام في الغشاء، والتي تتراوح من 1 إلى 10 نانومتر، مما يجعلها أصغر من تلك المستخدمة في تقنيات الترشيح الأخرى (الترشيح الدقيق والترشيح الفائق) ولكنها أكبر من تلك الخاصة بتقنية التناضح العكسي. نتيجة لذلك، بكفاءة 90٪ إلى 98٪، تزيل هذه الطريقة بشكل أساسي الأيونات ثنائية التكافؤ (على سبيل المثال ، Ca^{+2} و Mg^{+2}). في حين أنه يتمكن من إزالة الأيونات أحادية التكافؤ بنسبة بين 60٪ و85٪. هناك محطتان لتحلية المياه تعملان بتقنية NF في عام 2020 في المنطقة العربية، واحدة في المملكة العربية السعودية تسمى مشروع مرافق إزالة الكبريتات (SRF) - محطة حزمة الترشيح النانوي (NF) بسعة 69266 متر مكعب في اليوم ومحطة أصغر في عمان بسعة 329 متر مكعب في اليوم. لا يزال هنالك توجه لإنشاء محطة واحدة فقط بين 2020-2030 تعمل بتقنية NF. حيث ستكون هذه المحطة بالمملكة العربية السعودية، تحت مسمى محطة تبوك لمعالجة المياه (Nano Filtration) باستخدام المياه قليلة الملوحة أو المياه الجوفية حيث يبلغ إجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS) 3000 جزء في المليون - <20000 جزء في المليون. تستهدف إنتاج مياه الشرب بمستوى TDS من 10 جزء في المليون - <1000 جزء في المليون للاستهلاك المنزلي بالسعودية وستبلغ طاقتها 150000 متر مكعب في اليوم (GWI / desaldata).

1.2.3 تقنيات التحلية الناشئة

تقنية التقطير بالأغشية لتحلية المياه شديدة الملوحة

التقنيات «المستجدة» هي تلك التي لا تزال في مرحلة البحث والتطوير مثل التناضح الأمامي، التقطير الغشائي وإزالة الأيونات بالسعة الكهربائية. التقطير الغشائي (MD) هو تقنية فصل جديدة تجمع بين تقنيات التحلية الحرارية والقائمة على الأغشية مع القدرة على استخدام حرارة منخفضة. كما هو موضح

بإيجاز في طرق العمل للتقنيات المختلفة في قسم MD أعلاه، حيث تبقى الأيونات وغيرها من المواد المذابة غير المتطايرة في تيار التغذية المالحة. تم إجراء معظم دراسات تحلية المياه ذات الملوحة العالية على مستويات مخبرية ونماذج أولية معملية. ذكرت مقالة حديثة أن قطر تقوم بتشغيل محطة تقطير بالأغشية بسعة إنتاج 2 متر مكعب في اليوم (528 جالون في اليوم). تعالج هذه المحطة مياه مرتجعة من محطة تقطير مياه البحر بتركيز 70،000 جزء في المليون من إجمالي المواد الصلبة الذائبة محققة 34% ناتج المياه المعالجة. لم يتم حتى الآن تسجيل محطات تحلية تستخدم فقط نوع MD سواء لتحلية مياه البحر أو مياه شديدة الملوحة. المياه المنتجة من MD تحتوي على نسبة منخفضة جدًا من المواد الصلبة الذائبة لأن الأملاح بطبيعتها غير متطايرة، وعادة ما تكون أقل من 20 جزء في المليون بغض النظر عن ملوحة المدخلات. نتيجة لذلك يتميز نظام بالتقطير الغشائي بعدم تأثر إنتاجيته بزيادة ملوحة المياه الداخلة وبإنتاجه لمياه عالية النقاء. هناك ميزة أخرى يتم تسليط الضوء عليها بشكل متكرر وهي قدرة النظام على استخدام طاقة حرارية منخفضة الدرجة بدلاً من مدخلات الطاقة عالية الجودة [10].

تقنية التناضح الأمامي لتحلية المياه شديدة التلوث

التناضح الأمامي هو عملية معالجة تتكون من خطوتين لتحلية المياه. في الخطوة الأولى، يمتص المحلول المصمم عالي التركيز الماء تناضحيًا من تيار التغذية المالحة عبر غشاء شبه نفاذ بينما يتم فصل المياه العذبة عن التيار ذات التركيز المنخفض في المرحلة الثانية. تعتمد المرحلة الثانية على الفصل الحراري في أغلب الأحيان وتستخدم لإنتاج الماء العذب وإعادة توليد عامل السحب لإعادة تدويره مرة أخرى إلى الخطوة الأولى. تستخدم أغشية التناضح العكسي (RO) كغشاء شبه نفاذ لهذه التقنية، ولكن يعمل الخبراء لإنتاج أغشية خاصة بالتناضح الأمامي تكون أكثر فعالية. هناك العديد من الدراسات التي تناولت فعالية تقنية التناضح الأمامي في تحلية المياه عالية الملوحة، والمياه متوسطة الملوحة والمياه عالية التلوث. تستخدم تقنية التناضح الأمامي ضغط هيدروليكي منخفض (قريب من ضغط البيئة المحيطة) ولا يعتمد على تركيز مياه التغذية على عكس أغشية التناضح العكسي، التي تحتاج لضغط عال يتناسب مع ملوحة مياه التغذية. وقد ثبت أن ضغط العمل المنخفض هذا يقلل بشكل كبير من الآثار السلبية للتراكمات على أغشية التناضح الأمامي. تكون التراكمات في الغالب قابلة للإزالة ويمكن التخلص منها باستخدام عمليات تنظيف بسيطة نسبيًا. وبناءً على ذلك، يُظهر نظام التحلية الأمامي نتائج واعدة في معالجة واحدة من القضايا الرئيسية التي تواجه التقنيات القائمة على الأغشية لتحلية المياه شديدة التلوث ولتحقيق استرجاع كميات كبيرة من المياه [10].

تحلية المياه بالطاقة الشمسية

• تحلية المياه بالطاقة الشمسية المباشرة

تعتبر المقطرات الشمسية من بين أقدم أنواع التحلية الشمسية وأكثرها بساطة. يتم تبخير المياه المالحة مباشرة بواسطة الطاقة الشمسية في جهاز شمسي ثم تتكثف على شكل ماء مقطر ولذلك فإن إنتاجية التبخر بسيطة وأقل من المستويات المطلوبة للمياه العذبة المحلاة (بكفاءة 30-45٪ وإنتاجية المياه العذبة 5 لتر لكل متر مربع في اليوم). خلال العقود القليلة الماضية، تم دمج المقطرات الشمسية مع عمليات وتقنيات أخرى بما في ذلك السخانات والعاكسات والمكثفات لتحسين كفاءة تحلية المياه [11,12]. هناك نوعان من المقطرات الشمسية بناءً على تأثيرها: التأثير الفردي (التقطير الشمسي أحادي المنحدر) والمقطرات الشمسية متعددة التأثيرات. يبلغ معدل كفاءة التقطير الشمسي أحادية المنحدر 30-40٪. من ناحية أخرى، تعد المقطرات الشمسية متعددة التأثيرات أكثر كفاءة من مجموعة التأثير الفردي ولكنها أشد اعتمادا على الحرارة الكامنة للتكثيف [12].

• تحلية المياه بالطاقة الشمسية غير المباشرة

تُستخدم التقنيات الحرارية وغير الحرارية بشكل شائع في تحلية المياه بالطاقة الشمسية غير المباشرة. ولكن ينصب التركيز الأساسي على التناضح العكسي. حيث يعد فهم استخدام الطاقة في محطات التناضح العكسي أمرًا حيويًا لمعرفة الطريقة الأمثل لاستخدام الطاقة

الشمسية لتشغيلها. على الرغم من أن استهلاك الطاقة المحدد لمحطة التناضح العكسي تتضمن اسهام مرافق نظام التغذية والمعالجة قبل وبعد التحلية، والتخلص من المحلول الملحي، فإن نظام تحلية الأغشية يمثل 60-80٪ من استهلاك الطاقة. وفقًا لـ Bhambare et al [13]، تتلقى جميع محافظات سلطنة عمان متوسط إجمالي يومي للإشعاع الأفقي العالمي بين 6 و6.75 كيلو واط للمتر المربع مع مؤشر وضوح سماء عالي والأمر مشابه في معظم الدول العربية. نتيجة لذلك، يعتبر الوطن العربي من أفضل الوجهات لتطبيقات الطاقة الشمسية. ومع ذلك، فإن كامل إمكانات الطاقة الشمسية لم تتحقق بالكامل بعد. في 27 يوليو 2022، أعلنت كل من شركة TotalEnergies وVeolia عن اتفاقية لبناء أكبر محطة للطاقة الشمسية الكهروضوئية (PV) لتوفير الطاقة لنظام تحلية المياه بالتناضح العكسي في مدينة صور في سلطنة عمان. سيكون نظام الذروة 17 ميغاواط أول نظام يتم تركيبه في المنطقة وستنتج أكثر من ثلث الاستهلاك اليومي لمحطة التحلية، باستخدام أكثر من 30 ألف ميجاوات ساعة من الكهرباء سنويًا [14،15].

- **تقنية التحلية بنظام إزالة الأيونات بالسعة الكهربائية لتحلية المياه قليلة الملوحة**

نظرًا لوجود مياه قليلة الملوحة أكثر من المياه العذبة في الأرض، فمن الواضح أن استخدام موارد المياه قليلة الملوحة للاستهلاك البشري وللاستخدام السكني والزراعة والصناعة أمر جذاب بشكل خاص. برز نزع الأيونات بالسعة الكهربائية (CDI) مؤخرا كتقنية موثوقة وفعالة من حيث استهلاك الطاقة وقيمة تكلفة التحلية للمياه بتركيز ملح منخفض إلى متوسط. ترتبط كفاءة الطاقة لـ CDI للمياه التي تحتوي على تركيز ملح أقل من 10 جم / لتر [16]. تعتمد هذه التقنية على قدرة الأقطاب الكهربائية ذات مساحة السطح العالية على امتصاص المكونات الأيونية من الماء، مما يؤدي إلى تحلية المياه [17].

1.3. تقنيات التحلية الرئيسية: المميزات ونقاط الضعف

على الرغم من الملاءمة العالية للعمليات الحرارية لتحلية مياه البحر في البلدان ذات أسعار الوقود الأحفوري المنخفضة (الوطن العربي)، يوصى باستخدام التقنيات القائمة على الأغشية للتحلية في البلدان التي تشكل فيها أسعار الطاقة مصدر قلق كبير [18]. بالإضافة إلى ذلك، توفر تقنيات التحلية الغشائية حلاً أكثر شمولاً وتسمح بمعالجات تتناول كلاً من تأثير الملوحة وخصوصية سمات الملوثات الفردية. انخفضت تكلفة تقنيات الأغشية في السنوات الأخيرة، بينما اتسعت قابليتها للتطبيق في إجراءات معالجة وتحلية المياه المتنوعة. عند مقارنتها بالتقنيات الحرارية، تتميز العمليات الغشائية بكونها قابلة للتكيف، مع عمليات مساعدة مختلفة، في معالجة مياه الصرف واستعادة الموارد دون التأثير بشكل كبير على جودة المياه المنتجة أو متطلبات المساحة [19]. بالنسبة للمياه شديدة الملوحة، فإن التقطير بالأغشية لا يتأثر بالتراكمات عند مقارنته بالتناضح العكسي، بسبب عمله على ضغط هيدروليكي منخفض [10].

أنظمة التحلية الرئيسية المستخدمة صناعيًا هي التناضح العكسي والتقطير متعدد التأثيرات، والتقطير الومضي متعدد المراحل. أظهرت دراسة استدامة حديثة أجريت لمحطات تحلية مياه البحر في دولة الإمارات العربية المتحدة تفوق تحلية المياه بالتناضح العكسي مقارنة بمحطات التحلية الحرارية. طور الباحثون في هذه الدراسة نظام الاستدامة وقارنوها بنتيجة الاستدامة التي طورتها اليونسكو. أظهر كلا النظامين استدامة أعلى للتناضح العكسي. خلصت الدراسة إلى أنه على الرغم من أن تقنيات التحلية الحرارية لديهما استدامة أعلى من التناضح العكسي في النواحي الاجتماعية والتقنية والاقتصادية، إلا أن أداءهما أقل بسبب النواحي البيئية [20]. العوامل التي تم دراستها:

- العوامل البيئية والتي تشمل استخراج مياه البحر، وتأثير المياه المالحة المرتجعة، وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون، والآثار البيئية الأخرى، مساحة الأراضي المستخدمة
- العوامل التقنية الاقتصادية والتي تشمل موثوقية ومتانة التكنولوجيا التقنية الاقتصادية، وجودة المياه المنتجة، والتكتلات والتكلس، والتكلفة المعادلة لإنتاج المياه، وحساسية التكلفة المعادلة لإنتاج المياه، ومعدل العائد الداخلي.
- العوامل الاجتماعية والتي تشمل المستوى الاجتماعي للقبول الجمالي، ومستوى الضوضاء، وتوفير فرص العمل، والسلامة التكنولوجية، ومعدل استهلاك الوقود الأحفوري.

من بين تقنيات تحلية المياه الثلاثة الرائدة، يعتبر التناضح العكسي هو الأكثر استخدامًا. المزايا الرئيسية للتناضح العكسي هي:

- يتكيف بسهولة مع الظروف المتغيرة.
- قدرة إنتاجية مرنة
- توفير كبير في التكلفة في تحلية المياه الجوفية قليلة الملوحة
- معياري ويشغل مساحة أقل.

ومع ذلك، يتطلب التناضح العكسي معالجة مسبقة واسعة النطاق. حيث إنه يواجه مشكلة تلوث الأغشية بسبب تكوينه المعقد كما أنه يحتاج إلى أخصائيين أكفاء للتشغيل والصيانة.

2. تحلية المياه في الوطن العربي

2.1. اتجاهات الطلب على المياه في العالم العربي

في المناطق ذات المناخ القاحل وشبه القاحل، من المتوقع أن تتضاءل الموارد المائية المتاحة مما يتسبب في مشاكل ندرة المياه في جميع أنحاء العالم في المستقبل القريب. مع اشتداد ندرة المياه وزيادة الطلب على الغذاء، هناك طلب متزايد على الري في العديد من المناطق. أصبح من الضروري استكشاف خيارات إمدادات مياه بديلة. يتنافس الطلب المتزايد على استخدام المياه للأغراض المنزلية والصناعية مع التوسع في الزراعة المروية في المناطق التي تعاني من ندرة المياه، مما قد يؤدي إلى صراعات بين المستخدمين، وتخصيص المياه للقطاعات ذات الأولوية العالية على حساب الزراعة. شكل 3 يوضح نسب استهلاك المياه لكل قطاع.

يمكن تنفيذ العديد من الاستراتيجيات لتعزيز توافر موارد المياه للري، بما في ذلك تحديث البنية التحتية، وأنظمة الري الذكية، وعمليات نقل المياه الإقليمية. ومع ذلك، من غير المحتمل أن تؤدي أي من هذه الاستراتيجيات إلى زيادة موارد المياه التقليدية وإنما ستمكن فقط على تحسين استخدام المياه. الطريقة الوحيدة لزيادة إمدادات المياه بما يتجاوز ما هو متاح من الدورة الهيدرولوجية هي استخدام موارد المياه غير التقليدية (تحلية المياه وإعادة التدوير). قد تكون إعادة تدوير المياه العذبة وتحلية المياه الجوفية قليلة الملوحة محدودة بسبب إنتاج المياه العادمة المنزلية واستنفاذ الخزان الجوفي، ولكن تحلية مياه البحر هي وسيلة ضرورية لمعالجة مشكلة ندرة المياه العالمية، مما يوفر مصدرًا موثوقًا للمياه من أجل الإنتاج الزراعي المستدام [21].

بالمقارنة مع موارد المياه التقليدية، تمثل مياه البحر المحلاة مصدرًا وفيرًا وثابتًا للمياه دون التأثير سلبًا على النظم البيئية المائية الداخلية والخزانات الجوفية. في المناطق الساحلية القاحلة التي لا توجد بدائل واضحة للمياه، ولدت مياه البحر المحلاة عائدًا مرتفعًا للزراعة بسبب هذه الخصائص الجوهرية. شهدت السنوات الأخيرة زيادة كبيرة في تحلية المياه قليلة الملوحة لأغراض الزراعة حيث إن تكلفتها عادة ما تكون أقل من نصف تكلفة تحلية مياه البحر. كانت مياه البحر المحلاة مكلفة للغاية بحيث لا يمكن اخذها بالاعتبار لري المحاصيل، ولكنها تعتبر الآن خيار قابل للتطبيق في بعض المناطق. تعمل بعض الدول مثل الولايات المتحدة (فلوريدا وكاليفورنيا) وإسبانيا، حاليًا على تقييم أو التخطيط لتطبيق مياه البحر المحلاة في الزراعة [21, 22].

على الرغم من استخدام المياه المحلاة بشكل أساسي لزيادة المصادر التقليدية الأخرى لري المحاصيل، إلا أن الري المباشر يمارس أيضًا. في المستقبل القريب، من المتوقع أن تصبح مياه البحر المحلاة مصدرًا بديلاً أكثر أهمية للزراعة. كانت مياه البحر المحلاة في البداية مجرد حل للاحتياجات المنزلية والصناعية. ولكن مع تحسن تقنيات تحلية المياه وانخفاض تكاليف تحلية مياه البحر من المتوقع أن يمتد تطبيقها إلى قطاع الزراعة [21]. حاليا هنالك توجهات من بعض الدول العربية نحو استخدام مياه التحلية في عمليات السقي مثل المملكة المغربية. وذلك من خلال مشاريع محطة الدار البيضاء-سطات ومحطة تحلية مياه البحر الجهة الشرقية. كما أنه قبل عقدين من الزمن، اختبرت مصر قابلية تطبيق تحلية مياه البحر للري باستخدام محطات تحلية المياه التي أنتجت حوالي مليار متر مكعب [23]. خلص التحليل الاقتصادي إلى أن ري المحاصيل الموسعة مثل القمح والذرة والأرز بالمياه المحلاة غير

فعال اقتصاديًا. يوضح الجدول 1 محطات التحلية المختبرة وتكاليف تركيبها وإنتاجها. يتضح من الجدول أن تحلية مياه البحر لم تكن فعالة من حيث التكلفة لزراعة المحاصيل الحقلية. ومع ذلك، قد تكون زراعة الخضروات والفواكه عالية القيمة مجدية من حيث التكلفة. كذلك لم تشمل هذه التجربة استخدام تقنية التناضح العكسي التي أصبحت فيما بعد أكثر جدوى من التقنيات الأخرى

الجدول 1: أنواع محطات التحلية وتكاليف تركيبها وإنتاجها

أنواع محطة التحلية	تكلفة التركيب (US $/m3)	تكلفة إنتاج المياه (US $/m3)
التقطير الومضي متعدد المراحل	1200-1500	1.10-1.25
التقطير متعدد التأثيرات	900-1000	0.75-0.85

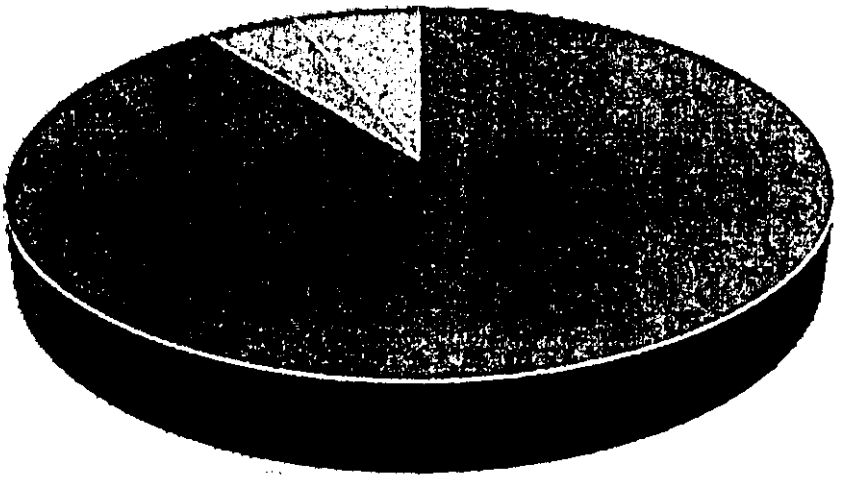
خلص خبراء في دراسة حديثة إلى أن تحلية المياه للمحاصيل ذات العائد المرتفع أصبحت مجدية اقتصاديًا، على الرغم من أن تكلفة التحلية لا تزال باهظة بالنسبة لمعظم الزراعة المروية. مع ذلك يجب مراعات العديد من العوامل عند التخطيط لاستخدام مياه البحر المحلاة لري المحاصيل. تعد الجودة الزراعية للمياه قضية حاسمة بالنسبة للري بمياه البحر المحلاة. عادةً ما تنتج أغشية التناضح العكسي ماء بمحتوى أملاح مذابة بتركيز أقل من 250 مجم / لتر، ودرجة حموضة حمضية، وعسرة مياه منخفضة للغاية. هذه الخصائص غير مناسبة لاستخدام المياه للأغراض المنزلية أو الصناعية أو الزراعية وقد يؤدي استخدامها كذلك لتلف نظام التوزيع. لذلك، من الضروري معالجة الماء المحلى بعد التحلية لإعادة المعادن والتوازن الأيوني قبل التوزيع. ولذلك يعتمد التركيب الكيميائي لمياه البحر المحلاة بشكل كبير على نوع المعالجة اللاحقة التي تلقتها. لا توجد لوائح رسمية عالمية تحدد جودة مياه البحر المحلاة التي يمكن إطلاقها في نظام التوزيع، ولكن يجب أن تتوافق مياه البحر المحلاة مع اللوائح الوطنية الخاصة بمياه الشرب، والتي تختلف بشكل كبير عن الخصائص المطلوبة للري. لم يتم وضع معايير محددة لنوعية المياه لمياه البحر المحلاة المخصصة للاستخدام الزراعي، على عكس معالجة مياه الصرف الصحي للري والتي تخضع لقواعد محددة في معظم البلدان المتقدمة [21, 24].

تغطي مجموعة واسعة من اللوائح معايير الجودة لمياه الري. هناك عشرة معايير للجودة متضمنة في مجموعة المعايير للجمع بين الاستخدام الزراعي والمنزلي لمياه البحر المحلاة. المعايير هي: الرقم الهيدروجيني، والتوصيل الكهربائي، ومستويات الكلور، والصوديوم، والبورون، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والكبريتات، وإمكانية ترسيب كربونات الكالسيوم. لذلك من الضروري تحديد بعض معايير جودة الري المماثلة من أجل تحديد جودة مياه البحر المحلاة الذي يلبي متطلبات ري المحاصيل على أفضل وجه. هناك تباين كبير في الآثار الزراعية لاستخدام مياه البحر المحلاة في الزراعة بسبب جودة مياه الري التي يتم استبدالها بمياه البحر المحلاة، فضلاً عن تكلفة مياه البحر المحلاة نفسها. من خلال استبدال مياه الري منخفضة الجودة بمياه البحر المحلاة التي تتميز بموصلية كهربائية منخفضة والتي تقلل من إجهاد الملوحة، يمكن زيادة غلة المحاصيل وتحسين جودتها. نتيجة لذلك، يمكن تقليل متطلبات الري بشكل كبير حيث يمكن دعم ملوحة المياه باستخدام مياه الري التكميلية [21].

تستخدم المياه السطحية والجوفية للري في المنطقة العربية. ثمانون في المئة من الطلب على المياه يأتي من القطاع الزراعي. يجب تقييم متطلبات وكمية المياه المستخدمة للري لتحديد مدى ضغط الري على الموارد المائية المتاحة. من المتوقع أن يزداد استهلاك المياه

الصناعية والمنزلية والزراعية بشكل كبير في العقدين المقبلين. ولكن ستظل الزراعة أكبر قطاع مستهلك للمياه كما هو موضح بالشكل 3، ولكن الطلب غير الزراعي سينمو بوتيرة أسرع من الطلب الزراعي خلال السنوات القليلة القادمة.

الشكل 3. استهلاك المياه لكل قطاع في الوطن العربي



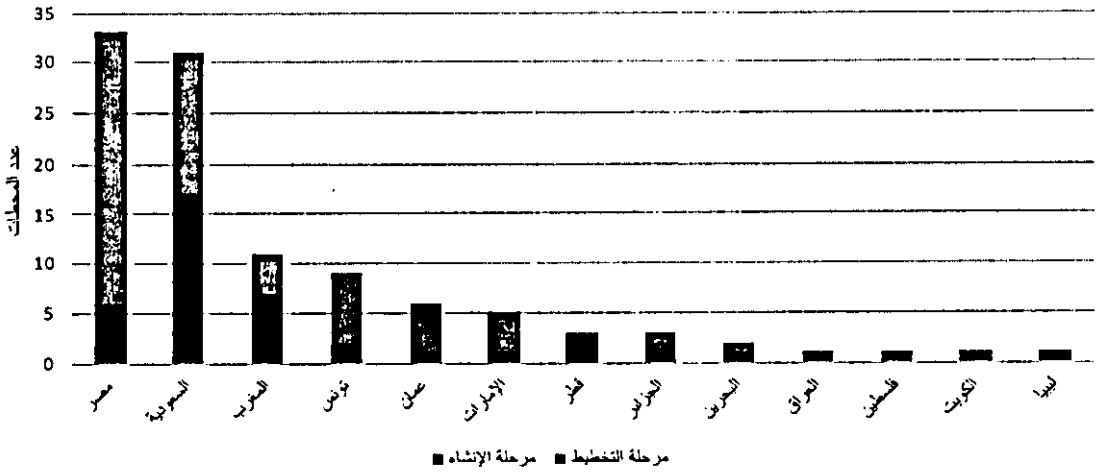
2.2. مصادر المياه غير التقليدية

وفقًا للعديد من المنظمات الدولية مثل الرابطة الدولية لتحلية المياه (IDA) والتحالف العالمي لتحلية المياه النظيفة (GCWDA)، يمكن لمصادر المياه غير التقليدية توفير مياه شرب عالية الجودة للاستخدامات المنزلية والصناعية والزراعية، وبالتالي حل مشكلة ندرة المياه وتعزيز النمو الاقتصادي. المصادر الأكثر شيوعًا لمصادر المياه غير التقليدية هي مياه البحر المحلاة أو المياه قليلة الملوحة والمياه الرمادية ومياه الصرف الصحي المنزلية والصناعية المعالجة [25]. توفر المياه قليلة الملوحة كمصدر غير تقليدي للمياه إمكانية تحلية المياه اقتصاديًا.

2.3. الاعتماد على تحلية المياه في الوطن العربي

ليس هناك شك في أن المنطقة العربية، إحدى أكثر مناطق العالم ندرة في المياه، حيث لديها أدنى مستويات توافر المياه للفرد الواحد. لذلك تعتمد المنطقة العربية بشكل كبير على تحلية المياه، خاصة للاستخدام المنزلي. تستهلك المنطقة العربية حاليًا تسعين بالمائة من الطاقة الحرارية المستخدمة في تحلية المياه في جميع أنحاء العالم، مع كون الإمارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية من أبرز المستهلكين [26]. من المتوقع أن تنمو تحلية المياه في المنطقة العربية بمعدل 7-9٪ سنويًا. يوجد في المنطقة العربية حاليًا 107 مشروعًا لتحلية المياه قيد التشغيل أو المخطط لها بين عامي 2020 و 2030، كما هو موضح في الشكل 4 (المصدر: GWI DesalData / IDA).

الشكل 4. توزيع مشاريع تحلية المياه في الوطن العربي (2020-2030)



المصدر: (GWI DesalData / IDA).

بسبب الطفرة الاقتصادية بالخليج العربي، تتركز سعة تحلية مياه البحر الجديدة في عدد قليل من المشاريع الكبيرة كما هو مبين من قبل GWI Worldwide Desalting Inventory. هناك خمسة مشاريع تمثل أكثر من 40٪ من إجمالي الإنتاج اليومي في المنطقة العربية في المملكة العربية السعودية: - الجبيل 2 (استبدال محطة SWRO) ومشروع تحويل الشعيبة 3 (شيد في 2022)، الجبيل 3 بنظامIWP (شيد في 2021) والجبيل IWP a3 و الشعيبة 5 (SWCC) (شيدت في عام 2020). من المقرر أن تضيف محطة رابغ 4 IWP 600 ألف متر مكعب في اليوم في عام 2022. بالإضافة إلى مشروع حسيان، المرفأ 2 IWP، نيوم، رابغ 4 IWP، الجبيل 3 ب، الغبرة 3، مصيرة IWA، والجافورة المخطط لها في عام 2022. تم منح محطات تحلية بقدرة استيعابية كبيرة في المغرب ومصر والجزائر وتونس في الفترة من 2020-2022. تم منح توسعة قياسية في السعة الجديدة في عام 2022 في بقية العالم العربي، بإجمالي 1.16 مليون متر مكعب في اليوم. يشهد الخليج العربي حقبة جديدة من المياه المحلاة الرخيصة بمعدل يقل عن 0.50 دولار للمتر المكعب بسبب هذا الرقم القياسي الجديد للتوسعة. كان انخفاض أسعار المياه المحلاة مدفوعاً بمعدلات الاسترداد المرتفعة والاحجام الاقتصادية والطاقة الرخيصة، وخاصة الطاقة المتجددة. ولكن مع تقلص الهوامش يصبح تحقيق المزيد من التخفيضات في التكاليف أكثر صعوبة [27].

2.4. الاستخدام القطاعي لمياه التحلية في الوطن العربي

يجري التخطيط والعمل على إنشاء 21 محطة تحلية في المنطقة العربية خلال الفترة 2020-2030 لتلبية المتطلبات الصناعية في المنطقة. باستخدام تقنية التناضح العكسي، سيتم استخدام هذه المحطات في تلبية مختلف المتطلبات، مثل الأغذية والمشروبات، والمعادن ، والتعدين ، والنفط والغاز ، والطاقة ، وصناعة الورق والمنسوجات، ومحطات الطاقة. تتواجد معظم هذه المحطات في المملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة. حيث سيكون مصدر المياه إما المياه قليلة الملوحة أو مياه البحر. وتتراوح السعة الإنتاجية لهذه المحطات بين 50 و500000 متر مكعب في اليوم. تمتلك محطة نيوم لتحلية المياه أعلى سعة بين هذه المحطات. حيث أن هذه المحطة تعتمد على تقنية التناضح العكسي وتعمل بالطاقة المتجددة من شبكة نيوم وستولد ما يقدر بنحو 500000 متر مكعب في اليوم من المياه العذبة. إضافة إلى محطة (مشروع BW-0126) لتحلية المياه الجوفية بنظام التناضح العكسي (BWRO) ذات السعة الأقل. تقع كلا المحطتين في المملكة العربية السعودية (GWI / desaldata).

3. أبعاد تحلية المياه في المنطقة العربية

كما تم التخطيط لخمس وخمسين محطة تحلية في المنطقة العربية (2020-2030) للاستهلاك المنزلي. توجد هذه المحطات في فلسطين وتونس وسلطنة عمان والمغرب والمملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة والجزائر ومصر وقطر وليبيا. تتراوح السعة الإنتاجية لهذه المحطات ما بين 200 - 1.000.000 متر مكعب في اليوم، معظمها في المملكة العربية السعودية. حيث يعتبر مشروع البصرة (العراق) ومحطة تحلية الجبيل 2 (المملكة العربية السعودية) لهما أعلى سعة إنتاجية. ستساهم جميع مشاريع تحلية المياه على تزويد المنازل بمياه الشرب حيث تتراوح نسبة المواد الصلبة الذائبة بين 10 جزء في المليون - <1000 جزء في المليون. في المقابل، تم التخطيط لمشروع واحد فقط لأغراض الري. تم إنشاء مشروع المرفأ 2 في دولة الإمارات العربية المتحدة في عام 2021، ومن المتوقع أن يتم تشغيله في عام 2024. وهو عبارة عن محطة لتحلية المياه بالتناضح العكسي وتبلغ سعته 363،680 متر مكعب في اليوم (GWI / desaldata). علاوة على ذلك، تم إنشاء محطة تحلية أغادير في عام 2018 في اشتوكة في المغرب، مع توقيع العقد بموجب الشراكة الخاصة العامة (PPP). اكتمل العمل في هذه المنشأة بنسبة 98.5٪. تهدف المحطة إلى إنتاج مياه للشرب والزراعة بسعة إنتاجية إجمالية تبلغ 275 ألف متر مكعب في اليوم. حيث ستوفر المحطة 150 ألف متر مكعب من المياه يوميًا على الأقل للمدينة والأراضي المحيطة بها. علاوة على ذلك، هناك إمكانية لزيادة السعة إلى 450.000 متر مكعب في اليوم. بالإضافة إلى تلبية احتياجات المياه المنزلية في منطقة أغادير، فإن هذا المشروع الواسع النطاق صديق للبيئة ويتم تشغيله بواسطة طاقة الرياح.

3.1. أبعاد تحلية المياه في المنطقة العربية

يتم تصميم محطات تحلية المياه بطرق واحتياجات مختلفة، مع مراعاة الأبعاد البيئية، ومراعاة الاستدامة واستخدام الطاقة. حيث تشير الإحصائيات إلى أنه في السنوات القادمة سيكون هناك زيادة بنسبة 15٪ في الطلب على المياه المحلاة كل عام [28]. والذي سيؤدي إلى زيادة بأعدادها وأنواعها واستخدامها لمصادر الطاقة المختلفة والأبعاد البيئية.

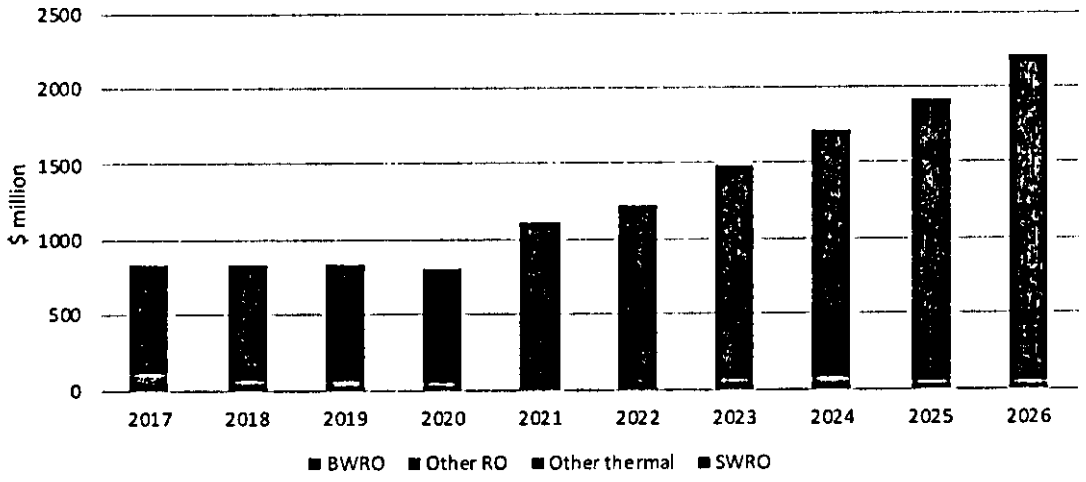
3.2. الأبعاد القانونية والسياسية

هناك توجهان رئيسيان في تنظيم محطات تحلية المياه في المنطقة العربية. التوجه الأول هو التشجيع على مشاركة الحكومة في تصميم وتشغيل محطات تحلية المياه. أما التوجه الثاني يعتمد على دعم مشاريع تحلية المياه ذات الاستهلاك المنخفض للطاقة والصديق للبيئة. يمكن للحكومات دعم هذه المشاريع من خلال منح عقود إدارة ميسرة لتزويد السكان بالمياه. قد تدعم هيئات المياه الوطنية مشاريع تحلية المياه، ولكن بعد تحليل تأثيرها على الاستدامة في كل مرحلة من مراحل عملية التحلية. يحمي القانون حقوق المياه الخاصة، لكن لا يتمتع القطاعان العام والخاص بحقوق قانونية متساوية فيما يتعلق بتطوير واستخدام المياه. هناك ثلاث طرق لتحقيق الاستدامة: اقتصاديًا واجتماعيًا وبيئيًا. قد تتأثر جودة المياه والهواء ومساحة المحيطات وخزانات المياه الجوفية وعوامل أخرى تأثرا سلبيا بمرافق محطات تحلية المياه. عادة ما يتم النظر في العواقب البيئية لهذه المرافق على المستوى الوطني، وتختلف متطلبات قبولها وتخفيفها حسب السياق [29]. توصي منظمة الصحة العالمية (WHO) بتنفيذ برامج مراقبة ما بعد التثبيت لرصد تأثير محطات تحلية المياه على الاستدامة.

3.3. الأبعاد اقتصادية

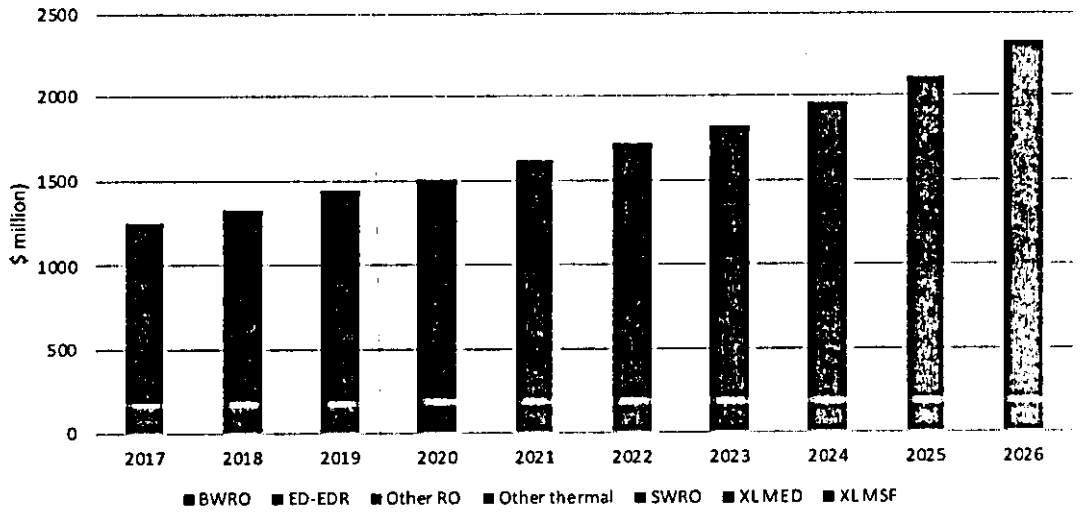
على الصعيد العالمي، أصبح التناضح العكسي أكثر شيوعًا من التحلية الحرارية. ترجع شعبية التناضح العكسي إلى العديد من العوامل أهمها استهلاك الطاقة، والآثار البيئية، والتكاليف المرتبطة بإجمالي الإنفاق الرأسمالي (Capex) وإجمالي النفقات التشغيلية (Opex). بلغ إجمالي نفقات محطات التحلية في العالم العربي في عام 2021 تقريبًا. 6،818 مليون دولار، في حين بلغت النفقات التشغيلية 11،002 مليون دولار. بحلول آب (أغسطس) 2022، ارتفعت النفقات الرأسمالية إلى 8،162 مليون دولار، في حين بلغت النفقات التشغيلية 11،434 (GWI / desaldata)، كما هو موضح في الشكلين 5 و 6. في عام 2020، وعلى الرغم من وجود جائحة كورونا (COVID-19)، ظل سوق تحلية المياه ثابتًا، حيث بلغت نسبة 44٪ من السعة الجديدة. على الرغم من انخفاض إجمالي سعة تعاقدات التحلية من 6.7 مليون متر مكعب في اليوم في عام 2019 إلى 4.7 مليون متر مكعب في اليوم في عام 2020، إلا أنها لا تزال رابع أعلى سعة سنوية في التاريخ. على الرغم من أن خط الأنابيب قد شهد تأخيرات متتالية، فمن المتوقع أن يشهد عام 2022 انتعاشا كبيرا في سوق التحلية.

الشكل 5. الإنفاق الرأسمالي لمحطات تحلية المياه في الوطن العربي (2017-2026)



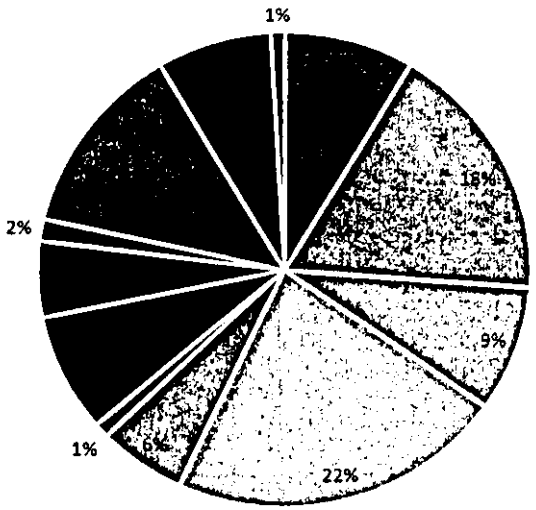
المصدر: (GWI DesalData / IDA).

الشكل 6. توزيع الإنفاق التشغيلي لمحطات تحلية المياه في المنطقة العربية (2017-2026)



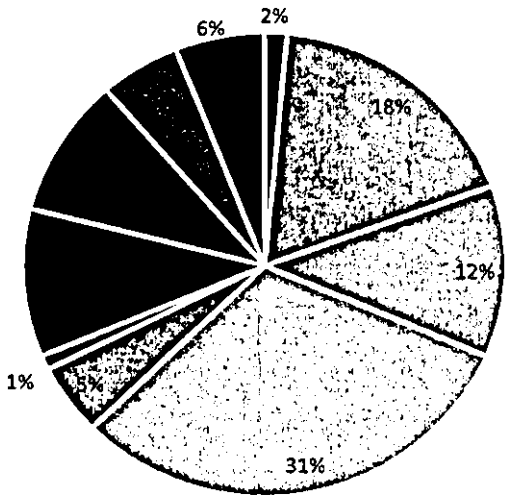
هناك فئتان رئيسيتان من النفقات الرأسمالية: مباشر وغير مباشر. عادةً ما يتم تخصيص 50٪ إلى 85٪ من إجمالي النفقات الرأسمالية للتكاليف المباشرة، والتي تشمل المعدات والمباني وخطوط الأنابيب وتطوير الموقع. تشمل التكاليف غير المباشرة الفوائد والرسوم المالية، والنفقات الهندسية والقانونية والإدارية والطوارئ. بالنسبة لمعظم محطات التحلية، يتم تقسيم تكاليف ومكونات النفقات الرأسمالية إلى تسعة أجزاء: استخدام ونقل المياه الخام، المعالجة الأولية، تحلية المياه، المعالجة بعد التحلية، ضخ وتخزين المياه المنتجة، والنظام الكهربائي والأجهزة، والمباني، والموقع والأعمال المدنية للمحطة، وتصريف المياه المالحة ومعالجة المواد الصلبة، وكذلك تكاليف الهندسة والتطوير المتنوعة. يجب أيضًا مراعاة العديد من العوامل الأخرى، مثل مصدر المياه المالحة وموقعها من المحطة، ونوع مصافي السحب وهياكل السحب، ونوع أنابيب السحب (مدفونة أو فوق الأرض). تمتلك Global Water Intelligence أداة «تقدير التكلفة». بناءً على هذا التقدير، يبلغ إجمالي توزيع النفقات الرأسمالية 169.684.000 دولارًا أمريكيًا لمحطة تحلية مياه البحر بالتناضح العكسي و344.796.000 دولارًا أمريكيًا لمحطة تحلية مياه البحر بالتقطير الوميض. يقدم الشكلان 7 و8 تفصيلاً كاملاً للنفقات الرأسمالية. في الوقت نفسه، يبلغ توزيع النفقات التشغيلية 24.794.000 دولارًا أمريكيًا لمحطات تحلية مياه البحر بالتناضح العكسي و37.431.000 دولارًا أمريكيًا لمحطة تحلية مياه البحر بالتقطير الومضي. تكاليف المعالجة المسبقة لمحطات التناضح العكسي تبلغ $14.423.000 (GWI / desaldata).

الشكل 7. تكلفة تحلية المياه بالتناضح العكسي التقليدي: تحليل الإنفاق الرأسمالي



المصدر: (GWI DesalData / IDA, 2022).

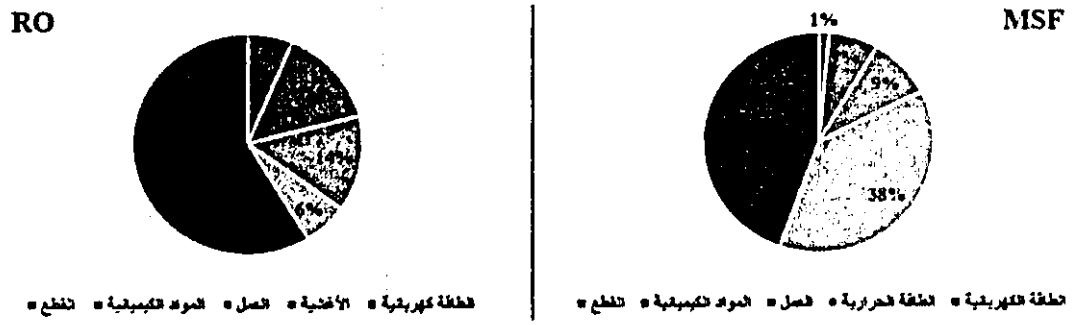
الشكل 8. تكلفة تحلية المياه في محطات التقطير الوميضي: تحليل الإنفاق الرأسمالي



المصدر: (GWI DesalData / IDA, 2022).

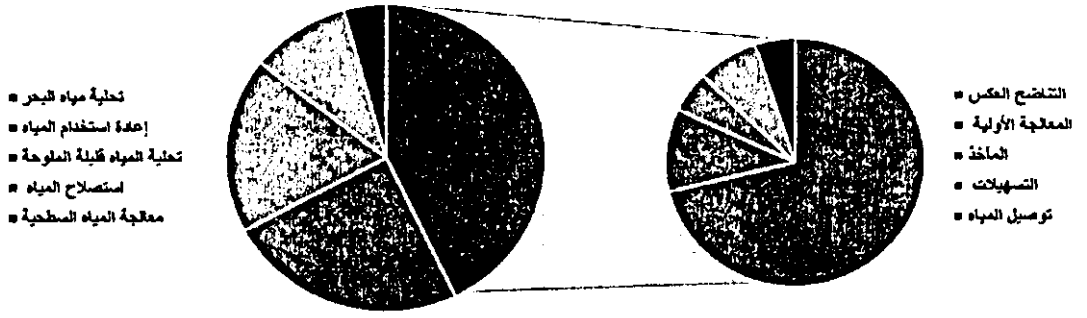
تستهلك مضخات السحب، والمعالجة المسبقة، والمصب، ومضخات الضغط العالي المستخدمة في التناضح العكسي كميات كبيرة من الطاقة، مما يجعلها باهظة الثمن. تعتبر الطاقة المستخدمة الأعلى تكليفا في النفقات التشغيلية لعمليات التحلية الحرارية والغشائية، بنسبة 40-60٪ تقريبًا، كما هو موضح في الشكل 9. لا يعتبر نظام التقطير الومضي منافسًا اقتصاديًا لتحلية المياه مقارنة بالتناضح العكسي بسبب ارتفاع تكاليف رأس المال. ستستمر ابتكارات تقنية تحلية المياه في تقليل تكلفة تحلية المياه بالتناضح العكسي. هناك جهود بحثية جارية لتحلية المياه قليلة الملوحة ومياه البحر، مما سيزيد من تنوع مصادر المياه الصالحة للشرب وتوفرها ويقلل من تكاليف المياه.

الشكل 9. تكلفة تحلية مياه البحر بالتناضح العكسي وMSF : تحليل الإنفاق التشغيلي



تعتبر كفاءة الطاقة أحد الاعتبارات الرئيسية عند بدء تشغيل محطات جديدة أو تعديل المحطات القديمة. تستخدم المملكة العربية السعودية التي تمتلك 35% من سعة نزح المياه في المنطقة العربية 25 بالمائة من إنتاجها من البترول والغاز لتوليد الكهرباء والمياه [32]. على عكس معالجة المياه بالطرق التقليدية، فإن تحلية المياه باستخدام مياه البحر تستهلك طاقة أكثر من معالجة المياه باستخدام موارد المياه الأخرى. يوضح الشكل 10 استخدام الطاقة لمصادر المياه المختلفة ولمحة عامة عن استخدام الطاقة النموذجية لمحطات تحلية مياه البحر. تستهلك تحلية المياه طاقة عالية جدا مقارنة بمعالجة المياه. إن عملية تحلية مياه البحر في محطة التناضح العكسي للمياه العذبة تستهلك 2.5-4.0 كيلو واط / متر مكعب. يهيمن نظام التناضح العكسي على استهلاك الطاقة لمحطة التناضح العكسي. ونتيجة لذلك، فإن لها تأثيرًا مباشرًا على استهلاك الطاقة النوعية المستهلكة. تبلغ نسبة الطاقة النوعية المستهلكة بالمحطة حوالي 1 كيلو وات ساعة /متر مكعب أعلى من نظام التناضح العكسي. إن الطاقة المستهلكة قبل وبعد المعالجة تكون حوالي 0.2 إلى 0.4 كيلو واط / متر مكعب بغض النظر عن ظروف التغذية المائية والعوامل الأخرى، بالإضافة إلى ذلك، يستهلك نظام سحب المياه الداخلة حوالي 0.19 كيلو واط ساعة / متر مكعب وتستهلك المرافق الأخرى حوالي 0.27 كيلو واط ساعة / متر مكعب. كما أن نوعية وكمية المياه المستهدفة تؤثر على الطاقة النوعية المستهلكة [30، 31].

الشكل 10. استهلاك الطاقة في عملية التحلية لمختلف مصادر المياه وتوزيع استهلاك الطاقة لمحطة تحلية مياه البحر



3.2.1. نظام التعرفة

تعد المنطقة العربية من أكثر مناطق العالم شحا في الموارد المائية. تتم تلبية أكثر من 90٪ من جميع الاحتياجات المائية اليومية في المنطقة العربية باستخدام تحلية مياه البحر. تسعى الحكومات في المنطقة بشكل كبير إلى زيادة استثماراتها في محطات تحلية المياه، حيث تنتج 46.7٪ من المياه المحلاة في العالم. تمتلك الكويت والمملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة بعضًا من أكبر محطات تحلية المياه في العالم [34]. وبناءً على ذلك، استثمرت الدول العربية 20.3 مليار دولار أمريكي في أكبر 10 محطات لتحلية المياه. في عام 2020، منحت الدول العربية عقودًا بقيمة 7.8 مليار دولار أمريكي في مشاريع تحلية المياه. قدرت GWI أن سوق تحلية المياه في المنطقة العربية من المتوقع أن يصل إلى 4.3 مليار دولار بحلول عام 2022. حيث أن النفقات التشغيلية الأساسية المفترضة استخدامها 95٪ ،بتعريفة 0.08 دولار / كيلوواط ساعة ، 3.5 كيلو واط ساعة للمتر المكعب لمحطات التناضح العكسي، 1.5 كيلو واط ساعة للمتر المكعب لمحطات التقطير متعدد التأثيرات، و4 كيلو واط ساعة للمتر المكعب لمحطات التقطير الومضي متعدد المراحل.

خلال العامين الماضيين، انخفضت تكلفة إنتاج المياه المحلاة في المنطقة العربية بمقدار النصف تقريبًا. يشير انخفاض تكاليف المياه المحلاة إلى أن البلدان الفقيرة يمكنها الآن تحمل تكلفة التحلية. يمكن أن ترتفع تكلفة تحلية المياه من 0.63 دولارًا إلى 1.50 دولارًا لكل متر مكعب يتم تسليمه على حسب البلد [33]. ساهمت عدة عوامل رئيسية في ذلك، بما في ذلك تعزيز كفاءة الطاقة، وانخفاض أسعار الفائدة - مما يجعل تمويل مشروع تحلية المياه أمرًا مرغوبا فيه. تتراوح التعريفة بين 0.5 دولار أمريكي و0.9 دولار أمريكي لكل متر مكعب من المياه المحلاة. اعتبارًا من عام 2023، ستفرض شركة كهرباء ومياه دبي رسومًا قدرها 0.306 دولارًا أمريكيًا لكل متر مكعب من المياه، وهي أقل تعرفة للمياه في العالم حتى الآن. ومع ذلك، فإن تحلية المياه منخفضة التكلفة تكافح في المقام الأول تكاليف الطاقة، والتغيرات في دولار للكيلو واط ساعة لها تأثير أكبر من العوامل الأخرى، مثل تكاليف رأس المال.

3.4. الأطر المؤسسية والتنظيمية للاستثمار الخاص

يمكن اعتماد موارد المياه غير التقليدية إذا تمت إعادة النظر في تنظيم خدمات القطاعات ذات الصلة. قد تتمكن الشركات الخاصة من المساعدة في تطوير تحلية المياه والأنشطة التشغيلية وذلك يعتمد على احتياجات المؤسسات. في المملكة العربية السعودية، أنشأت الحكومة مشتري واحد مسؤولاً عن جمع كل المياه من مرافق التحلية وبيعها إلى تاجر الجملة (المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة) أو مباشرة إلى شركات التوزيع.

مع ذلك يجب أن يكون هناك تقييم شامل للمخاطر الملازمة لمبادرة التحلية وإعادة الاستخدام قبل إسناد المسؤوليات إلى أحدهم وما إذا كان ينبغي إدارة هذه الخدمات داخليًا أو تفويضها إلى شريك خاص. بالإضافة إلى فحص السجل التاريخي، والتفويضات القانونية، والقدرات التقنية والإدارية، والتمويل، والقوة التعاقدية لمختلف أصحاب المصلحة في القطاع، ينبغي على أصحاب المصلحة المختلفين أن يأخذوا في الاعتبار القوة المالية والتعاقدية [35]. هذا يشمل:

- إنشاء منتدى لأصحاب المصلحة يسهل تبادل المعرفة وأنشطة بناء القدرات ويعطي الأولوية لها
- مساعدة صانعي القرار الرئيسيين في تخطيط مشاريع تحلية المياه
- تقييم إمكانات التحلية مع مراعاة التكاليف الاقتصادية والبيئية والاجتماعية
- المساعدة وتقديم الخبرات حسب الحاجة وتعزيز أفضل الممارسات
- المشاركة في تطوير السياسات الوطنية والإقليمية لتحلية المياه

نتيجة للشراكة بين القطاعين العام والخاص (PPP)، تحسن تقديم خدمات المياه المحلاة في البلدان العربية، لكن القطاع العام لا يزال هو النمط السائد لتقديمها. دخلت العديد من البلدان في شراكات بين القطاعين العام والخاص لإدارة شبكات إمدادات المياه وإنشاء بنية تحتية جديدة لتوفير خدمات المياه والصرف الصحي، بما في ذلك الجزائر ومصر وقطر والمملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة. إضافة إلى المغرب حيث تم تقديم طلب الشراكة بين القطاعين العام والخاص في محطة تحلية أغادير، التي تم بناؤها في عام 2018. علاوة على ذلك، سيتم تشغيل المرافق في عمان والدار البيضاء من قبل القطاع الخاص بموجب عقود إدارية. نتيجة للخصخصة والتغييرات في قانون استثمار رأس المال الأجنبي، بذلت سلطنة عمان جهودًا كبيرة لتحسين مناخ الاستثمار الأجنبي وتوسيع مشاركة القطاع الخاص.

3.5. السوق والتداول

زادت الاستثمارات العربية في سوق تحلية المياه بشكل كبير، حيث شكلت 48٪ من مشاريع تحلية المياه العالمية، وفقًا لتقرير سوق تحلية المياه العربية الصادر عن Ventures Onsite، والذي يتتبع مشاريع البناء في المنطقة. من المتوقع أن تعزز الاستثمارات الإضافية السوق إلى 4.3 مليار دولار بحلول عام 2022 [36]. والجدير بالذكر أن المملكة العربية السعودية تمثل خُمس الإنتاج العالمي، فهي تقود العالم في إنتاج المياه المحلاة، وتنتج 4،000،000 متر مكعب في اليوم. على مدى السنوات العشر القادمة، من المتوقع استثمار ما يقدر بـ 80 مليار دولار في مشاريع إضافية. أدى الاستثمار المتزايد في القدرات الجديدة لتحلية المياه إلى بقاء المملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة في الريادة بهذا المجال في عام 2022 [36]. تعمل الحكومات العربية ودول مجلس التعاون الخليجي على وجه الخصوص على تسريع استثماراتها في تحلية المياه باستخدام تقنيات مختلفة. نتيجة لاحتياجاتها العالية من الطاقة، تراجعت أعداد محطات التقطير متعدد التأثيرات والتقطير الومضي متعدد المراحل بشكل كبير في العالم العربي بينما اكتسب التناضح العكسي شعبية أكبر.

من ناحية أخرى، قد تكون الهيئات الحكومية والخاصة المتعهد (مشتري المياه) لمحطات تحلية المياه. أو قد يكون المتعهد وكالة حكومية محلية أو شركة معالجة صناعية تحتاج إلى المياه لتزويد عملياتها. يعد تحديد الأسعار والتقلبات بموجب اتفاقية الشراء / شراء المياه أمرًا بالغ الأهمية. في بعض الأحيان، يتم تحديد أسعار المياه من قبل لجان المرافق العامة أو الوكالات الحكومية. بالإضافة إلى ذلك، يجب أن تتناول اتفاقية الشراء (شراء المياه) قبول أي من الأطراف لأي تخفيض مستقبلي في الأسعار بعد توقيع الاتفاقية. فمثلا يجب على المتعهد المعني بالمحطة التي تعمل بالتناضح العكسي تحديدا مراعاة ما إذا كان يفضل التعاقد مباشرة مع مورد الأغشية أو تعاقد مشغل المحطة مباشرة مع المورد. هناك نوعان من العقود: العقود المباشرة والعقود التي توكّل المسؤولية على المشغل. التعاقد المباشر هو الخيار الذي قد يفضل فيه الرعاة /

المالكون العقود المباشرة على العقود غير المباشرة، لأنها أكثر شفافية وتسمح لهم بالتحكم المباشر في جودة الغشاء وسعره. ومع ذلك، قد لا يرغب الرعاة / المالكون في التعامل مع هذا العقد بشكل مستقل. لنفترض أن المشغل قد تم تكليفه بمسؤولية إمداد الأغشية بموجب اتفاقية تشغيل وصيانة مع مشغل المحطة. في هذه الحالة، تختلف العواقب اعتمادًا على ما إذا كانت الاتفاقية مبنية على أساس السعر الثابت أو على أساس تكلفة المرور. إذا كانت اتفاقية التشغيل والصيانة سعرًا ثابتًا، فيجب تقييد المشغل من المساومة على جودة الغشاء أو تأخير الاستبدال لتقليل التكاليف. يجب على الراعي / المالك التحكم في التكاليف من خلال عملية إعداد الميزانية، مما يحفز المشغلين على صيانة الأغشية. ومع ذلك، نظرًا لأن المتعاقدين عادة ما يكونون حكومات أو حكومات لديها ضمانات سيادية، فإن أخطار التعاقدات قليلة [37].

3.6. المخاطر الإنشائية والفنية والتشغيلية

هنالك عشرة محطات تحلية في مرحلة البناء حاليًا في الوطن العربي تهدف إلى استخدام مياه البحر وتحتوي على نسبة الملوحة تتراوح بين (20000 جزء في المليون - 50000 جزء في المليون) من إجمالي المواد الصلبة الذائبة، كما هو موضح بالتفصيل في الجدول 2. تستخدم هذه المحطات تقنية التناضح العكسي (RO) المصممة لتزويد المدن بمياه الشرب بجودة مياه منتجة تتراوح بين (10 جزء في المليون - <1000 جزء في المليون)) من إجمالي المواد الصلبة الذائبة.

الجدول 2. محطات تحلية المياه في مرحلة البناء 2022 في العالم العربي

الدولة	الموقع	المنطقة	اسم المشروع	السعة (متر3/ يوم)
عمان	بركاء	الباطنة	IWP 5 بركاء	100000
الجزائر	قورصو الرغاية	بومرداس	قورصو SWRO	1000000
السعودية	الجبيل		جبيل 2	80000
السعودية	شعيبة		مشروع تحويل شعيبة 3	600000
السعودية			محطة تحلية مؤقتة	21000
السعودية			معادن	6000
السعودية			معادن	6000
السعودية			محطة التناضح العكسي لمياه البحر المغمورة تحت سطح البحر	50
السعودية			محطة التبلور بالمؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة	58
السعودية			توفير وحدة التناضح العكسي مع التركيب	2000
المغرب	اسفي	اسفي	مشروع تحلية مياه البحر باسفي	21918

الدولة	الموقع	المنطقة	اسم المشروع	السعة (متر3/ يوم)
المغرب	سيدي افني	سيدي افني	مشروع تحلية مياه البحر بسيدي افني	8640
المغرب	طرفاية	طرفاية	مشروع تحلية مياه البحر بطرفاية	1300
المغرب	سيدي الغازي	سيدي الغازي	مشروع تحلية مياه البحر بسيدي الغازي	100

خلال مرحلة التشييد، هناك احتمال أن تزيد التكاليف خلال فترة التنفيذ بسبب الظروف غير العادية في الموقع، والتأخير في تسليم المعدات وتركيبها، وتجاوز تكاليف البناء، والأخطاء والسهو من قبل المصممين والمقاولين، بالإضافة إلى مخاطر الموثوقية والأداء المرتبطة مع بدء تشغيل المصنع والتكليف والقبول.

فيما يتعلق بالمخاطر التشغيلية والفنية في محطات تحلية المياه، يمكن أن تشكل عمليات التشغيل والصيانة (M&O) العديد من المخاطر على عمر المنشأة أو طول استثمار المتعهد. تعد صيانة المصنع وتشغيله بشكل ثابت وموثوق أمرًا ضروريًا للوفاء بالالتزامات المالية، لذلك تظل تدفقات الإيرادات ثابتة. في حالة عدم وجود خبرة في تشغيل محطات تحلية المياه ذات الحجم المماثل، قد يستفيد صاحب المشروع من التعاقد على تشغيل وإدارة محطة تحلية المياه مع مقاول معين ومتخصص جيد يتمتع بخبرة عالية. بمرور الوقت، تقل أهمية تحديات التشغيل والصيانة والمخاطر المرتبطة بنقص العمالة المحلية الماهرة مع ازدهار سوق تحلية المياه. بالإضافة إلى ذلك، فإن نظام المعالجة المسبقة للمياه لمحطات تحلية مياه البحر يمكن أن يتأثر بسبب ظروف مياه البحر المفاجئة والمتغيرة، وخاصة تكاثر الطحالب الضارة. يمكن اعتبار تركيب أنظمة التطويف بالهواء المذاب (DAF) كحل بديل في مثل هذه الحالات، ولكنه سيكون عبء للنفقات الرأسمالية للمحطة. علاوة على ذلك، فإن تحقيق أعلى إنتاج للأغشية عند أدنى ضغط تشغيل يعد أمرًا مثاليًا. تعمل محطات تحلية مياه البحر بالتناضح العكسي عادةً بين 50 و70 بار؛ ويؤدي تقليل الضغط عمومًا إلى انخفاض كمية إنتاج الماء. بالإضافة إلى ذلك، تقل نفاذية الغشاء بسبب التراكم البطيء للمواد البيولوجية والمواد العضوية والأغشية الحيوية وترسبات المواد غير العضوية أثناء التشغيل. كذلك يؤدي إجراء تنظيف الأغشية إلى إيقاف تشغيل المصنع وينتج عنه مخلفات سائلة، مما يزيد من استهلاك الطاقة وتكاليف المياه على مدار عمر المحطة.

3.7. نظم التمويل

تؤثر التكاليف المالية بشكل كبير على تكاليف تحلية المياه لأن مثل هذه المشاريع باهظة الثمن. عادة ما يقدم فيها المطورون رأس المال الخاص، بينما تقدم المؤسسات المالية القروض. يختلف عائد الاستثمار تبعًا لمخاطر المشروع، وأحيانًا يكون الدين أقل تكلفة من نظام الأسهم الخاصة. اعتمادًا على مخاطر البلد، ومخاطر المشروع، ومرونة العميل، يتراوح الاشتراك المالي بينها عادةً بين 30/70 و 15/85 سهم / دين.

تؤثر المتغيرات المختلفة على تكاليف إنتاج المياه المحلاة، مما يجعل المقارنات المباشرة بين المشاريع صعبة. في السنوات الأخيرة، أصبحت صناعة تحلية المياه أكثر قدرة على المنافسة بسبب زيادة السيولة وازدهار الأسواق المالية. هناك تفاوت بالأسعار لإنتاج 1 متر مكعب من المياه المحلاة بالتناضح العكسي، بدءًا من 0.60 دولار أمريكي للمتر المكعب لمحطات التحلية الكبيرة بسعة تقريبية (325،000 متر مكعب في اليوم) إلى حوالي 1.25 دولار أمريكي للمتر المكعب للمحطات الصغيرة (10،000 متر مكعب في اليوم).

4.1. التأثير البيئي

من الضروري فهم أن المحلول المركز المرتجع (المحلول الملحي) هو نتاج تركيز المواد المذابة المنبعثة من نظام التناضح العكسي. يحتوي المحلول الملحي الناتج من محطات التناضح العكسي على جميع مكونات مياه المصدر تقريبًا، ولكن بتركيز أعلى. يحتوي أيضًا على المواد الكيميائية المستخدمة أثناء عملية المعالجة المسبقة. وبالتالي فإن تركيز المحلول الملحي يكون حوالي 7-5 مرات أكثر تركيزًا من مياه المصدر. لا يقتصر تأثير مياه البحر على المدخل بالمحطة فقط.

4. التحديات

فمن الممكن أن يحدث اصطدام، وحبس للكائنات الكبيرة، ويمكن للكائنات الأصغر وحيدة الخلية أن تمر عبر الغربلة الأولية في إمداد المياه مما قد تؤثر على نظام التحلية وتركيز المحلول الملحي المنتج. إضافة إلى أن التفريغ الكيميائي من المحطة يعد مصدر قلق كبير. تخضع مياه المصدر للعديد من المعالجات الكيميائية للتحكم في التكتلات الحيوية، وإزالة المواد الصلبة العالقة، وإزالة مضادات التكلس، والتحكم في الرغوة، والتنظيف. يحدد نوع وكمية المواد الكيميائية المستخدمة في التبريد المسبق وتشكيل وتصميم المآخذ والمنافذ تأثير تحلية المياه على المآخذ والمخلفات [38]. تتسبب تركيبات المكونات المختلفة للمعالجات وضوابط العمليات الخاصة بالمصنع في اختلاف التلوث الكيميائي للمخلفات بين محطات تحلية المياه. علاوة على ذلك، يمكن أن يحدث التلوث الكيميائي للمخلفات بسبب تآكل الأجزاء المعدنية داخل النظام [39].

4.2. تحديات الإنشاء

بالإضافة إلى الدراسات التجريبية والميدانية والنمذجة، هناك أدلة على أن تحلية المياه لها تأثيرات بيولوجية وبيئية محددة تتأثر بالمواقع، ومحطات التحلية نفسها، والمعايير الخاصة بالأنواع. يجب مراعاة عوامل معينة في إنشاء محطة تحلية المياه، بما في ذلك المنطقة الساحلية وبيئة قاع البحر، وموائل الطيور والثدييات، والتعرية، والتلوث من مصادر مختلفة. يمكن أن يؤثر إنشاء المحطة على المناطق الحساسة بيئيًا بسبب إنشاء البنية التحتية لسحب المياه وشبكة الأنابيب التي تنقل المياه إلى المحطة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يتسبب الخط الساحلي المفتوح في تركيز المحلول الملحي وتراكمه إذا تم تصريفه في المسطحات المائية المحصورة أو المناطق ذات التضاريس الباثيمترية (متعددة الأعماق) التي تقلل من انتشاره [39].

4.3. جودة الهواء والبصمة الكربونية

على الرغم من زيادة الاهتمام بتلوث الغلاف الجوي الناجم عن التلوث بالمحاليل الملحية المرتجعة والمواد الكيميائية في المجاري المائية، ولكن تم إيلاء القليل من الاهتمام للتأثيرات غير المباشرة لتحلية المياه. يساهم الإنتاج الضخم لمحطات تحلية المياه في منطقة الخليج في رداءة نوعية الهواء في المنطقة. قد تساهم انبعاثات أكسيد النيتروجين، من بين الملوثات الأخرى، في تكوين ضباب دخان كيميائي ضوئي فوق بعض المدن الكبرى [39].

تشير جميع سيناريوهات الانبعاثات التي درسها العلماء إلى أنه سيكون من المستحيل خفض درجات الحرارة العالمية حتى 2 درجة مئوية هذا القرن دون الحد بشكل كبير من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. أحد الآثار العامة للبناء وإيقاف التشغيل المرتبط بالتنمية الساحلية هو إطلاق انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي التي تنتج عن متطلبات الطاقة لمحطات تحلية المياه [40].

بالإضافة إلى كفاءة المحطة، يحدد مصدر الطاقة الذي يشغل محطة تحلية المياه بصمتها الكربونية المباشرة. وجد أن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من محطات التناضح العكسي أقل من تقنيات التحلية الحرارية. تقدر البصمة الكربونية لمحطات تحلية مياه البحر بالتناضح العكسي بـ 0.4 - 6.7 كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون للمتر المكعب. ومع ذلك، فإن هذا أعلى بشكل عام من البصمة الكربونية المقدرة لتحلية المياه الأقل ملوحة بالتناضح العكسي والتي تبلغ 0.4 - 2.5 كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في المتر المكعب. تختلف هذه القيم في أجزاء مختلفة من العالم. يُعزى

الاختلاف إلى الموقع والتقنيات ومراحل دورة الحياة والمعلمات المستخدمة وأدوات التقدير، والتي تم تحديدها جميعًا على أنها عقبات كبيرة لتقديم مقارنات دقيقة. ومن الشائع أيضًا أن تنبعث من محطات تحلية المياه الغازات الدفيئة غير المباشرة (GHGs).

4.4. البيئة البحرية

من المحتمل أن يكون لمحطات تحلية مياه البحر، سواء التي تم بناؤها أو تشغيلها أو إيقاف تشغيلها على المدى الطويل، عددًا من الآثار السلبية على بيئتنا البحرية التي لا ينبغي التغاضي عنها. كما ذكرنا سابقًا (القسم 4.1)، يمكن أن يتسبب الخط الساحلي المفتوح في تركيز المحاليل الملحية إذا تم إطلاق أنابيب التصريف في المسطحات المائية المحصورة أو المناطق ذات التضاريس الباثيمترية التي تقلل من انتشارها بالمكان. يتم تحديد تأثير محطة تحلية المياه على مآخذ وتصريف المياه من خلال نوع وكمية المواد الكيميائية المستخدمة في المعالجة المسبقة للمياه، وكذلك على تكوين وتصميم المآخذ والمنافذ.

يعد تأثير تحلية المياه على البيئة جانبًا مهمًا من جوانب العملية الشاملة. حيث تعتبر حماية الحياة البحرية من أهم الاعتبارات عند التعامل مع محطات تحلية مياه البحر. تتمثل إحدى الخطوات الأولى، في هذا الصدد، في تقليل مخاطر الاصطدام بالأنواع البحرية. توفر التصميمات الجديدة في مآخذ مياه البحر مجموعة واسعة من الخيارات مثل المآخذ البحرية المغمورة، ومآخذ قاع البحر، والمآخذ ذات الموقع المشترك، والآبار الشاطئية والساحلية، والمآخذ السلبية.

يتسبب تصريف المحلول الملحي من محطات التحلية في مشاكل للنظام البيئي البحري، خاصة في منطقة الخليج العربي المغلقة. لقد ثبت في الدراسات الحديثة أن نقاط تصريف المياه المالحة داخل المنشآت المتواجدة في مياه البحر غالبًا ما تكون موطنًا حيويًا للحياة البحرية. يتم استخدام طرق مختلفة لتقليل تأثير تصريف المحلول الملحي، بما في ذلك أجهزة نشر متعددة المنافذ ؛ التصريفات المدمجة في نفس الموقع لمياه التبريد والمياه الملوثة؛ حقن الآبار العميقة والتبخير واستعادة الأملاح والمعادن. طرق التخفيف الأخرى متاحة لمعالجة الآثار السلبية المحتملة. تشمل طرق التخفيف هذه:

- تقليل عدد وتركيز المواد الكيميائية المسموح بها في المصب والتأكد من استيفاء شروط التصريف
- تقليل الحمل الكيميائي لمحطات تحلية المياه بالتناضح العكسي مع المعالجة المسبقة بغشاء الضغط المنخفض و تطوير طرق جديدة للتعامل مع والتخلص من المواد الصلبة المستعادة من عمليات تنظيف الأغشية.
- أحد الجوانب الأساسية للتشغيل الكلي لمحطة تحلية المياه هو مراقبة البيئة المجاورة للموقع. حيث تسمح تقنيات وممارسات المراقبة المحسنة بملاحظات أكثر دقة لأي تأثير محتمل. يسمح لمشغلي المحطة بتغيير ظروف التشغيل وفقًا للمتطلبات البيئية، إذا لزم الأمر.

يجب أيضًا مراعاة التخلص من المحلول الملحي بواسطة محطات تحلية المياه قليلة الملوحة. يمكن أحيانًا تصريف المحلول الملحي من المحطات دون التأثير على الجسم المائي الحالي. في حالات أخرى، يمكن حقنها في بئر عميق أو في بركة تبخير. في كلتا الحالتين، يجب مراعاة التخلص الآمن من المحلول الملحي في التصميم الأصلي للمحطات مع الزيادة المتوقعة في التكلفة الرأسمالية. يمكن بعد ذلك تعديل توقعات تكلفة التشغيل وفقًا لذلك.

يعاني أكثر من 200 مليون شخص حاليًا من ندرة توفر المياه ويعيش 160 مليونًا في ظروف ندرة مطلقة في المياه [41]. لذلك يجب على الدول العربية اعتماد طرق مبتكرة لمعالجة الطلب التنافسي على المياه وتنفيذ الإدارة المتكاملة لموارد المياه (IWRM) للتعامل مع النمو السكاني السريع والتنمية الاقتصادية والاعتبارات البيئية وتغير المناخ. يتمثل جزء رئيسي من الاستراتيجية العربية للأمن المائي (ASWS) في تعزيز مبادئ الإدارة المتكاملة للموارد المائية لمواجهة تحديات ومتطلبات التنمية المستدامة. من الضروري

5. أفضل الممارسات

أيضًا إنشاء سياسات نشطة وأطر تشريعية وأطر مؤسسية لإدارة الإدارة المتكاملة للموارد المائية. كجزء من خطط التنمية الوطنية، طورت معظم الدول العربية استراتيجيات لأهداف التنمية المستدامة (SDGs) ، على وجه التحديد الهدف 6.5، الذي يلتزم كذلك بالإدارة المتكاملة للموارد المائية من أجل التنمية المستدامة والإدارة الفعالة للمياه.

5.1. توافر البيانات والمعلومات وإمكانية الوصول إليها

مشاركة البيانات والمعلومات محدودة في بعض البلدان، ويتم ذلك بشكل أساسي على أساس مخصص أو مشروع. إن إنشاء أنظمة معلومات المياه الوطنية والتكاتف الوطني سيسهل التعاون الفعال بين أصحاب المصلحة الرئيسيين، بما في ذلك الإدارات الوزارية ومؤسسات المياه. كجزء من قوانين وبروتوكولات أو مراسيم المياه، تعمل لبنان على إنشاء نظام وطني للمعلومات المائية ، بما في ذلك المشاركة الإلزامية للمعلومات عبر مختلف المؤسسات والسلطات. قد يكون من الممكن أيضًا استخدام الذكاء الاصطناعي كنهج بديل لتحليل بيانات تحلية المياه.

في بعض البلدان، عُقدت حلقات عمل لأصحاب المصلحة المختلفين، مما أتاح رؤية قيمة للجهود المبذولة لتنفيذ الإدارة المتكاملة لموارد المياه (IWRM). قامت العديد من المنظمات بتحديد وتدريب المختصين، بما في ذلك برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) ، ومركز DHI التابع لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة بشأن المياه والبيئة ، و UNDP Net-Cap ، ومنظمة الصحة العالمية ، و UN-Water. يجب تعزيز وتحديث رصد المياه على الصعيد الوطني، ويجب إعطاء الأولوية لمشاركة البيانات والمعلومات بين البلدان ، كما يجب تعزيز تبادل البيانات والمعلومات عبر الحدود لتحقيق المزيد من التقدم.

5.2. توسيع وتحديث المراقبة الوطنية لتوافر المياه

بالإضافة إلى بناء بيئة ممكنة (استشارات، تدريب، إلخ) وإنشاء هيكل حوكمة لإدارة وتنفيذ نظام معلومات مياه وطني، قامت لبنان بالاستثمارات اللازمة لضمان إنتاج البيانات وتخزينها ومعالجتها والوصول بها لأصحاب المصلحة. اقترحت العديد من الدول، بما في ذلك الأردن ولبنان والمغرب وسلطنة عمان والصومال، تطوير وتحديث وتوسيع شبكات المراقبة.

5.3. تبادل البيانات والمعلومات عبر الحدود.

تتطلب أهمية المياه العابرة للحدود في المنطقة إضفاء الطابع الرسمي على ترتيبات تبادل البيانات والمعلومات وتعزيزها. تضمنت بعض الاقتراحات إنشاء بوابة إلكترونية عامة مشتركة بين جميع البلدان العربية. ويمكن بعد ذلك توسيع تبادل البيانات والمعلومات ليشمل قطاعات أخرى. كما يوصى بإنشاء مرصد إقليمي لزيادة التعاون والمعرفة بين الدول العربية فيما يتعلق بتقنيات تحلية المياه لدعم طلبها المتزايد على المياه من خلال اعتماد تقنيات تحلية المياه الأكثر كفاءة واستدامة. وسيعزز ذلك تطوير الابتكارات ونقل المعرفة بين الدول العربية.

من العوامل المهمة في تطوير مشاريع المياه في جميع أنحاء العالم هو التمويل الخاص. جدير بالذكر أن 38٪ من طاقة محطات تحلية المياه التي تم بناؤها بين عامي 2000 و2020 جاءت نتيجة هذا النوع من التمويل. تجدر الإشارة إلى أنه يتم استخدام نماذج توصيل مختلفة لشراء مشاريع تحلية المياه. ويعتمد نموذج التسليم المختار على ما إذا كان تمويل المشروع من مصدر عام أو خاص. ويمكن تصنيف مشروع تحلية المياه تحت أي من شروط ونماذج العقد التالية:

6. دور القطاع الخاص

- الشراكة بين القطاعين العام والخاص (PPP).
- الامتيازات أو معاملات الاستعانة بمصادر خارجية للمرافق.
- مشروع المياه والطاقة المستقل (IWPP).
- مخططات البناء والتشغيل (BOO).
- إنشاء مخططات التشغيل الخاصة بها مع إرفاق صلاحية النقل (BOOT).

ستنشأ الخلافات حتماً بسبب الأهداف المتعددة لدمج تصميم محطات تحلية المياه وتشييدها وتشغيلها وصيانتها مع الملكية والتمويل. من أجل تحقيق أقل تكلفة للقروض، يجب على الشركة تقليل المخاطر. من ناحية أخرى، ترتبط الابتكارات التكنولوجية بمستويات أعلى من المخاطر. يتعين على أي كيان ناجح من القطاع الخاص أن يختار الحل التقني الأنسب بناءً على تكلفة العمر الكلي للأصل، لتحسين رأس المال وتكاليف التشغيل وتحقيق تعريفة تنافسية (السعر لمتر مكعب من المياه).

من أجل تشييد المحطات، يتم استخدام ثلاثة نماذج عقود أولية EPC (الهندسة والمشتريات وعقد البناء)، DBO (التصميم والبناء والتشغيل) و BOT (البناء والتشغيل والنقل). أصبحت مشاريع بناء وامتلاك وتشغيل ونقل (BOOT) محطات تحلية المياه منتشرة بشكل متزايد في جميع أنحاء العالم لأنها تسمح للبلديات والمرافق العامة بتحويل المخاطر المرتبطة بتكاليف المياه المحلاة إلى القطاع الخاص.

كما أن هناك قيود على البنية التحتية لتطبيق الشراكة بين القطاعين العام والخاص. على سبيل المثال، تتطلب تحلية المياه عادة نقل المياه المحلاة لمسافات طويلة إلى الموقع المطلوب. لذلك يجب أن تُستكمل الشراكة بين القطاعين العام والخاص بالقيود المؤسسية، بما في ذلك وضع سياسات تسعير المياه، واستثمارات البحث والتطوير، وإدارة موارد المياه المتكاملة. كما أن تصور السكان لمشاركة القطاع الخاص في الشراكة بين القطاعين العام والخاص يمثل قيدًا أيضًا. وتشمل المخاوف من إمكانية ارتفاع الأسعار، والممارسات التجارية غير الملائمة، ونشر المعلومات بشكل غير مثالي. هذا ناهيكم عن أن الموارد البشرية والجوانب ذات الصلة لا تزال في طور الإنشاء، ولم يتم قياس جودة المياه للمياه كمياً لتحقيق النمو الاجتماعي والاقتصادي.

6.1. شراء محطات التحلية

يتأثر اختيار نموذج الشراء لمشروع تحلية المياه بعوامل مختلفة، مثل موقع المشروع، وحجم المحطة، وبيان مخاطر المشروع، ومصادر التمويل، والسندات، وتجربة المالك. علاوة على ذلك، تُستخدم نماذج تسليم مختلفة لشراء مشاريع تحلية المياه، اعتمادًا على ما إذا كان المشروع ممولًا من قبل وكالة عامة أو كيان خاص. وتُستخدم نماذج التسليم هذه عندما يريد العميل الاحتفاظ بملكية المحطة. وتشمل هذه الفئات الهندسة والمشتريات والبناء (EPC) أو التصميم والبناء (DB) أو تصميم العطاء والبناء (DBB). ويتطلب أن يتكفل العميل للحصول على أيًا من هذه النماذج بإعداد الرسومات والمواصفات التفصيلية. ثم يتم إحضار الرسومات والمواصفات إلى المقاول من قبل العميل حتى يبدأ البناء [42].

6.2. عقود التصميم والبناء والتشغيل (DBO)

أثناء عملية طرح المناقصة، يقوم العملاء الراغبين

بمحطة تحلية المياه بمنح عقود البناء والتشغيل والصيانة (M&O) كحزمة واحدة. في بعض الحالات، يتحمل الأعضاء الذين يقدمون العروض مسؤوليات مختلفة في العقد الخاص بالبناء والتشغيل. ويتطلب النموذج أطرًا قانونية أقل من النماذج الأخرى (مثل BOT) ويحفز الموثوقية طويلة الأجل كهدف إنمائي رئيسي لأن المكون التشغيلي للعقد يتطلب أطرًا قانونية أكثر صرامة من تلك الخاصة بالنماذج القائمة على BOT [42]. على سبيل المثال تم استخدام هذا النموذج لمشاريع إمدادات المياه في البصرة.

6.3. عقود البناء والتشغيل والنقل (BOT)

في نموذج التسليم هذا، تمتلك شركة التطوير الخاصة كافة الأصول، ويستلم العملاء أصولهم في نهاية فترة العقد؛ في عام 2020، مكنت مشاركة التمويل الخاص هذه من تحقيق مستوى عالٍ من الاستثمار في مشاريع تحلية المياه الجديدة. واستفادت المشاريع بشكل كبير من نموذج عقد انتاج المياه المستقل (IWP)، والذي تضمن عقد BOT طويل الأجل. يذكر أن معظم السعة الممنوحة من خلال هذا النموذج حدثت في دول الخليج العربي. حيث تنتج العديد من مشاريع BOT الآن المياه المحلاة بأقل من 0.50 دولار للمتر المكعب. وتشمل هذه المشاريع الجبيل 3 أ (0.41 دولار للمتر المكعب)، والجبيل 3 مليارات (0.42 دولار للمتر مكعب)، وينبع 4 (0.47 دولار للمتر مكعب). ومع ذلك؛ قد يتعذر الحصول على أسعار منخفضة خارج منطقة الشرق الأوسط بسبب ارتفاع التكاليف البيئية والتنظيمية والعمالة [34].
وفي شمال إفريقيا، تكتسب الشراكات بين القطاعين العام والخاص في المغرب زخمًا أيضًا. من المتوقع أن تستخدم محطة الدار البيضاء والذي يخطط أن تبلغ طاقته الإنتاجية 800 ألف متر مكعب في اليوم عقد البناء والتشغيل والتحويل، في حين أن القانون الجديد بالمغرب، عند صدوره، سيوسع قائمة الهيئات العامة التي يمكنها المشاركة في الشراكة بين القطاعين العام والخاص. وبالمثل، من المتوقع أن يتطلب البرنامج الضخم لتحلية المياه في مصر لعام 2050 تمويلًا خاصًا. كما ستتبع محطة تحلية قابس التونسية نموذج BOT.

6.4. البناء والامتلاك والتشغيل (BOO)

على عكس BOT، لا يتضمن هذا النموذج نقل الأصول. تختار البلديات والجهات المشرفة على المرافق العامة طريقة مشروع البناء وامتلاك وتشغيل ثم نقل المحطات (BOOT) لتحويل مخاطر تحلية المياه إلى القطاع الخاص. ومن المهم ملاحظة أن هناك أخطار معينة مرتبطة بتشغيل محطات تحلية مياه البحر واسعة النطاق. وتشمل هذه التنبؤات بأداء المصنع بسبب التحديات في الحصول على التصاريح، وجودة المياه، وتكاليف بدء التشغيل والتشغيل، والخبرة المحدودة للقطاع العام فيما يتعلق بتكنولوجيا الأغشية ومعداتها [42].

6.5. القيود المتعلقة بالتصور العام لمشاركة القطاع الخاص في الشراكة بين القطاعين العام والخاص

من خلال الشراكة مع القطاع الخاص، يمكن للحكومات تقليل التكاليف وتحسين الخدمات خارج نطاق البيع التي يقدمها القطاع الخاص. جدير بالذكر أن الشراكات بين القطاعين العام والخاص (PPPs) نوقشت على نطاق واسع في المنطقة العربية في العقد الماضي. وقد تم إيلاء اهتمام خاص للعلاقات مع الأطر المؤسسية والتنظيمية، ومخاطر السوق، ومخاطر الشراء، وهياكل التعرفة، ورسوم المياه المحلاة، والبناء، والمخاطر الفنية والتشغيلية، وآليات التمويل، وتعزيز الائتمان، والمخاطر البيئية. ومع ذلك؛ فإن تطبيق الشراكات بين القطاعين العام والخاص يتأثر بقيود البنية التحتية. علاوة على ذلك؛ يجب استشارة المؤسسات القائمة بالاقتران مع الشراكات بين القطاعين العام والخاص، مثل إنشاء أنظمة تخزين المياه. والتي غالبًا ما تتشابك إدارة الموارد المائية مع وضع سياسة تسعير المياه وبرنامج الحوافز، وهذه عوامل أخرى يجب معالجتها بالاقتران مع الشراكات بين القطاعين العام والخاص، كثيرًا ما يشعر المواطنون والمقيمون في هذه الدول بالقلق إزاء ارتفاع الأسعار، والممارسات التجارية غير الملائمة، والافتقار العام إلى المعلومات التي يسهل فهمها في الواقع، حتى الآن ، لم يوجد تقدير كمي كامل لشرح سبب تأثير جودة المياه سلبًا على التنمية الاجتماعية والاقتصادية، ولا تزال الموارد البشرية والمنظمات ذات الصلة المطلوبة لإنشاء هذه الرابطة في مهدها [42].

هناك قيد آخر يتمثل في تصور العامة لمشاركة القطاع الخاص في الشراكة بين القطاعين العام والخاص. تشمل المخاوف الاستغلال المحتمل لمورد أساسي لصالح الربح. علاوة على ذلك ، يعتبر الاستثمار وتكاليف المياه المنتجة عوامل أساسية بديهية في التأثير على صانعي القرار لاختيار التقنيات المناسبة ، والتي يمكن دمجها مع الحوافز المحلية ونماذج تسليم العقود. قد تختلف التكاليف لكل متر مكعب من المياه المحلاة بشكل كبير اعتمادًا على عدة عوامل ، بما في ذلك قدرة إنتاج المياه وجودتها ، ومصدر مياه التغذية (مياه البحر أو المياه قليلة الملوحة) ، والموقع ، ونوع الطاقة المستخدمة.

تشمل هذه المخاوف الاستغلال المحتمل لمورد أساسي لصالح الربح. علاوة على ذلك؛ يعتبر الاستثمار وتكاليف المياه المنتجة عوامل أساسية بديهية في التأثير على صانعي القرار لاختيار التقنيات المناسبة، والتي يمكن دمجها مع الحوافز المحلية ونماذج تسليم العقود. وقد تختلف التكاليف لكل متر مكعب من المياه المحلاة بشكل كبير اعتمادًا على عدة عوامل، بما في ذلك قدرة إنتاج المياه وجودتها، ومصدر مياه التغذية (مياه البحر أو المياه قليلة الملوحة)، والموقع، ونوع الطاقة المستخدمة.

في المنطقة العربية، وخاصة في دول الخليج العربي، تطورت تحلية المياه لتصبح واحدة من أكبر الأسواق في العالم. بالإضافة إلى كونها رائدة على مستوى العالم في مجال تقنية تحلية المياه، يمكن لمنطقة الخليج العربي أن تكون جزء يساهم في التدريب بالدول المجاورة لها. وفقًا لخبراء الصناعة، فإن الحاجة الملحة للتدريب وبناء القدرات في مجال تحلية المياه أمر لا جدال فيه. في الوقت الحاضر، يتم بناء محطات تحلية المياه على نطاق واسع بشكل أسرع من تدريب الأشخاص الذين يمكنهم تشغيلها. هناك حاجة مستمرة لتطوير وتدريب الموارد البشرية لتشغيل محطات

7. تنمية القدرات

التحلية الحالية والمستقبلية في المنطقة العربية.

تفتقر المنطقة العربية إلى القوى العاملة المناسبة في مجال تحلية المياه – المستشارون؛ والمصممون؛ والباحثون الخبراء؛ والفنيون المهرة؛ والمشغلون - لتلبية احتياجات المنطقة بشكل مناسب الآن وفي المستقبل. كما تشير العديد من التقديرات إلى أن العمليات الحالية والمستقبلية لصناعة تحلية المياه في هذه المنطقة سوف تتطلب عددًا كبيرًا من الموظفين على جميع المستويات الفنية. علاوة على ذلك، فإن معظم المقاولين والاستشاريين ليسوا من السكان المحليين. يمكن أن يُعزى هذا العامل إلى حقيقة أن معظم أنشطة تحلية المياه في المنطقة بدأت في البلدان المنتجة للنفط التي يمكنها تحمل العمالة الوافدة أو ليس لديها مهارات محلية في متناول اليد. وعلى العكس من ذلك، فإن معظم الدول غير المنتجة للنفط قد بدأت للتو في تحلية المياه وليس لديها الموارد البشرية اللازمة في هذا المجال.

في الوقت الحالي، تهيمن مبادرات القطاع الخاص والدورات المتخصصة التي تقدمها الجامعات الإقليمية على التعليم الإقليمي حول تحلية المياه. على الرغم من هذه المبادرات، فمن غير المحتمل أن يكونوا قادرين على تلبية احتياجات النمو المقدر لهذه الصناعة. كما أن النهج الذي ينطوي على التشارك بين المعاهد والمنظمات ضروري لتوفير التعليم والتدريب الأكثر فعالية؛ فيما يلعب البحث والتطوير دورًا حيويًا في جميع المجالات التي تؤدي إلى تقدم التقنية. من جانب آخر فإنه ولسوء الحظ، فإن معظم الشركات التي تزود تقنيات تحلية المياه لا تستثمر كثيرًا في البحث والتطوير، ربما بسبب نقص الأموال. ولذلك فإنه يجب تكريس استثمارات كبيرة لتطوير تقنيات مجدية اقتصاديًا لاكتساب ميزة تنافسية في السوق.

وبالمثل، وعلى الرغم من ارتفاع مستوى المنافسة في سوق تحلية المياه، فإن معظم مستخدمي التقنية لا يشاركون بنشاط في إدخال تحسينات على محطاتهم لزيادة أدائهم التشغيلي؛ وقد يكون هذا أيضا بسبب نقص التمويل أو الموارد البشرية المدربة للإشراف وإجراء البحوث. تجدر الإشارة إلى أن بعض البلدان في المنطقة العربية لديها بالفعل برامج راسخة لتحلية المياه، بما في ذلك دول مجلس التعاون الخليجي، وإلى حد ما، ليبيا.

ومع ذلك، فإن المشكلة الرئيسية في هذه التطورات هي نقص الموظفين المؤهلين في العديد من هذه البلدان، حيث لا يوجد لدى العديد منها مرافق تدريب أو برامج تدريب مخصصة للموظفين. يحاول موردو المصانع حل هذه المشكلة من خلال إنشاء مرافق وبرامج تدريبية داخل البلد المضيف أو في الخارج. كجزء من هذه المبادرة، في سلطنة عمان؛ يقدم مركز الشرق الأوسط لأبحاث تحلية المياه (MEDRC) دورات تدريبية قصيرة يتم إجراؤها في المنطقة من قبل خبراء معترف بهم دوليًا في هذا المجال. ويعزز القدرات البحثية من خلال إشراك باحثين محليين في فرق البحث لكل مشروع برعاية المركز ورعاية الطلاب لمتابعة مؤهلات الدراسات العليا في تحلية المياه والمجالات المرتبطة بها. إضافة إلى أن المملكة العربية السعودية كان لها السبق والدور الرائد في تطوير هذا الجانب وذلك بإنشاء الأكاديمية السعودية. والتي تعتبر مركز تدريبي مبتكر وديناميكي مكتمل، والذي بدوره يخلق بيئة تعليمية مثالية لتطوير قدرات المتدخلين في مجال المياه من المهنيين والمهندسين والمشغلين والفنيين، حيث تعمل على تقديم برامج تدريبية متكاملة وأيضاً دورات تدريبية متخصصة فردية ابتداءً من المراحل الأولية للمبتدئين والفنيين إلى المراحل المتقدمة للمهندسين حديثي التخرج.

7.1. الدرجات والأدوار الأكاديمية

تمتلك الجامعات ومراكز الأبحاث في المنطقة العربية موارد مرافق، وعددًا محدودًا من الموظفين المتاحين لتطوير تقنيات جديدة. ومع ذلك، فهم يقومون بالبحث لتحسين العمليات الحالية. ترتكز معظم الأعمال البحثية في الجامعات العربية على دراسات التقييم ومحاكاة العمليات لتقييم المحطات القائمة وأنظمة تحلية المياه الصغيرة وتطبيقات الطاقة المتجددة في تحلية المياه، عدداً قليلاً جدًا من الجامعات في جميع أنحاء العالم تقدم دورات في تنقية المياه في برامجها الهندسية. ومع ذلك، توجد استثناءات في ذلك، مثل جامعة الملك عبد العزيز في جدة، وجامعة الكويت، و Ecole'L Tunis de Ingénieur'd Nationale في تونس. ولتلبية هذه الحاجة بشكل أكبر، ساعد مركز أبحاث تحلية المياه في الشرق الأوسط في سلطنة عمان على إطلاق منح لدراسة الماجستير والدكتوراه، ودورات للدراسات العليا تقدم في الجامعات العربية. كذلك تنمح الدول العربية مواطنيها منح للدراسات العليا في مجال التحلية خارج المنطقة [43].

7.2. البحث والتطوير

أدى تحسين الوصول إلى المعلومات والأبحاث إلى دعم أبحاث تحلية المياه ونموها في معظم المؤسسات في المنطقة، ويركز البحث والتطوير بشكل أساسي على تحسين كفاءة محطات تحلية المياه المحلية وعلى تحسين التقنيات المتاحة. بالإضافة إلى ذلك، يتم أيضًا إجراء أبحاث في الظواهر المتعلقة بتحلية المياه مثل التحجيم ، وتلوث الأغشية، والتنظيف، والتطهير، والتآكل. ولكن كل ذلك لا يكفي بسبب قلة المراكز التي تعنى بتحلية المياه في المنطقة العربية، مثل المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة (SWCC) في المملكة العربية السعودية ، ومعهد الكويت للأبحاث العلمية (KISR) في الكويت، ومركز أبحاث الشرق الأوسط (MEDRC) في سلطنة عمان. إضافة إلى مركز التميز المصري لأبحاث تحلية المياه بمركز بحوث الصحراء بجمهورية مصر العربية والذي يعنى بإجراء العديد من البحوث للتطوير من حيث التكلفة وتكنولوجيات تحلية المياه إضافة إلى اهتمام المركز بتطوير محطات تحلية المياه الصغيرة المتنقلة والتي تعمل بالطاقة الشمسية.

من الضروري وجود موظفين مؤهلين وذوي خبرة لإنشاء محطات تحلية مياه بمواصفات عالمية. وتشير العديد من التقديرات إلى الحاجة إلى المزيد من موظفي الدعم على جميع المستويات الفنية. ولذلك يجب إنشاء مراكز تدريب وتعليم، ويجب على المؤسسات الأكاديمية تدريب العاملين في القطاع. كما يجب دراسة تقنيات تحلية المياه والموضوعات ذات الصلة لإنشاء برنامج تعليمي عملي، لا سيما بشأن تقنيات محددة تختلف من بلد إلى آخر. ويوصى بأن تكون عملية التعليم مرنة وديناميكية، وقادرة على معالجة التغييرات والتحسينات مع تطور التقنيات [43]. كما يجب أن يبدأ الوعي بقضايا وبرامج المياه على مستوى المدارس الابتدائية والثانوية. وفي الآونة الأخيرة، قامت العديد من الدول العربية بتطوير برامج بناء القدرات في مجال نزح المياه على المستويات المحلية والإقليمية والدولية. ووفرت هذه البرامج تدريبًا عمليًا على التعامل مع الأجهزة، والعمل المخبري، والتحليل الكيميائي والفيزيائي، واختبار وفهم مكونات المصنع. ومن المتوقع أن تؤدي خصخصة صناعة تحلية المياه إلى زيادة الاستثمار في برامج بناء القدرات التي تقدم:

- استخدام العلم والخبرة والمواد والتطبيقات الجديدة لإحياء التقنيات غير الناجحة سابقًا.
- ابتكار عمليات جديدة تمامًا.
- التحسين المستمر للتقنيات الحالية.

7.3. التدريب المهني والتقني

تجري شركات ومؤسسات تحلية المياه الدولية دورات تدريبية بانتظام، مثل DH Paul و Masar Technologies DME Desalination Institute و Haward Technology Middle East و Bushnak Academy و Apex. بالإضافة إلى ذلك، تساعد الجمعيات الدولية مثل الرابطة الدولية لتحلية المياه (IDA)، والرابطة الدولية للمياه (IWA) ، والجمعية

الأوروبية لتحلية المياه (EDS) في إجراء دورات تدريبية وورش عمل خلال مؤتمراتها السنوية.

يمكن أن يكون كل مشروع لتطوير المياه ناجحًا وسلسًا إذا شارك السكان في جميع المراحل التي تسبق الإنجاز (مرحلتي التخطيط والتنفيذ). ونتيجة لذلك ستبذل المجتمعات قصارى جهدها لضمان الإدارة الناجحة لهذه المشاريع لأنها المستفيد النهائي. ولذلك يجب تقديم المزيد من الدعم لبرامج التعليم الفني والمهني لتحلية المياه (بما في ذلك التعلم الإلكتروني). كما يساعد إجراء التدريب المهني والتقني وإشراك السكان المحليين في تقليل تكلفة تحلية المياه بشكل مباشر أو غير مباشر.

8.1. رؤى جديدة للتقنيات المبتكرة

تعمل مراكز ومؤسسات البحث الدولية على تطوير تقنيات جديدة لتحلية مصادر المياه غير التقليدية، وأهمها المياه المنتجة من حقول النفط. تنتج آبار حقول النفط القديمة كمية كبيرة من المياه أثناء إنتاج النفط. في سلطنة عمان، يتم إنتاج 9 براميل من المياه العادمة المالحة لكل برميل من النفط. من الضروري اعتبار هذه المياه كمصدر آخر للمياه بدلاً من تصنيفها كمياه عادمة يجب التخلص منها. تحلية هذه المياه ستوفر مصدرًا ممتازًا للمياه الصالحة للاستخدام، خاصة للري.

تعمل عمليات التفريغ الصفرية السائلة الصديقة للبيئة

8. التوصيات والتوقعات المستقبلية

على تعزيز تطوير تقنيات جديدة لتحلية المياه مثل التقطير بالأغشية والتبلور. كما يتم تطوير تقنيات أخرى لتحلية المياه من مصادر غير البحر. بالإضافة إلى ذلك؛ يجري البحث المتقدم لتطوير تقنيات تحلية المياه للتطبيقات الزراعية، بما في ذلك NF وCDI و EDR وعمليات التحلية المدمجة. ومن المتوقع أن يزداد تطبيق هذه التقنيات، مما يؤدي إلى الفصل بين تقنيات تحلية مياه البحر وتقنيات تحلية المياه قليلة الملوحة.

8.2. الاستدامة المالية

تساهم عدة عوامل في ارتفاع تكلفة تحلية المياه، بما في ذلك هيمنة القطاع العام على الصناعة والتكاليف الاستثمارية الهائلة المرتبطة بمحطات تحلية المياه الجديدة، خاصةً بالنسبة للمشاريع الكبيرة. وبسبب هذه العوامل؛ سيكون من الصعب على صناعة المياه العالمية تلبية الطلب المتزايد بسرعة على المياه. كما أنه سيضع عبئا ثقيلا على الميزانيات الوطنية. تستطيع الحكومات تصميم حوافز للشركات المحلية وتشجيع الاستثمار المحلي في تصنيع المكونات الرئيسية لمحطة تحلية المياه من أجل تحقيق الاستدامة الاقتصادية. وحتما فإن توطين التقنيات والتصنيع سيؤدي إلى زيادة الناتج المحلي الإجمالي وزيادة فرص العمل وتعزيز المهارات المحلية وتقليل تكلفة تحلية المياه وتعزيز دور القطاع الخاص في تحلية المياه. ويجب على الجهات الرسمية الحث على تعزيز الابتكار في التكنولوجيا والعمليات من خلال تقييم الطاقة بأسعار السوق العالمية حسب المعمول به في القطاع الخاص. كذلك فإنه يجب اتخاذ التدابير اللازمة لتقليل تكلفة الدورة الإجمالية لتحلية المياه وجودتها، خاصة لمحطات تحلية المياه الكبيرة. بالإضافة الى ذلك فإن استخدام المنتجات المنتجة محليًا والموارد البشرية المحلية سيؤدي الى تقليل تكاليف انتاج المياه المحلاة. وكون المملكة العربية السعودية أكبر منتج دولي للمياه المحلاة عالميا فإنها تعمل على تعزيز توطين صناعة المياه وإبراز دور المؤسسات الريادي في مجال التوطين والمحتوى المحلي وبناء شراكات إستراتيجية في مجال توطين الصناعة بما يعكس الأثر على الاقتصاد الوطني واستدامة التنمية وموثوقية الإمداد. حيث أطلقت المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة، والتي أطلقت في ديسمبر 2021 مبادرتين لدعم ريادة صناعة تحلية المياه عبر «الاستثمار التجاري لمياه الرجيع الملحي» و«توطين صناعة ونقل معرفة أغشية التناضح العكسي». والذي يسهم في خلق الفرص الوظيفية و زيادة نسبة المحتوى المحلي، والتي بدورها تعد إضافة لتأهيل وتمكين الكوادر الوطنية، ومن المتوقع أن يعود ذلك بالنفع الاقتصادي على الناتج المحلي الإجمالي والذي يقدر بحوالي 1.1 مليار ريال خلال مدة الاتفاقية التي تتجاوز 8 أعوام.

8.3. الاستدامة البيئية

إن استخدام الطاقة المتجددة لتقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري والتأثيرات المتعلقة بالمناخ واعتماد أنظمة بيئية أكثر صرامة يضمن الاستدامة البيئية. التوصية الرئيسية الأخرى هي تقليل التأثير البيئي باستخدام مياه منخفضة الجودة أو مياه البحر بدلاً من المياه العذبة أو المحلاة في المصانع، وخاصة للتبريد. هذا ويمكن للقائمين على هذه الجهود في المنطقة العربية النظر في لوائح وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA) بشأن التصريف المباشر وغير المباشر للمخلفات الناتجة من تحلية مياه الشرب. كما اكتسب التفريغ

الصفري السائل (ZLD) مؤخرًا قوة دفع لتقليل التأثير البيئي للملح على الحياة البحرية والشعاب المرجانية ومن الممكن الاستفادة منه أيضا. يذكر أن نظام ZLD ينتج معدل استرداد أعلى للمياه ويوفر خيار استعادة الأملاح لإنتاج الحد الأدنى من المياه والمخلفات الصلبة. وكمثال للجهود المبذولة في الوطن العربي لخفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري هو تعهد المملكة العربية السعودية بمضاعفة جهودها لخفض انبعاثات الكربون من 130 مليون طن إلى 278 مليون طن سنوياً بحلول 2030. كذلك الوصول إلى صافي صفر انبعاثات كربونية بحلول 2060، وذلك كجزء من سلسلة مبادرات تندرج ضمن «السعودية الخضراء».

من جانب آخر فإن الدول العربية تعتمد بشكل كبير على الزراعة التي تساهم بنسبة 80٪ من إجمالي استخدام المياه. فمن الضروري تشجيع المزارعين على استخدام المياه غير التقليدية للري من خلال جلسات التوعية العامة والتشريعات والتمكين من خلال تزويدهم بالتدريب والأدوات والمعدات الحديثة. ويمكن للعالم العربي الاستثمار في تقنيات جديدة لتحلية المياه مناسبة بشكل أفضل للزراعة، مثل عمليات الترشيح بالنانو، ونظام CDI ، وعمليات EDR. هذه العمليات مناسبة للغاية لتحلية المياه ذات الملوحة المنخفضة والمتوسطة ويمكنها التحكم في ملوحة المياه المحلاة. كما أن البحث ضروري للتحقق من إمكانية خلط كميات ونوعية مختلفة من المياه الجوفية ومياه الصرف الصحي المعالجة والمياه المحلاة والمياه السطحية للأغراض الزراعية. بالإضافة إلى ذلك، يعد إجراء المزيد من الأبحاث أمرًا بالغ الأهمية في الزراعة الملحية، والزراعة المائية (الأكوابونيك والهيدروبونيك).

8.4. السعي لتحديث التشريعات والقوانين

تتطلب زيادة القدرات والمعرفة والقيمة المضافة للاقتصاد المحلي مراجعة السياسات والممارسات. وعلى المجتمع العربي أن يكرس الكثير من خبراته وقدراته حاليًا للتشغيل والصيانة، في حين يتم إيلاء القليل من الاهتمام لتصميم المحطات والتصنيع والبناء. ولا يزال يتعين على بعض الدول العربية تحقيق التوازن في سياسات المياه من خلال تنفيذ الأطر القانونية والتشريعية اللازمة. هذا إن كانت موجودة بالفعل، فإن هذه الأطر لا يتم ممارستها بشكل مثالي للأغراض المخصصة لها. ولا تعالج القوانين والتشريعات جميع القضايا بشكل كافٍ، أو تفشل أدوات التنفيذ في ضمان التطبيق السليم، مما يؤدي إلى نقص في التنفيذ.

تعد الأطر القانونية والتشريعية القوية ذات أهمية قصوى لضمان التنفيذ السليم للسياسات وتحقيق التنمية المتوازنة. ولذلك يجب وضع إطار تنظيمي شامل لتحلية المياه بالإضافة إلى برامج الحوافز التي تهدف إلى تقليل البصمة الكربونية والأثر البيئي المرتبط بعملية التحلية. علاوة على ذلك، يجب على المشرعين التعاون مع أقرانهم العرب والدوليين أثناء تطوير تشريعات المياه المناسبة. يتيح التعاون للمشرعين تطوير تشريعات شاملة وواسعة النطاق مناسبة للمنطقة بأكملها والأجيال القادمة.

8.5. الطلب على المياه في الثورة الصناعية الرابعة ودور التقنيات الهدامة

- تقنية النانو لديها مجموعة واسعة من التطبيقات المحتملة في معالجة وتحلية المياه لأنها رائدة في تصنيع المواد والأنظمة والتقنيات الجديدة بتكاليف منخفضة وبكفاءة عالية. من خلال تقنية النانو، يمكن إطلاق العنان لمصادر مياه جديدة على نطاق واسع، مما يعود بالفوائد على العديد من الصناعات، بما في ذلك إزالة تلوث المياه، وتطوير البنية التحتية، والمراقبة. تقديراً للتأثير المحتمل لهذه التكنولوجيا، يستثمر الاقتصاد العالمي بالفعل في تكنولوجيا النانو. ومن المتوقع أن يتجاوز القطاع 125 مليار دولار بحلول عام 2024.
- تكتسب الطاقة المتجددة لتحلية المياه المباشرة وغير المباشرة اهتمامًا في البلدان الغنية بأشعة الشمس. كما أثبتت التطورات الأخيرة قدرة الطاقة المتجددة على استبدال عمليات المعالجة المعتادة المستخدمة في تحلية المياه. هذه العمليات المعتادة تستهلك طاقة عالية ومواد كيميائية ضارة ولذلك فإن محطات التحلية التي تعمل بالطاقة المتجددة هي مستقبل تحلية المياه لأنها تقلل من تكاليف الطاقة، ويعوض

الطلب على الطاقة خلال ساعات الذروة، وصديقة للبيئة.

- شددت التوجهات الأخيرة لهدف تحقيق صافي انبعاثات صفرية على الحاجة إلى إنتاج الهيدروجين الأخضر بدلاً من ألوان الهيدروجين الأخرى. يتم إنتاج الهيدروجين الأخضر باستخدام الكهرباء لفصل جزيئات الماء إلى هيدروجين وأكسجين. تتطلب التقنيات الحالية درجة نقاء عالية من المياه لإنتاج الهيدروجين الأخضر. نحتاج إلى 9 لترات من الماء لإنتاج 1 كجم من الهيدروجين و8 كجم من الأكسجين. الكمية الإجمالية لإنتاج الهيدروجين اليوم، حوالي 70 مليون طن من الهيدروجين، تتطلب 617 مليون متر مكعب من الماء إذا تم إنتاجها كلها عن طريق التحليل الكهربائي [44].

يمكن أن تؤدي مشاريع الهيدروجين داخل المناطق التي تعاني من إجهاد مائي فوق المتوسط إلى زيادة الطلب على تحلية المياه بمقدار خمسة أضعاف بحلول عام 2040 [45]. ونتيجة لذلك، يتعين على الدول العربية التي تخطط لإنتاج الهيدروجين الأخضر الاعتماد على تحلية مياه البحر للحصول على المياه اللازمة لهذه العملية.

نظراً لهذا النمو الكبير في طلب إنتاج الهيدروجين الأخضر، وقعت المؤسسة العامة لتحلية المياه المملحة بالمملكة العربية السعودية مذكرة تفاهم مع شركة Cummins Arabia لاستكشاف سبل تطوير تقنيات الهيدروجين الخضراء بشكل مشترك كواحد من المشاريع العملاقة في المملكة لتنويع اقتصادها، كذلك فإن مشروع نيوم الذي تبلغ تكلفته 500 مليار دولار على ساحل البحر الأحمر سيطور واحدًا من أولى مشاريع الهيدروجين الأخضر واسعة النطاق في الشرق الأوسط. بالإضافة إلى ذلك، هناك مشروع جديد وطموح لإنتاج الهيدروجين الأخضر من المياه المحلاة قيد التنفيذ في أبو ظبي، مما يخطو خطوة كبيرة في سوق الطاقة المتجددة. هذا وتناقش موانئ أبو ظبي وشركة طاقة، اللتان تتحكمان في جميع البنية التحتية للمياه في الإمارة، إمكانية إنشاء مصنع أخضر للهيدروجين والأمونيا في منطقة خليفة الصناعية. ستعمل محطة للطاقة الشمسية الكهروضوئية بقدرة 2 جيجاوات على تشغيل عملية التحليل الكهربائي.

المصادر

[1] G. Baggio, M. Qadir, V. Smakhtin, Freshwater availability status across countries for human and ecosystem needs, Science of The Total Environment, 792 (2021) 148230.

[2] H. Adun, H.P. Ishaku, A.T. Ogungbemi, Towards Renewable energy targets for the Middle East and North African region: A decarboniza-

tion assessment of energy-water nexus, Journal of Cleaner Production, 374 (2022) 133944.

[3] D. Dimkić, M. Dimkić, S. Vujasinović, Drought and alluvial groundwater resources, (2021).

[4] M. Ayaz, M. Namazi, M.A. ud Din, M.M. Ershath, A. Mansour, Sustainable seawater desalination: Current status, environmental implications and future expectations, Desalination, 540 (2022) 116022.

[5] B. Moossa, P. Trivedi, H. Saleem, S.J. Zaidi, Desalination in the GCC countries-a review, Journal of Cleaner Production, (2022) 131717.

[6] D. Curto, V. Franzitta, A. Guercio, A review of the water desalination technologies, Applied Sciences, 11 (2021) 670.

[7] Y. Shatilla, Nuclear desalination, Nuclear Reactor Technology Development and Utilization, Elsevier2020, pp. 247-270.

[8] A. Alkhudhiri, N. Darwish, N. Hilal, Membrane distillation: A comprehensive review, Desalination, 287 (2012) 2-18.

[9] T. Mezher, H. Fath, Z. Abbas, A. Khaled, Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies, Desalination, 266 (2011) 263-273.

[10] K.M. Shah, I.H. Billinge, X. Chen, H. Fan, Y. Huang, R.K. Winton, N.Y. Yip, Drivers, challenges, and emerging technologies for desalination of high-salinity brines: A critical review, Desalination, 538 (2022) 115827.

[11] F.E. Ahmed, R. Hashaikeh, N. Hilal, Solar powered desalination–Technology, energy and future outlook, Desalination, 453 (2019) 54-76.

[12] M. Rahman, Foreword I, Green Energy and Technology, Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6887-5, 2019.

[13] P.S. Bhambare, M. Majumder, C. Sudhir, Solar thermal desalination: a sustainable alternative for Sultanate of Oman, International Journal of Renewable Energy Resources, 8 (2018) 733-751.

[14] Veolia and TotalEnergies partner to build largest solar system for desalination plant in Oman, Times of Oman, 2022.

[15] Solar energy to power sur desalination plant Oman Observer Oman, 2022.

[16] P.S.Z.R. Van Der, Wal A. Presser V. Biesheuvel P, Prog. Mater. Sci, 58 (2013) 1388.

[17] Y. Oren, Capacitive deionization (CDI) for desalination and water treatment—past, present and future (a review), Desalination, 228 (2008) 10-29.

[18] N.J. Vickers, Animal communication: when i'm calling you, will you answer too?, Current biology, 27 (2017) R713-R715.

[19] P. Goh, K. Wong, A. Ismail, Membrane technology: A versatile tool for saline wastewater treatment and resource recovery, Desalination, 521 (2022) 115377.

[20] Y. Ibrahim, H.A. Arafat, T. Mezher, F. AlMarzooqi, An integrated framework for sustainability assessment of seawater desalination, Desalination, 447 (2018) 1-17.

[21] H.A. Awaad, E. Mansour, M. Akrami, H.E. Fath, A.A. Javadi, A. Negm, Availability and feasibility of water desalination as a non-conventional resource for agricultural irrigation in the mena region: A review, Sustainability, 12 (2020) 7592.

[22] J.A. Aznar-Sanchez, L.J. Belmonte-Urena, J.F. Velasco-Munoz, D.L. Valera, Farmers' profiles and behaviours toward desalinated seawater for irrigation: Insights from South-east Spain, Journal of Cleaner Production, 296 (2021) 126568.

[23] A. Hafez, S. El-Manharawy, Economics of seawater RO desalination in the Red Sea region, Egypt. Part 1. A case study, Desalination, 153 (2003) 335-347.

[24] J.M. Beltrán, S. Koo-Oshima, Water desalination for agricultural applications, FAO Land and water discussion paper, 5 (2006) 48.

[25] C.-Y. Chen, S.-W. Wang, H. Kim, S.-Y. Pan, C. Fan, Y.J. Lin, Non-conventional water reuse in agriculture: A circular water economy, Water Research, 199 (2021) 117193.

[26] T. Kober, H.-W. Schiffer, M. Densing, E. Panos, Global energy perspectives to 2060–WEC's World Energy Scenarios 2019, Energy Strategy Reviews, 31 (2020) 100523.

[27] N. Ghaffour, T.M. Missimer, G.L. Amy, Technical review and evaluation of the economics of water desalination: current and future challenges for better water supply sustainability, Desalina-

tion, 309 (2013) 197-207.

[28] H. Sewilam, P. Nasr, Desalinated water for food production in the Arab region, The water, energy, and food security nexus in the Arab region, Springer2017, pp. 59-81.

[29] J. Eke, A. Yusuf, A. Giwa, A. Sodiq, The global status of desalination: An assessment of current desalination technologies, plants and capacity, Desalination, 495 (2020) 114633.

[30] J. Kim, K. Park, D.R. Yang, S. Hong, A comprehensive review of energy consumption of seawater reverse osmosis desalination plants, Applied Energy, 254 (2019) 113652.

[31] N. Voutchkov, Energy use for membrane seawater desalination–current status and trends, Desalination, 431 (2018) 2-14.

[32] U. Caldera, D. Bogdanov, S. Afanasyeva, C. Breyer, Role of seawater desalination in the management of an integrated water and 100% renewable energy based power sector in Saudi Arabia, Water, 10 (2017) 3.

[33] M. Fawzi, M.I. Al Ajlouni, Water Safety Plan Resources In Jordan Quantity and Quality, (2021).

[34] E. ALEISA, A. ALJUWAISSERI, K. ALSHAYJI, A. AL-MUTIRI, ENVIRONMENTAL IMPACTS OF REVERSE OSMOSIS IN WASTEWATER TREATMENT VERSUS DESALINATION TO MEND THE WATER CYCLE: A LIFE CYCLE ASSESSMENT, WIT Transactions on Ecology and the Environment, 257 (2022) 27-37.

[35] R.A. Al-Masri, J. Chenoweth, R.J. Murphy, Exploring the Status Quo of Water-Energy Nexus Policies and Governance in Jordan, Environmental Science & Policy, 100 (2019) 192-204.

[36] S.M. East, N. Africa, A.R. Egypt, ROAD AHEAD.

[37] D.M. Warsinger, Desalination Innovations Needed to Ensure Clean Water for the Next 50 Years, The Bridge, (2020).

[38] E.J. Campos, F. Vieira, G. Cavalcante, B. Kjerfve, M. Abouleish, S. Shahriar, R. Mohamed, A.L. Gordon, Impacts of brine disposal from water desalination plants on the physical environment in the Persian/Arabian Gulf, Environmental Research Communications, 2 (2020) 125003.

[39] M.A. Dawoud, S.O. Alaswad, H.A. Ewea, R.M. Dawoud, Towards sustainable desalination industry in Arab region: challenges and opportunities, 4th international water desalination conference: future of water desalination in Egypt and the Middle East, 2020.

[40] M.A. Dawoud, Environmental impacts of seawater desalination: Arabian Gulf case study, International Journal of Environment and Sustainability, 1 (2012).

[41] J. Daher, Water scarcity, mismanagement and pollution in Syria, European University Institute, 2022.

[42] R.A. Greer, K. Lee, A. Fencl, G. Sneegas, Public–Private Partnerships in the Water Sector: The Case of Desalination, Water Resources Management, 35 (2021) 3497-3511.

[43] N. Ghaffour, The challenge of capacity-building strategies and perspectives for desalination for sustainable water use in MENA, Desalination and Water Treatment, 5 (2009) 48-53.

[44] F. Birol, The future of hydrogen: seizing today's opportunities, IEA Report prepared for the G, 20 (2019).

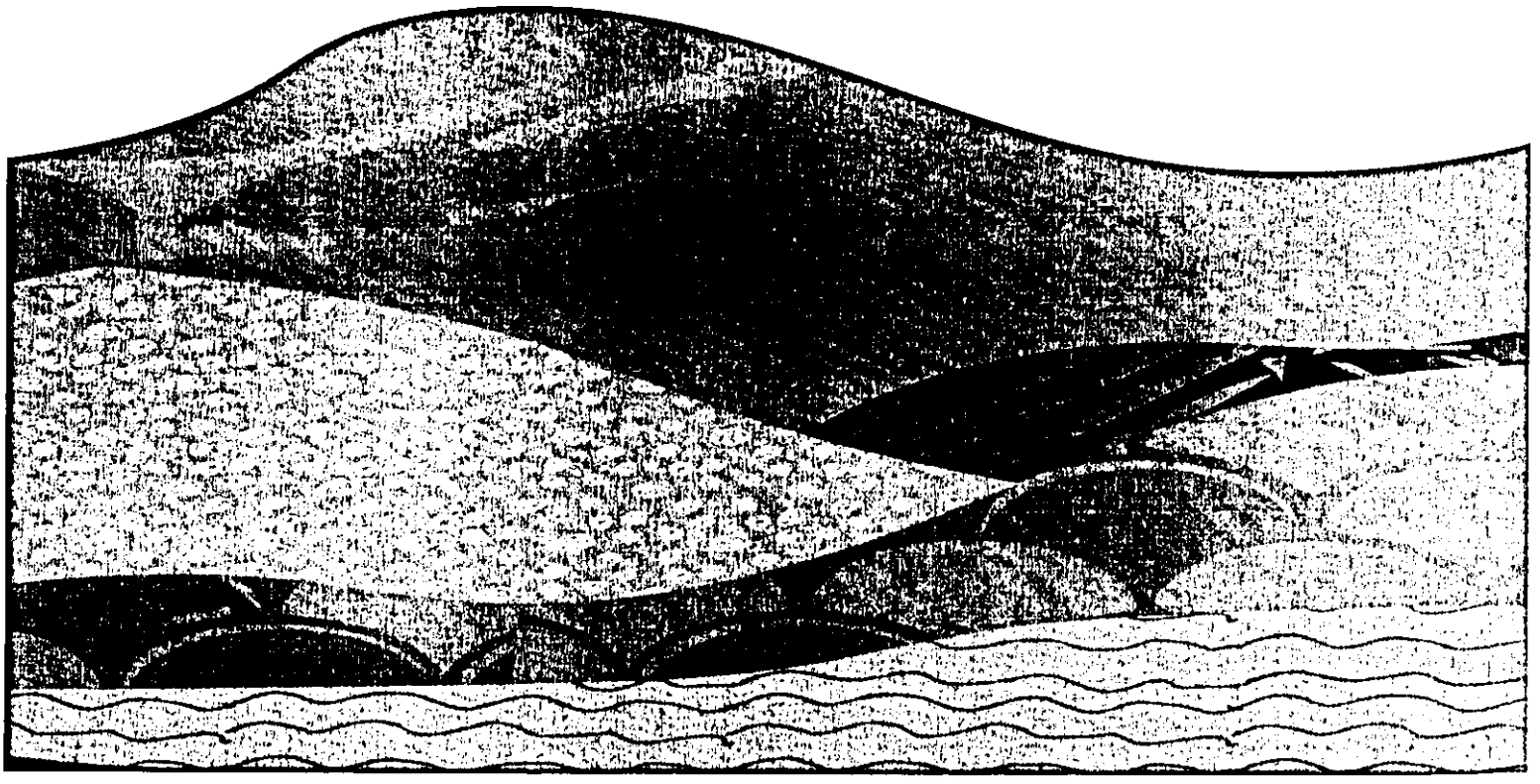
[45] A. Boretti, L. Rosa, Reassessing the projections of the world water development report, NPJ Clean Water, 2 (2019) 1-6.

مرفق (4)

المجلس الوزاري العربي المشترك للمياه والزراعة

الاستخدام الآمن للحمأة في الزراعة في المنطقة العربية

مسودة للنقاش



منظمة
الأغذية والزراعة
للأمم المتحدة

المحتويات

الاختصارات	**6**
1. الإطار العام والأهداف الرئيسية	**7**
1.1 خلفية	7
1.2 نطاق	7
2. المقدمة	**8**
3. إدارة الحمأة	**10**
3.1 نوع الحمأة وجودة الحمأة	10
3.2 كمية الحمأة	13
3.3 معالجة الحمأة	14
3.4 طرق التخلص من الحمأة	18
4. الجوانب الاجتماعية والاقتصادية	**20**
4.1 استخدام الحمأة كمدخلات منخفضة التكلفة كسماد و/أو محسن للتربة	20
4.2 القبول الاجتماعي	20
4.3 حوافز إعادة استخدام الحمأة	21
4.4 معوقات إعادة استخدام الحمأة	21
5. الإطار التنظيمي	**23**
5.1 القوانين واللوائح والمعايير المعتمدة	23
5.2 أدوار أصحاب المصلحة	23
6. التأثير البيئي	**25**
6.1 بنية التربة ونوعيتها	25
6.2 تأثير استخدام الحمأة على مصادر المياه	25
6.3 استخدام الحمأة مقابل تغير المناخ	26
7. الجوانب الصحية	**27**
7.1 المخاوف الصحية	27
7.2 المعايير والمبادئ التوجيهية الدولية بشأن إعادة الاستخدام الآمن للحمأة	27
8. إدارة تطبيق الكتلة الحيوية على الأراضي الزراعية	**31**
8.1 العناصر الغذائية المتوفرة في الكتلة الحيوية للنباتات	31
8.2 النقل والتخزين	32
8.3 أفضل ممارسة	32
8.4 تنمية القدرات	32
8.5 دور البحث والتطوير	33
9. الاستنتاجات والتوجيهات المحتملة	**34**
9.1 الاستنتاجات	34
9.2 الاتجاهات الممكنة	34
10 المراجع	**35**

قائمة جداول

الجدول 1. الخصائص الفيزيائية لأنواع مختلفة من الحمأة 10

الجدول 2. البيانات النموذجية للخصائص الفيزيائية وكميات الحمأة الناتجة من أنواع **عمليات** وتشغيل مختلفة لمعالجة مياه الصرف الصحي 11

الجدول 3. التركيب النموذجي للحمأة الأولية والثانوية الناتجة في محطات معالجة مياه الصرف الصحي (Metcalf and Eddy, 2003) 12

الجدول 4. التركيب الكيميائي للحمأة الخام والمهضومة 13

الجدول 5. أنظمة درجة الحرارة-الزمن الأربعة لتخفيض مسببات الأمراض للفئة A بموجب البديل 1 28

الجدول 6. حدود الملوثات المستخدمة في الأراضي (أساس الوزن الجاف) في لوائح الجزء 503 من وكالة حماية البيئة الأمريكية (Doula, 2017) 29

الجدول 7. مقارنة مستويات المغذيات في الأسمدة التجارية والكتلة الحيوية الناتجة من مياه الصرف الصحي(أ) 31

الجدول 8. محتوى الحمأة من المواد الصلبة وخصائص التعامل معها 32

قائمة الأشكال

الشكل 1. خيارات مخططات تدفق الحمأة لمعالجة الحمأة والتخلص مكونة من مجموعة متنوعة من العمليات ووحدات العمليات المتاحة (Metcalf and Eddy, 2003). 15

الشكل 2. توزيع الرطوبة في الحمأة (Tsang and Vesilind, 1990) 17

تنويه

تم اعداد ومراجعة التقرير حول " الاستخدام الآمن للحمأة في الزراعة في المنطقة العربية" من قبل المكتب الاقليمي للشرق الادنى وشمال افريقيا لمنظمة الامم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) في اطار دعم الامانة الفنية المشتركة للمجلس الوزاري المشترك للمياه والزراعة (المكونة من الامانة الفنية للمجلس العربي للمياه والمنظمة العربية للتنمية الزراعية) لتنفيذ توصية اللجنة الفنية المشتركة رفيعة المستوى للمياه والزراعة في اجتماعها المنعقد بتاريخ 18 اكتوبر 2022 والمتعلقة بالبند الثاني الخاص باستخدام الموارد المائية غير التقليدية في الزراعة.

الاختصارات

SRT	عمر مكوث الحمأة
F/M	نسبة الغذاء للحمأة (kg BOD/kg MLSS.d)
OFMSW	الجزء العضوي من النفايات الصلبة البلدية
U.S. EPA	وكالة حماية البيئة الأمريكية
WWTP	محطة معالجة مياه الصرف الصحي
TSS	إجمالي المواد الصلبة العالقة
VSS	المادة الصلبة المتطايرة
Yactual	العائد الفعلي للكتلة الحيوية
COD	الطلب على الأوكسجين الكيميائي
WAS	الحمأة المنشطة الناتجة
BOD	الطلب على الاكسجين الحيوي
DS	المواد الصلبة الجافة
MFT	المواد الصلبة الجافة
EQ	الجودة الاستثنائية
GHG	غازات الدفيئة
kgCO2-eq	مكافئ ثاني أكسيد الكربون

1. الإطار العام والأهداف الرئيسية

1.1 خلفية

عُقد الاجتماع الوزاري المشترك الثاني للمياه والزراعة في يناير 2022 حيث قرر وزراء الموارد المائية ووزراء الزراعة مجموعة من القرارات حول موضوعات مختلفة، من بينها استخدام موارد المياه غير التقليدية للزراعة.

طلبت اللجنة الفنية المشتركة رفيعة المستوى للمياه والزراعة (HLJTC)، في اجتماعها الذي عقد في أكتوبر/ تشرين الأول 2022، من الأمانة الفنية المشتركة ومنظمة الأغذية والزراعة إعداد ورقة حول الاستخدام الآمن للحمأة الناتجة عن مياه الصرف الصحي المعالجة لأغراض الزراعة في الشرق الأدنى ومنطقة شمال أفريقيا.

2.1 نِطاق

الهدف من هذه الورقة هو تزويد صناع القرار على المستوى القطري بالمعلومات الأساسية والمعلومات والبيانات والتحليلات اللازمة لاتخاذ قرار بشأن التوجهات المستقبلية والاستراتيجيات الإقليمية بشأن الاستخدام الآمن للحمأة في الزراعة في المنطقة العربية.

تقدم الورقة استنتاجات وتوجهات استراتيجية محتملة تتعلق بالاستخدام الآمن للحمأة في الزراعة لدعم عملية اتخاذ القرار.

2. المقدمة

المنتج الثانوي الرئيسي لمحطات معالجة مياه الصرف الصحي هو الحمأة (sludge) والتي هي مادة رقيقة القوام (slurry) تحتوي على نسبة عالية من المواد الصلبة العالقة. يتم إنتاج الحمأة من (1) المواد الصلبة الخام الموجودة في مياه الصرف الصحي الخام التي تدخل إلى محطة معالجة مياه الصرف الصحي (WWTP) والتي تسمى الحمأة الأولية، و(2) من الكتلة الحيوية الزائدة والتي تعد أحد المنتجات النهائية لعمليات التحلل البيولوجي والتي تسمى الحمأة الثانوية . يتم إنتاج حوالي 2-1 لتر تقريبًا لكل شخص من الحمأة المركزة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي البلدية التي تستقبل حوالي 100 إلى 200 لتر من مياه الصرف الصحي للشخص الواحد. إن إدارة هذه النفايات الصلبة والتي هي منتج ثانوي من عمليات معالجة مياه الصرف الصحي معقدة للغاية ومكلفة من حيث المعالجة والنقل والتخلص النهائي بسبب محتواها بشكل أساسي من المعادن الثقيلة ومسببات الأمراض والمحتوى المائي، حتى يتم نقلها وأيضًا امتثالها للتشريعات البيئية المعمول بها. يعد تصريف الحمأة المهدرة هو الأكبر من حيث حجم النفايات الثانوية التي يتم إزالتها من محطة معالجة مياه الصرف الصحي البلدية. ويعود الحجم الكبير للحمأة إلى محتواها المائي العالي الذي يصل إلى 95%. وفي الواقع، وبسبب النمو المستمر لعدد السكان والأنشطة الصناعية، فإن كميات الحمأة تتزايد بشكل كبير كأحد المنتجات النهائية لعمليات معالجة مياه الصرف الصحي بنفس الوتيرة.

القضايا الصعبة الرئيسية لعملية إدارة الحمأة هي:

- حجم الحمأة مرتفع بسبب محتواها المائي العالي، وبالتالي فإن التخلص منها مكلف ومعقد.
- قد يؤدي التخلص غير السليم من الحمأة إلى التلوث البيئي، بما في ذلك مصادر المياه والتربة والنباتات والهواء، وذلك بالمعادن الثقيلة والمواد العضوية ومسببات الأمراض والملوثات الدقيقة والروائح الكريهة وانبعاث NH3 وH2S وما إلى ذلك.

ونظراً لأنه يعيد تدوير العناصر الغذائية الأساسية والمواد العضوية في التربة، فأن نشر حمأة الصرف الصحي المعالجة على الحقول يفيد القطاع الزراعي كأحد بدائل التخلص من الحمأة. وتسمى حمأة مياه الصرف الصحي المعالجة (treated sludge) أيضًا بالمواد الصلبة الحيوية (biosolids). ومع ذلك، من أجل ضمان إعادة تدوير مستدام، وحماية البيئة وصحة الأشخاص والحيوانات، يجب تنفيذ نظام مراقبة، تم تطويره بعناية فائقة، للمنطقة التي تستقبل الحمأة. ووفقًا للبند 4 من الإطار التوجيهي للنفايات رقم EEC/75/442 للاتحاد الأوروبي، يُفضل نشر النفايات على الأرض عندما يتم الحصول على فوائد زراعية، وهو ما يؤدي عند القيام بذلك إلى ضمان تحسين التربة لنمو المحاصيل وبينما أيضًا يحافظ على جودة البيئة (Doula et al., 2017). تحتوي الحماة المعالجة غالبا على مادة عضوية مستقرة (stabilized) وعناصر غذائية (أي N وP وK وCa وMg)؛ وبالتالي فهي ذات قيمة زراعية. يمكن استخدام العناصر الغذائية الموجودة في الحمأة بأمان كسماد لتحفيز نمو النباتات وبالتالي زيادة حجم المحاصيل الزراعية (U.S. EC, 2001; Pasda et al., 2005; EPA, 2023).

ومع ذلك، من الضروري ملاحظة أن الإطار القانوني الذي يحدد إطار النشر على الأراضي، مثل التوجيه الإطاري للنفايات EEC/75/442 بصيغته المعدلة 91/156/ EEC، التوجيهات EEC/86/278 بشأن نشر حمأة الصرف الصحي على الأرض وEEC/91/676 بشأن حماية المياه من التلوث الناجم عن النترات من المصادر الزراعية، و U.S. EPA/625/R-95/001، يقلل من أهمية دور التربة أو

على الأقل لا يعتبرها داخلية (Doula et al., 2017). وفقًا للتوجيه رقم EEC/86/278 الصادر عن الاتحاد الأوروبي، يجب على القزارع اتباع إرشادات معينة عند استخدام حمأة الصرف الصحي كسماد لتجنب تعريض التربة والنباتات والحيوانات والأشخاص للخطر مع الحفاظ على جودة التربة والمياه السطحية والمياه الجوفية، فهو يضع حدودًا محددة لتركيزات سبعة معادن ثقيلة مسموح بها في التربة والتي قد تكون سامة للنباتات والبشر.

ينبغي للمجتمعات الحديثة أن تنفذ سياسات تشجع على إعادة استخدام أي مورد يمكن استخدامه، بما يتوافق مع الأهداف العامة والخاصة للاستدامة. يُفضل نشر النفايات على الأرض على التدمير الحراري أو دفن النفايات في ترتيب الاختيارات، بشرط إثبات وجود فائدة للزراعة (أو التحسين البيئي) (Waste Framework Directive issued by the EU, 86/278, EC). وينبغي النظر إلى حمأة الصرف الصحي من هذا المنظور كمنتج ثانوي يجب الاستفادة منه وليس كنفايات.

تهتم الدراسة الحالية بالمتطلبات والمتطلبات الأساسية الواجب توافرها لضمان إعادة الاستخدام المستدام والآمن لحمأة الصرف الصحي في التربة الزراعية في الدول العربية. من الضروري إنشاء وتطبيق أساليب وعمليات وأدوات لرصد مناطق إعادة الاستخدام قبل وأثناء وبعد التطبيق من أجل الحفاظ على الاستدامة البيئية.

3. إدارة الحمأة

3.1 نوع الحمأة وجودة الحمأة

يشكل الماء غالبية الحمأة. يتراوح تركيز المواد الصلبة الجافة عادةً بين 1 و5 بالمائة. الخصائص الفيزيائية لمختلف أنواع الحمأة موضحة في الجدولين 1 و2. أن تكوين الحمأة يتأثر بكل من العوامل التالية: تكنولوجيا المعالجة البيولوجية (مرشح متدفق، الحمأة المنشطة، ملامسات بيولوجية دوّارة)، طبيعة مياه الصرف الصحي الواردة (منزلية أو صناعية)، نوع نظام الصرف الصحي (مجتمعة أو منفصلة)، ونظام التشغيل (معدلات التحميل المطبقة، وعمر مكوث الحمأة (SRT)، وما إلى ذلك). أن اختيار طرق معالجة الحمأة يتأثر بنظام تشغيل محطة المعالجة.

الجدول 1. الخصائص الفيزيائية لأنواع مختلفة من الحمأة

Sludge	Colour	Other physical properties	odour	Digestibility (Amenability to further biological stabilization)
Primary sedimentation	Grey	Slimy	Extremely offensive	Readily digested
Chemical precipitation (primary)	Black, red surface if high in iron	Slimy, gelatinous, gives off considerable gas	Offensive	Slower rate than primary sedimentation
Activated sludge	Brown, dark if nearly septic	Flocculent	Inoffensive, earthy when fresh, putrefies rapidly	Readily digested
Trickling filter humus	Brownish	Flocculent	Relatively inoffensive, decomposes slowly	Readily digested
Digested sludge	Dark brown to black	Contains a very large quantity of gas	Inoffensive if thoroughly digested; like tar or loamy soil	Well digested
Septic tank sludge	Black		Offensive (H_2S) unless very long storage time	Mostly stabilized

Source: Loehr and Jewell (1979) cited in Polprasert and Koottatep(2017)

الجدول 2. البيانات النموذجية للخصائص الفيزيائية وكميات الحمأة الناتجة من أنواع عمليات وتشغيل مختلفة لمعالجة مياه الصرف الصحي

Treatment operation or process	Specific gravity of solids	Specific gravity of sludge	Dry solids, kg/103 m3	
			Range	Typical
Primary sedimentation	1.4	1.02	110-170	150
Activated sludge (waste biosolids)	1.25	1.005	70-100	80
Trickling filter (waste biosolids)	1.45	1.025	60-100	70
Extended aeration (waste biosolids)	1.30	1.015	80-120	100a
Aerated lagoon (waste biosolids)	1.30	1.01	80-120	100a
Filtration	1.20	1.005	12-24	20
Algae removal	1.20	1.005	12-24	20
Chemical addition to primary tanks for phosphorous removal				
• Low lime (500-350 mg/L)	1.9	1.04	240-400	300b
• High lime (1600-800 mg/L)	2.2	1.05	600-1300	800b
Suspended growth nitrification	-	-	-	-c
Suspended growth denitrification	1.20	1.005	12-30	18
Roughing filters	1.28	1.02		-d

a Assuming no primary treatment.
b solids in addition to that normally removed by primary sedimentation.
c Negligible
d Included in biosolids production from secondary treatment processes
Adopted from: Metcalf and Eddy (2003)

يبين الجدولين 3 و4 التركيبات الكيميائية النموذجية للحمأة الخام والمهضومة. توجد كميات كبيرة من المعادن الثقيلة، والتي ترتبط بشكل أساسي بالمواد الصلبة العالقة، بشكل خاص في الحمأة الأولية. كثيرا ما تصبح الحمأة غير مناسبة لإعادة الاستخدام الزراعي بسبب المعادن الثقيلة الناتجة عن التصريفات الصناعية، أو جريان مياه الأمطار، أو الانبعاثات المرورية والمصادر المنزلية مثل تصريف مخلفات التعفين (septage) والتي عادة ما تكون غنية بالمعادن الثقيلة. أن إمكانية إعادة استخدام الحمأة في المنطقة المخدومة بأنظمة صرف صحي منفصلة أكبر من تلك المخدومة بأنظمة صرف صحي مشتركة.

تتكون الحمأة الثانوية بشكل رئيسي من الكتلة الحيوية، والتي يتم إنتاجها أثناء التحويل البيولوجي للمواد العضوية. عادةً ما يكون العائد الفعلي (Yactual) للكتلة الحيوية عضوية التغذية (heterotrophic biomass) في حدود 0.5-0.6 (kgVSS/kg CODbiodegraded). يتراوح محتوى المادة العضوية الثانوية للحمأة عادة بين 60-85%. يؤثر وجود أو عدم وجود الترسيب الأولي على معدلات إنتاج الكتلة الحيوية الثانوية. قد تلتصق المواد الصلبة العالقة الموجودة في مياه الصرف الصحي (المترسبة مسبقًا) إلى ندف الكتلة الحيوية مما يزيد من معدلات إنتاج الحمأة الثانوية. في حال عدم وجود وحدات ترسيب أولي، يجب إيلاء اهتمام أكبر باحتمالية تلوث الحمأة الثانوية (Veenstra, 2002).

تعتبر الكتلة الحيوية مكونًا رئيسيًا للحمأة الثانوية حيث يتم انتاجها كناتج لعملية التحويل البيولوجي للمادة العضوية. تتحلل الكتلة الحيوية عضوية التغذية عادة بمعدل 0.5-0.6 (kgVSS/kg CODbiodegraded). ويتراوح نسبة محتوى المواد العضوية في الحمأة الثانوية عادة من 60 إلى 85%. يتأثر معدل انتاج الحمأة الحيوية الثانوية بوجود أحواض الترسيب من عدمه. عادة ما يكون معدل إنتاج الحمأة الثانوية أعلى من القيم التي يتم حسابها على أساس محصول إنتاج الحمأة (sludge yield) وذلك نتيجة امتزاز المواد الصلبة العالقة الموجودة في مياه الصرف الصحي بندف الكتلة الحيوية. من الضروري دراسة التلوث المحتمل للحمأة الثانوية بعناية عندما لا يتم تضمين حوض الترسيب الأولي في العملية.

الجدول 3. التركيب النموذجي للحمأة الأولية والثانوية الناتجة في محطات معالجة مياه الصرف الصحي (Metcalf and Eddy, 2003) أ

Item	Untreated primary sludge		Digested primary sludge		Untreated activated sludge
	Range	Typical	Range	Typical	Range
Total dry solids (TS), %	5-9	6	2-5	4	0.8-1.2
Volatile solids (% of TS)	60-80	65	30-60	40	59-88
Grease and fats (% of TS):					
• Ether soluble	6-30	-	5-20	18	-
• Ether extract	7-35	-	-	-	5-12
Protein (%TS)	20-30	25	15-20	18	32-41
Nitrogen (N, % of TS)	1.5-4	2.5	1.6-3.0	3.0	2.4-5.0
Phosphorous (P_2O_5, % of TS)	0.8-2.8	1.6	1.5-4.0	2.5	2.8-11
Potash (K_2O, % of TS)	0-1	0.4	0-3.0	1.0	0.5-0.7
Cellulose (% of TS)	8-15	10	8-15	10	-
Iron (not as sulfide) (% of TS)	2.0-4.0	2.5	3.0-8.0	4.0	-
Silica (SiO_2, % of TS)	15-20	-	10-20	-	-
pH	5.0-8.0	6.0	6.5-7.5	7.0	6.5-8.0
Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	500-1500	600	2500-3500	3000	580-1100
Organic acids (mg/L as HAc)	200-2000	500	100-600	200	1100-1700
Energy content, kJ/kg TS	23,000-29,000	25,000	9000-14,000	12,000	19,000-23,000

a Adapted in part from U.S. EPA (1979)

Note: kJ/kg x 0.4303 = Btu/lb

الجدول 4. التركيب الكيميائي للحمأة الخام والمهضومة

Item	a Raw Primary Sludge		b Digested Sludge	
	Range	Typical	Range	Typical
Total dry solids (TS), %	2.0-7.0	4.0	6.0-12.0	10.0
Volatile solids (% of TS)	60-80	65	30-60	40.0
Grease and fats (ether-soluble, % of TS)	6.0-30.0	-	5.0-20.0	-
Protein (% of TS)	20-30	25	15-20	18
Nitrogen (% of TS)	1.5-4.0	2.5	1.6-6.0	3.0
Phosphorous (P_2O_5, % of TS)	0.8-2.8	1.6	1.5-4.0	2.5
Potash (K_2O, % of TS)	0-1.0	0.4	0.0-3.0	1.0
Cellulose (% of TS)	8.0-15	10.0	8.0-15.0	10.0
Silica (SiO_2, % of TS)	15-20	-	10.0-20.0	-
pH	5.0-8.0	6.0	6.5-7.5	7.0
Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	500-1.500	600	2.500-3.500	3000

a Refer to sludge settled in primary sedimentation tanks.
b Mostly refers to anaerobically digested sludge.
Source: Loehr et al. (1979) cited in Polprasert and Koottatep (2017)

3.2 كمية الحمأة

3.2.1 معدلات إنتاج الحمأة الأولية

وفقًا لوكالة حماية البيئة الأمريكية U.S. EPA ، تتراوح معدلات الإنتاج اليومي من المواد الصلبة العالقة من 70 إلى 110 جم من المواد الصلبة العالقة/فرد في اليوم. ويبلغ معدل انتاج الحمأة الأولي 50-75 جم من المواد الصلبة الذائبة/فرد في اليوم بافتراض كفاءة ترسيب نموذجية تبلغ 65%، وعند مقارنة هذه المعدلات بالبيانات الميدانية من أوروبا، فإن هذه الأرقام مرتفعة جدًا. يمكن أن تعزى معدلات إنتاج الحمأة الأولية المرتفعة هذه في الولايات المتحدة الأمريكية إلى الاستخدام الواسع النطاق لمطاحن المطبخ هناك. تختلف كمية الحمأة الأولية التي تنتجها مياه الصرف الصحي البلدية في أوروبا وفقًا لنوع نظام الصرف الصحي المستخدم. ففي أنظمة الصرف الصحي المنفصلة، يتراوح إجمالي المواد الصلبة العالقة (TSS) المنتجة من 40 إلى 50 جرامًا للفرد في اليوم؛ وفي أنظمة الصرف الصحي المشتركة، يمكن أن تصل إلى 60 جم/الفرد/اليوم. إنه يرفع معدل إنتاج الحمأة الأولية إلى 30 جم من المواد الصلبة العالقة /للفرد في اليوم بشكل منفصل و40 جم من المواد الصلبة العالقة /للفرد في اليوم في أنظمة الصرف الصحي المجمعة، بافتراض أن 70% من المواد الصلبة العالقة تترسب في أحواض الترسيب الأولية (Polprasert and Koottatep, 2017).

البيانات المتعلقة بإنتاج الحمأة في البلدان النامية ليست متاحة بسهولة لأن معظم المدن لا تملك أنظمة صرف صحي مناسبة لنقل مياه الصرف الصحي إلى محطات المعالجة المركزية. ومع ذلك، يمكن تقدير أن كل شخص ينتج ما بين 25 إلى 40 كجم من المادة الصلبة الجافة من الحمأة سنويًا (68-109 جم DS/فرد) أو حوالي 800 كجم من الحمأة الرطبة (95% محتوى مائي) سنويًا (2.2 لتر/فرد في اليوم) (Polprasert and Koottatep, 2017).

في فلسطين، يبلغ إنتاج الحمأة المحدد في الضفة الغربية وغزة وفي عموم أنحاء فلسطين على التوالي 42 و32 و37 جراماً من المادة الجافة يوميا (PWA, 2014). ويبلغ إنتاج الحمأة الرطبة في الضفة الغربية وغزة وفي عموم أنحاء فلسطين على التوالي 3.5 و0.55 و1.92 لتر/فرد يوميا.

3.2.2 معدلات إنتاج الحمأة الثانوية (SAW).

إنتاج الحمأة الثانوية هو نتيجة للتحويل البيولوجي للمادة العضوية إلى الكتلة الحيوية. عادة، تتراوح الكمية الفعلية للكائنات غيرية التغذية بين 0.6-0.5 كجم من الكتلة الحيوية/كجم من الطلب الأوكسجيني البيولوجي المتحلل بيولوجيًا (Horan, 1990). ومع ذلك، في محطات معالجة مياه الصرف الصحي، يكون إنتاج الكتلة الحيوية الثانوية أعلى بسبب حقيقة انه (Veenstra, 2002):

- يتم تضمين عملية النترجة في النظام. تتمتع البكتيريا المنترتة (nitrifiers) بمعاملات إنتاجية أقل بكثير (lower yield coefficients) ولكنها تساهم في إنتاج الكتلة الحيوية بشكل عام.
- تلتصق المواد الصلبة العالقة المتبقية من مياه الصرف الصحي الواردة بندف الكتلة الحيوية مما يؤدي إلى زيادة إجمالي كمية المواد الصلبة الجافة المتراكمة داخل حوض التهوية. وهذا يؤثر بشكل مباشر على معدلات إنتاج الحمأة الزائدة. قد تتضاعف معدلات إنتاج الحمأة إلى 1.2-0.8 كجم من المواد الصلبة العالقة/كجم من BOD المتحلل بيولوجيًا.

وتتأثر معدلات إنتاج الكتلة الحيوية الثانوية أيضًا بدرجة الحرارة. تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى ارتفاع معامل التنفس الداخلي (kd). ونتيجة لذلك، تنتج البلدان الاستوائية في كثير من الأحيان حمأة ثانوية أقل من البلدان ذات درجات الحرارة المعتدلة (Popel, 1993). وقد يكون هذا هو الحال في الدول العربية، خاصة دول الخليج وغيرها من المناطق الجغرافية الحارة في داخل دول أخرى مثل الأردن وفلسطين. بالنسبة لأنظمة الحمأة المنشطة ذات نسب F/M منخفضة أو عمر الحمأة المرتفع، يصبح تنفس الحمأة الداخلية أكثر أهمية. ويرتبط غياب خزانات الترسيب الأولية وزمن مكوث الحمأة المرتفع بما يسمى بوضع التشغيل للتهوية الممتدة. وهذا له تأثير كبير على معدلات إنتاج الحمأة المنشطة بشكل عام، مما يعني انخفاض معدلات إنتاج الحمأة الثانوية عند انخفاض نسبة F/M.

يمكن تحفيز إنتاج الحمأة الثانوي من عملية تخليق الكتلة الحيوية (biomass synthesis) ومن أيضا امتزاز المواد الصلبة العالقة المتدفقة بنسبة تركيز المواد الصلبة العالقة إلى تركيز الطلب على الاكسجين الحيوي (TSS/BOD ratio) (Popel, 1993). يمكن إيجاد كمية إنتاج الحمأة المنشطة المهدورة (WAS) في محطات الحمأة المنشطة بدلالة من نسبة F/M التشغيلية. وتتراوح كمية المواد الصلبة العالقة النموذجية بين 1.2-0.4 كجم من المواد الصلبة العالقة/كجم من الطلب على الاكسجين الحيوي المزال (kg TSS/kgBODremoved) (Gray, 1990) وذلك على افتراض استخدام أحواض الترسيب الأولية قبل المعالجة البيولوجية. فيما يتعلق بإنتاج الحمأة المنشطة المهدورة (WAS) في أنظمة التهوية الممتدة، قد تضيف المواد الصلبة المتدفقة إلى كمية إنتاج الحمأة الثانوية وذلك بسبب غياب الترسيب الأولي. عند ارتفاع نسبة F/M، يزداد معدل إنتاج الحمأة.

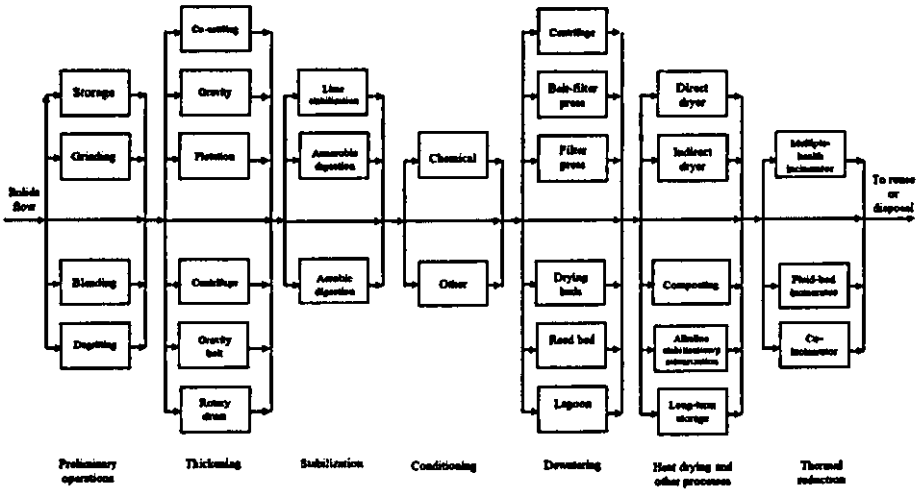
بالنسبة لمرشحات التقطير (Trickling filters)، تكون معدلات إنتاج الحمأة الثانوية أقل بكثير. نظرًا لزمن مكوث الحمأة الأعلى بكثير في المرشح، فإن الكتلة الحيوية تستقر (stabilized) إلى حد مقبول (وبالتالي يطلق عليها عادةً "حمأة الدبال"). وتبلغ معدلات إنتاج الحمأة النموذجية 0.5-0.4 كجم من المواد الصلبة العالقة/كجم من BOD تتم إزالتها للمرشحات ذات التحميل المنخفض و-0.6 0.7 كجم من المواد الصلبة العالقة للمرشحات المتقطرة ذات التحميل العالي (Veenstra, 2002).

3.3 معالجة الحمأة

3.3.1 مقدمة

تواجه محطات معالجة مياه الصرف الصحي بشكل متزايد مشاكل في عمليات معالجة الحمأة والتخلص منها. يعرض الشكل 1 مخطط تدفق معمم يشتمل على عمليات وحدات معالجة الحمأة. وكما هو موضح تقريبًا، هناك عدد لا نهائي من التركيبات الممكنة (Metcalf and Eddy, 2003). يعتمد القرار النهائي بشأن طريقة التخلص من الحمأة على التشريعات والتكلفة، بما في ذلك تكاليف رأس المال والتشغيل.

الشكل 1. خيارات مخططات تدفق الحمأة لمعالجة الحمأة والتخلص مكونة من مجموعة متنوعة من العمليات ووحدات العمليات المتاحة (Metcalf and Eddy, 2003).



3.3.2 سماكة الحمأة

يتم تركيز الحمأة أو تثخينها لزيادة محتوى المواد الصلبة الجافة وتحقيق انخفاض كبير في حجم الحمأة. يؤدي انخفاض حجم الحمأة إلى توفير التكاليف في معالجة الحمأة ونقلها إلى مواقع التخلص منها.

يتم تعريف تكثيف الحمأة على أنه إزالة الماء من الحمأة بهدف تقليل حجم الحمأة بشكل كبير. على سبيل المثال، إذا كان من الممكن تكثيف الحمأة التي تحتوي على 0.8% DS إلى 4% DS، فسيتم تحقيق انخفاض بمقدار خمسة أضعاف في حجم الحمأة.

الميزة الرئيسية لتكثيف الحمأة هي توفير التكاليف في عمليات التعامل مع الحمأة النهائية. يتم تحسين عمليات التثبيت ونزح المياه عند تركيزات أعلى للحمأة. الطرق الشائعة لتكثيف الحمأة هي:

1. التكثيف بالجاذبية
2. مكثفات التعويم
3. المكثفات الميكانيكية
4. طرق أخرى (البحيرات)

أصبحت عملية التكثيف الميكانيكي أكثر أهمية في محطات المعالجة حيث تتم إزالة الفسفور كيميائيًا أو بيولوجيًا (Veenstra, 2002).

تبذل أجهزة الطرد المركزي قوى طرد عالية جدًا مما يؤدي إلى إطلاق الماء الزائد من الحمأة. عند مدخل مواد صلبة منخفضة الجفاف، يمكن أن تصل كعكة الحمأة المكثفة إلى محتوى نهائي يبلغ 4 إلى 6% DS (بدون إضافة بوليمر) أو 5 إلى 10% مع إضافة 2 إلى 8 كجم بوليمر/طن DS. علماً أن إضافة البوليمر هي عملية اختيارية.

يتم تشغيل المناخل (sieves) الدوارة أو البراميل (drum) بسرعة دوران منخفضة (5 إلى 25 دورة في الدقيقة) حول محور أفقي ويتم تطبيقها بشكل شائع كمعالجة أولية قبل أنظمة نزح المياه من الحمأة مثل مرشح أو مكابس الحزام. تشتمل براميل الغربال الدوارة على تكييف البوليمر للحمأة قبل إضافتها إلى أسطوانة دوارة مزودة بثقوب تسمى غربال. أثناء الدوران، يتدفق الماء المنفصل من خلال الغربال ويتم طرح الحمأة السميكة (3 – 4% DS) في نهاية الأسطوانة.

مع إضافة البوليمرات يمكن تركيز الحمأة من 0.5-2% إلى 4-8% DS. استهلاك الطاقة منخفض مقارنة بأجهزة الطرد المركزي عالية السرعة.

مكثفات حزام الجاذبية: على وجه الخصوص بالنسبة للحمأة التي تحتوي على نسبة منخفضة من المواد الصلبة الجافة، يمكن أن توفر عملية التكثيف بالجاذبية مصحوبتا

مع تكييف الحمأة تكثيفا فعّالا.

3.3.3 استقرار الحمأة

تجعل عملياتُ التثبيتِ الحمأةَ أقلُّ ضررًا (رائحة) حيث يتم تقليل محتوى المادة العضوية. هناك طرق بيولوجية (الهضم اللاهوائي والهوائي) أو طرق فيزيائية كيميائية (معالجة الجير). إحدى التقنيات الواعدة هي أكسدة الهواء الرطب بواسطة عملية (Vertech (Veenstra, 2002.

تتم ممارسة عملية تثبيت الحمأة على نطاق واسع في محطات معالجة مياه الصرف الصحي لتقليل احتمالية تكوين الرائحة بسبب التحلل الحيوي للمواد العضوية وتسهيل عمليات معالجة الحمأة الإضافية اللاحقة والتخلص منها. الأهداف الرئيسية لعمليات تثبيت الحمأة هي:

- الحد من التلوث بالكائنات الحية الممرضة
- القضاء على تكوين الروائح الكريهة
- تحسين خطوات نزح المياه من الحمأة لاحقا، و
- التقليل من كمية مواد الحمأة الصلبة لكي يتم التخلص منها.

لا يتم تطبيق تثبيت الحمأة بواسطة المواد الكيميائية أو الحرارة بشكل شائع، حيث أنها مكلفة من حيث رأس المال والتكلفة التشغيلية. من خلال التثبيت الكيميائي، فإن الرقم الهيدروجيني العالي المفروض على الحمأة يقلل بشكل فعال من الكائنات الحية الدقيقة، وبالتالي لا يمكن أن يحدث أي تحلل حيوي إضافي للمواد العضوية. نتيجة لارتفاع الرقم الهيدروجيني، قد يؤدي إطلاق NH3 إلى خلق مشاكل رائحة محلية.

يمكن إضافة الجير قبل (المعالجة المسبقة) أو بعد (بعد المعالجة) عملية نزح مياه الحمأة. يمكن استخدام الجير المطفأ (Ca(OH)2) أو الجير الحي (CaO) (قد يساعد الجير الحي على زيادة محتوى المواد الصلبة الجافة في كعكة الحمأة). يتم استخدام الجير المطفأ بشكل شائع في شكل جاف لأنه لا يحتاج إلى الماء ولا يسبب أي مشاكل في التحجيم (scaling) في وحدات نزح المياه اللاحقة من الحمأة. تتراوح الجرعات النموذجية من 100 إلى 500 كجم Ca(OH)2 لكل كجم DS للحفاظ على درجة الحموضة عند حوالي 12 لمدة 30 دقيقة (Metcalf and Eddy, 2003).

تتمثل ميزة التثبيت الجيري للحمأة منزوعة الماء مقارنة بطرق التثبيت البيولوجي في أن الجمع بين الأكسدة الكيميائية الطاردة للحرارة يرفع درجة حرارة الحمأة إلى أكثر من 50 درجة مئوية؛ هذا المزيج مع الرقم الهيدروجيني 10، سوف يطهر الحمأة بشكل فعال، ويعطل (inactivate) بيض الديدان.

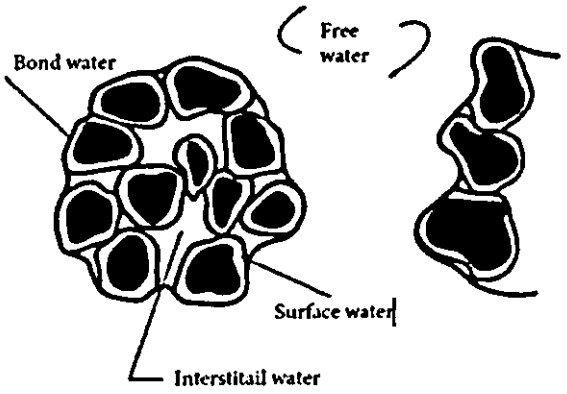
تهدف الحمأة اللاهوائية والهوائية إلى تثبيت المواد العضوية بيولوجيًا باستخدام المفاعلات الحيوية الهوائية أو اللاهوائية. تعتبر عمليات الهضم البيولوجي فعالة للغاية في تقليل المحتوى العضوي للحمأة، ولكنها ليست كافية لإنتاج حمأة خالية من مسببات الأمراض، وبالتالي من الضروري إنشاء وحدات إضافية لمعالجة الحمأة لاحقًا.

3.3.4 تكييف الحمأة

تكييف الحمأة هو خطوة معالجة مسبقة لزيادة كفاءة تكثيف الحمأة وزيادة امكانيات نزح المياه من الحمأة. الطريقتان المستخدمتان الأكثر شيوعًا لتكييف الحمأة هما 1) إضافة المواد الكيميائية أو 2) المعالجة الحرارية (Veenstra, 2002).

يساعد التكييف على تحرير أجزاء الماء المختلفة من الجزيئات العالقة والغروانية. عادة، يمكن التمييز بين 4 أشكال من الماء في الحمأة: المياه الحرة، والمياه الخلالية (الشعرية)، والمياه السطحية والمياه الرابطة (الشكل 2). على وجه الخصوص، فإن إزالة الأجزاء الثلاثة الأخيرة من الماء من جزيئات الحمأة أمر صعب للغاية وينطوي على استهلاك مرتفع للطاقة.

الشكل 2. توزيع الرطوبة في الحمأة (Tsang and Vesilind, 1990)



يتم تطبيق تكييف الحمأة لتحسين تكثيف الحمأة أو عمليات نزح المياه من الحمأة. عن طريق التكييف الكيميائي، تتم إضافة أملاح أو بوليمرات Fe/AL غير العضوية لزعزعة استقرار جزيئات الحمأة وتجميعها في كتل كبيرة. يتضمن التكييف بالمعالجة الحرارية تسخين الحمأة تحت ضغط عالٍ لتحطيم بنية جزيئات الحمأة وبالتالي تحرير جزء الماء من المواد الصلبة.

التكييف الكيميائي

وبشكل عام، فإن جزيئات الحمأة لها طبيعة غروانية؛ يكون الجسيم محاطًا بطبقة مزدوجة مشحونة كهربائيًا، والتي تحدد تكثيف الحمأة وقابليتها لنزح الماء. العمليتان الرئيسيتان المتضمنتان في التكييف هما 1) تحييد الشحنة الكهربائية لجزيئات الحمأة و2) تجسير (bridging) ربط الجزيئات الفردية في ندفة (Veenstra, 2002).

عن طريق التخثر باستخدام كلوريد الحديديك أو الجير أو الشب، يتم ضغط الطبقة المزدوجة للحمأة وتحييدها، وتزعزع استقرار الجزيئات ويتم إطلاق الماء بسهولة أكبر من الحمأة. يعمل هذا النموذج بشكل جيد جدًا في حمأة معالجة المياه. ومع ذلك، بالنسبة لحمأة مياه الصرف الصحي العضوية، لا يفسر النموذج الملاحظات من الميدان. وبسبب هذا النقص، يمكن استخدام نموذج التجسير (bridging) لشرح كيفية تلبد المواد الكيميائية المختلفة للحمأة البيولوجية.

أساسيات نموذج التجسير الكيميائي هي أن الملبدات مثل هيدروكسيدات المعادن والبولي إلكتروليتات العضوية (الشوارد المتعددة العضوية) المتعددة تشكل جزيئات طويلة تجذب نفسها إلى جزيئات الحمأة وتجمعها معًا، مما يخلق بنية تدفق قوية ضرورية لنزح المياه بكفاءة.

يجب معرفة كميات جرعات المكيفات المختلفة التي سيتم تطبيقها عمليًا بعد تحليل الحمأة بواسطة مجموعة متنوعة من الاختبارات مثل زمن الشفط الشعري (CST)، واختبار الجرة (jar test) ، واختبار الترشيح المعدل (MFT). يمكن تقسيم المواد الكيميائية المستخدمة في تكييف الحمأة إلى (1) مواد تخثر غير عضوية (أملاح Fe وAl و2Ca(OH)، و(2) بولي إلكتروليتات عضوية أو بوليمرات تحتوي على بعض المجموعات المتأينة.

تتراوح جرعات Fe/Al النموذجية المطبقة بين 50 إلى 100 كجم/طن DS. في حالة أملاح الحديد، يجب إضافة جرعات جير إضافية تتراوح من 250 إلى 500 كجم مثل 2Ca(OH) لكل طن DS لتوفير درجة حموضة مثالية (11.5) لتجسير الجسيمات.

تعمل المكيفات غير العضوية على زيادة كتلة الحمأة الإجمالية بنسبة 10 إلى 30%، وتَخفِض الجزء العضوي وبالتالي قيمة حرق المواد الصلبة الجافة، وتقلل من إمكانية استخدام الحمأة في الزراعة بسبب زيادة محتوى المواد الكيميائية غير العضوية. المجموعة الأخرى من المكيفات الكيميائية هي البولي إلكتروليتات العضوية أو البوليمرات. وهي تحتوي في الغالب على بعض المجموعات المتأينة مثل مجموعة الكربوكسيل أو الأمينو أو مجموعة أخرى. يجب أن تؤدي البوليمرات نفس الوظيفتين اللتين تؤديهما المواد الكيميائية غير العضوية:

معادلة الشحنة وجسر الجسيمات. تُستخدم البوليمرات الكاتيونية بشكل شائع في معالجة مياه الصرف الصحي حيث تتطابق شحنتها الموجبة مع الجزيئات السالبة الشحنة.

تعمل تركيزات البوليمر المنخفضة التي تصل إلى 0.01-0.02% (كجم بوليمر/كجم من الحمأة الرطبة) بكفاءة في تكييف الحمأة (Veenstra, 2002). عادة ما تحل البوليمرات العضوية محل أملاح Fe/Al من أجل التغلب على المشاكل الرئيسية المرتبطة بهذه المواد الكيميائية غير العضوية. مزايا المواد الكيميائية العضوية على المواد الكيميائية غير العضوية هي:

- الجرعات أقل بنحو 10 مرات على أساس الحمأة الجافة (الجرعات النموذجية فقط 5-10 كجم/طن DS).
- البوليمرات لا تزيد من الجزء الخامل المتبقي (residual inert fraction) من الحمأة.
- قد تسبب البوليمرات أيضًا مشكلات مثل:
- انسداد مرشحات نزح المياه
- تكوين طبقة هلامية على الخلاطات والمضخات.

التكييف بالمعالجة الحرارية

المعالجة الحرارية هي عملية تكييف تتضمن تسخين الحمأة لفترات قصيرة تحت الضغط. عن طريق المعالجة الحرارية، سيتم تغيير بنية كتل الحمأة لتحرير المزيد من الماء من الجزيئات. إن التكلفة الرأسمالية المرتفعة للمعدات تجعل نطاق استخدامها يقتصر على محطات المعالجة الكبيرة فقط (0.2 متر مكعب في الثانية) أو المرافق ذات المساحة المحدودة (Veenstra, 2002).

3.3.5 نزح المياه من الحمأة

تعمل عمليات نزح المياه على تقليل محتوى الماء في الحمأة إلى مستوى يمكن من خلاله التعامل معها على أنها مادة صلبة وليست سائلة. نظرًا لأن الحمأة عندما تصبح شبه صلبة يكون من الأفضل التعامل معها من أجل التخلص منها في مدافن النفايات وكذلك الاستخدام الزراعي والحرق والتجفيف الحراري والنقل. ويتم رفع محتوى المواد الصلبة إلى حوالي 15-30% حسب نوع طريقة نزح المياه وطبيعة الحمأة وظروف التشغيل. وعادة يتم دفع تكلفة التخلص من الحمأة في مدافن النفايات لكل طن من الوزن الرطب، ولذلك يعتبر نزح المياه ذا أهمية حاسمة لتقليل تكلفة التخلص النهائية.

3.3.6 عمليات التجفيف والأكسدة

وتشمل هذه التقنيات عمليات التجفيف الحراري وحرق الحمأة. يستخدم التجفيف الحراري لتقليل محتوى الماء في الحمأة لجعلها أكثر ملاءمة للحرق أو للبيع كسماد. عن طريق الحرق، يتم حرق المادة العضوية لإنتاج بقايا رماد خاملة. وبما أن الجزء القابل للاحتراق من مجمل الحمأة أقل من 75%، تبقى كمية كبيرة من الرماد للتخلص منها (Veenstra, 2002).

تتضمن الأكسدة الرطبة (نظام Vertech) الأكسدة الرطبة للمواد العضوية عند ضغوط عالية مع إمداد إضافي بالأكسجين. تتم التفاعلات الكيميائية عادة عند درجات حرارة أعلى من 200 درجة مئوية. المعدات حساسة للغاية للتآكل في هذه الظروف الخاصة لدرجة الحرارة والضغط ومستويات الأكسجين المذاب.

3.4 طرق التخلص من الحمأة

ويمكن التخلص من الحمأة المتبقية (أو الرماد) على الأرض أو في الماء. يجب ألا يؤدي التخلص النهائي من الحمأة إلى تلويث البيئة، ويجب أن يحافظ على مواردها القيمة و(إعادة استخدامها) ويجب أن يكون اقتصاديًا. في النهاية، ستؤدي الحمأة دائمًا إلى التخلص النهائي منها إما كمواد قابلة للاحتراق في الهواء، أو كمواد صلبة في البحر (مصارف البحر) أو على الأرض. وفي كثير من الدول يتم حظر التخلص من النفايات في المحيطات بسبب الآثار الضارة المحتملة على البيئة المائية.

كثيرا ما يتم إلقاء الحمأة أو البقايا في مكب النفايات الصحي حيث يتم تغطية النفايات بشكل دوري بطبقة من التربة. وينبغي اختيار مكب النفايات وتصميمه بطريقة تمنع تصريف أو ترشيح الملوثات إلى موارد مائية عالية الجودة.

وفقًا لأهداف المعالجة المختلفة، هناك العديد من تقنيات معالجة الحمأة، والتي تستخدم للتخلص البسيط أو لغرض تثمينها (من حيث المغذيات والطاقة) (Ding et al., 2021). وتشمل الطرق الشائعة دفن النفايات، والتسميد، والحرق، والانحلال الحراري، والهضم اللاهوائي، والتطبيق الزراعي، وإعادة تدويرها كمواد بناء (Zhen et al., 2017). يعد طمر النفايات التكنولوجيا الأكثر استخدامًا على نطاق واسع نظرًا لبساطتها وانخفاض تكلفة تشغيلها (Xiao et al., 2021). في بعض المناطق المتقدمة، مثل الاتحاد الأوروبي، يعد التسميد والهضم اللاهوائي من تقنيات معالجة الحمأة السائدة (Kelessedis and Stasinakis, 2012). في الولايات المتحدة، يتم استخدام نصف الحمأة في التطبيقات الزراعية، بينما يستخدم الباقي في مدافن النفايات والحرق (Raheem et al., 2018).

في الصين، الطريقة الأكثر شيوعًا هي طمر النفايات (40%-50%) (Fang et al., 2019)، يليها التبخير، مثل انتاج الذبال أو الطاقة المستردة. يتم إعادة تدوير حوالي 25% من الحمأة لصنع منتجات مفيدة، مثل الطوب، ولا يتم التخلص من 15% من الحمأة بشكل صحيح (Raheem et al., 2018).

يمكن استخدام الحمأة المستقرة كسماد أو كمكيف تربة إذا لم تكن مستويات الملوثات الدقيقة مرتفعة جدًا وفقًا للوائح. يمكن نشر الحمأة السائلة على الأرض بواسطة شاحنات التفريغ. التخلص من الحمأة على الأراضي الزراعية مقبولاً على الرغم من وجود مخاوف جدية بشأن المخاطر الصحية، مثل مسببات الأمراض والملوثات الدقيقة. ومع ذلك، إذا تم التعامل بشكل صحيح مع نشر الحمأة على الأراضي الزراعية بمعدلات جرعات مقبولة، فقد تمثل الحمأة موردًا قيمًا للتطبيقات الزراعية.

يوفر تحويل الحمأة إلى ذبال خيارًا آخر لإعادة الاستخدام. يعد انتاج الذبال المشترك (co-composting) للحمأة مع النفايات الصلبة المنزلية هو الأكثر جدوى، وقد يقلل من حجم الحمأة النهائي بنسبة 50% ويمكن للمنتج النهائي استرداد جزء من تكلفة المعالجة لكل طن من المواد الصلبة الجافة.

4. الجوانب الاجتماعية والاقتصادية

4.1 استخدام الحمأة كمدخلات منخفضة التكلفة كسماد و/أو محسن للتربة

يتم تطبيق الكتلة الحيوية (biosolids) في كثير من الأحيان على الأراضي الزراعية والغابات ومواقع الاستصلاح في شكل سائل أو كعك منزوع الماء بتكلفة قليلة أو بدون تكلفة على مالك الأرض (Vesilind, 2003). إن تطبيق الكتلة الحيوية على الأراضي الزراعية ضمن البرامج الزراعية التي تتضمن زراعة مجموعة متنوعة من المحاصيل والإنتاج الحيواني يستفيد من مكونات المواد الصلبة الحيوية وقد يشمل إنتاج المحاصيل والحيوان الذي يصبح في نهاية المطاف جزءًا من السلسلة الغذائية.

وفي دراسة أجريت في البرازيل على مساحة 2288 هكتارًا من الأراضي الزراعية، تم استخدام 33404 طنًا من الحمأة الجافة. أشارت النتائج التي توصلوا إليها إلى أن الحمأة تُكَمِّل 88% من الجير، و74% من النيتروجين، و73% من P2O5، و35% من K2O اللازمة لنمو الذرة وفول الصويا والفول والشوفان وأشجار الفاكهة. وقد وفر المزارعون ما متوسطه 814 دولارًا أمريكيًا للهكتار بسبب استخدام الحمأة (Bittencourt et al., 2014)).

تعد مساحات الأراضي المحدودة وارتفاع تكاليف نقل الحمأة وتخزينها من القيود التي قد تحد من تطبيق الحمأة المعالجة على الأرض. ولذلك، فإن الأخذ في الاعتبار تطبيق المواد الصلبة الحيوية على الأراضي الزراعية أمر ضروري خلال مرحلة التخطيط لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي من أجل إدراج توفر الأراضي الزراعية القريبة كأحد أسباب اختيار موقع معالجة محطة معالجة مياه الصرف الصحي.

4.2 القبول الاجتماعي

ومن المهم أن يقوم المهندسون والمشغلون بالعمل معًا من أجل تطوير عدة خيارات للتخلص من الحمأة والمواد الصلبة الحيوية، وذلك باستخدام الخيار الذي يحقق أكبر فائدة في أي وقت (Vesilind, 2003). قد يتغير الأشخاص الذين يوافقون على قبول منتجات الحمأة.

عند تقييم المواقع بهدف استبعاد المناطق التي يحتمل أن تكون غير مناسبة لاستخدام الأراضي، قد تستبعد المعايير الأراضي الحساسة ثقافيًا مثل المقابر القديمة وأراضي الدفن، بالإضافة إلى المناطق الترفيهية العامة.

على الرغم من أن استخدام الحمأة في الزراعة يعد ممارسة شائعة في العديد من الدول ذات الدخل المنخفض، إلا أن المزارعين من ثقافات متنوعة قد يقررون تبنيها من عدمه بسبب أصلها البشري، والرأي السائد بأن مياه الصرف الصحي كريهة ورائحتها كريهة (Keraita et al., 2008). ولذلك، من الضروري النظر في كيفية تصور المزارعين وتصرفاتهم عند وضع الحمأة على التربة.

من خلال المسح، نصار وآخرون (2009) قاموا بدراسة مدى قبول المزارعين واستعدادهم لاستخدام الحمأة المعالجة كبديل للأسمدة العضوية في قطاع غزة. وأظهرت النتائج أن: (أ) ندرة الأسمدة العضوية وارتفاع تكلفتها يمكن أن يشجع المزارعين على استخدام الحمأة المعالجة إذا توفرت كميات كافية من الحمأة المعالجة عند الحاجة؛ (ب) قد يكون المزارعون الذين لم يستخدموا الحمأة المعالجة على الإطلاق على استعداد لاستخدام الحمأة إذا تمت معالجتها بشكل جيد، وأظهر تطبيقها نتائج جيدة،

وكان التعامل معها آمنًا؛ (ج) يفضل غالبية المزارعين استخدام الحمأة لتخصيب الأشجار والمحاصيل الحقلية بدلاً من زراعة جميع أنواع المحاصيل (Nassar et al., 2009).

وفي شمال قطاع غزة، لم يتم استخدام الحمأة في الزراعة لعدة أسباب، بحسب ياسين وعبد ربه (2002)، منها ما يلي: (أ) اعتبار الحمأة روحياً مادة ملوثة؛ (ب) قد تضر الحمأة بالمحاصيل؛ و(ج) تحتوي الحمأة على مسببات الأمراض، وتجذب الحشرات، وتنبعث منها روائح. ومع ذلك، أظهرت أبحاثهم أن استخدام المزارعين للحمأة قد يتأثر بتوافر الحمأة الرخيصة والآمنة والمفيدة. يعتمد استعداد المزارعين لدفع ثمن الحمأة على جودتها وسلامتها عند استخدامها (Yassin and Abed Rabou, 2002).

نتائج البحث الذي أجراه كروغمان وآخرون (2000) حول مخاوف المزارعين بشأن استخدام المواد الصلبة الحيوية على محاصيلهم أظهر أن المزارعين كانوا أكثر قلقًا بشأن ظروف أراضيهم وكانوا أقل اهتمامًا بالمشاكل البيئية والصحية التي قد تسببها الحمأة (Krogmann et al., 2000).

4.3 حوافز إعادة استخدام الحمأة

يتم تطبيق الكتلة الحيوية في كثير من الأحيان على الأراضي الزراعية والغابات ومواقع الاستصلاح في شكل سائل أو كعك منزوع الماء بتكلفة قليلة أو بدون تكلفة على مالك الأرض (Vesilind، 2003). على الرغم من التحيزات السلبية، أدرك المزارعون مزايا وعيوب استخدام الحمأة، وفقًا لبحث أجراه كروغمان وآخرون (Krogmann et al., 2000). لقد أدرك المزارعون أن إضافة الحمأة إلى التربة يمكن أن يحسن خصائصها عن طريق إضافة مادة عضوية، وربما يزيد من إنتاجية المحاصيل.

أفاد تشن وآخرون (2022) أنه وفقًا لأولوية أصحاب المصلحة في قطاع إدارة مياه الصرف الصحي، فانه يمكن تقييم الحمأة كمغذيات ومواد، والتي ستحل محل المنتجات البديلة وتزيد من استخدام الموارد (Chen et al., 2022).

يعد تطبيق الحمأة المعالجة على الأراضي الزراعية خيارًا قابلاً للتطبيق للتخلص النهائي من الحمأة. خاصة انه يواجه العديد من مشغلي محطات معالجة مياه الصرف الصحي تحديًا مستمرًا للعثور على المكان المناسب للتخلص من الحمأة المهدرة. حتى عندما يتم التخلص من الحمأة في مدافن النفايات الصلبة، فإن نقل الحمأة عادة ما يكون مكلفًا للغاية ويتطلب محتوى قليل جدا من الماء لكي يتم تجنب المشاكل التشغيلية في المدفن.

4.4 معوقات إعادة استخدام الحمأة

يعتبر تطبيق الحمأة على الأراضي الزراعية مسألة حساسة. هناك عدد من العوامل، مثل الاعتبارات النفسية والاجتماعية والاقتصادية، والمخاوف الثقافية والدينية والصحية، وكذلك نقص المعلومات، يؤثر في قبول استخدام الحمأة. في بعض الأحيان لا يقبل السوق بشكل كبير المنتجات المعالجة فيكون تقبلها السوقي منخفض (Zhang et al., 2016). ويعتبر سوء خصائص الحمأة عقبة رئيسية أمام تدوير الكتلة الحيوية على الأراضي الزراعية، وعلى وجه التحديد المستويات العالية للمعادن الثقيلة والتي من الممكن ان تحد بشكل كامل التطبيق الامن للحمأة على الأراضي الزراعية (Feng et al., 2018). يعد التخلص من مياه الصرف الصناعي في شبكة الصرف الصحي العامة سبباً هاما للمحتوى العالي للمعادن الثقيلة في الحمأة. أن الرائحة الكريهة للحمأة قد تقلل من قبول الجمهور لخيارات تطبيق الحمأة على الاراضي. لذلك، تحتاج جميع أنظمة إدارة الحمأة الى اعتبار ان انبعاث الروائح الكريهة مشكلة محتملة (Polprasert and Koottatep, 2017).

كما يساهم الافتقار إلى المعايير الوطنية والمتطلبات الفنية الإلزامية للتخلص من الحمأة في انخفاض معدلات إعادة تدوير المواد الصلبة الحيوية (Lu, 2019). قد تفشل مشاريع إعادة الاستخدام، حتى تلك التي تم

تصميمها بشكل جيد من الناحية الفنية والمالية، إذا لم يأخذ المخططون في الاعتبار بشكل كافٍ ديناميكيات القبول المجتمعي (Drechsel et al., 2015).

في مجتمعين زراعيين في الضفة الغربية في فلسطين، وهما قريتي عنزة وبيت دجن، قام رشيد وآخرون (2017) بدراسة تصورات المزارعين حول استخدام الأراضي لحمأة الصرف الصحي المعالجة. عندما سئلوا عن العوامل التي ستؤثر على ما إذا كانوا سيقررون استخدام حمأة الصرف الصحي المعالجة في مزارعهم أم لا، اختار 38% من المزارعين "قبول المستهلكين لشراء المحاصيل المخصبة بالحمأة"، واختار 22% "سعر الحمأة"، واختار 16% "الحمأة مستوفية لاشتراطات الصحة العامة"، واختار 4% "لأسباب دينية". وقال الـ 20% المتبقين من المزارعين أن المتغيرات الأربعة المذكورة أعلاه عند اتخاذ القرار تؤثر عليهم. وفي هذه الدراسة، يعتقد 45% من المزارعين أن تطبيق الحمأة المعالجة على الأرض يجب أن يتم بطريقة تحمي البيئة والاقتصاد وصحة الإنسان.

5. الإطار التنظيمي

5.1 القوانين واللوائح والمعايير المعتمدة

بالتزامن مع الاتجاه نحو الاستخدام المفيد للمواد الصلبة في مياه الصرف الصحي مقارنة بالتخلص منها، فإن تصميم أي مشروع للحمأة أو المواد الصلبة الحيوية يجب أن يأخذ في الاعتبار جودة الحمأة التي سيتم التخلص منها واللوائح السائدة (Vesilind, 2003).

في معظم الحالات، يخضع اختيار معالجة الحمأة والتخلص من الكتلة الحيوية الى لوائح التخلص (disposal regulations). على سبيل المثال، اللائحة التي تحكم التخلص من الحمأة في الولايات المتحدة هي اللوائح 40 CFR 503 الصادرة عن وكالة حماية البيئة الأمريكية (US EPA) (انظر القسم 7.2).

في فلسطين، يسمح باستخدام الحمأة للأغراض الزراعية. ويتم تنظيم العملية، بالإضافة إلى قانون البيئة الفلسطيني، في وثيقتين رئيسيتين (1) التعليمات الفنية الإلزامية رقم 59 لسنة 2015 ومعايير "استخدام الحمأة المعالجة والتخلص من الحمأة". تحدد اللوائح الفلسطينية قيم الحد الأقصى لتركيز المعادن الثقيلة في التربة والحمأة والحدود القصوى للحمأة المطبقة على الأراضي الزراعية على أساس المعدل السنوي. وبحسب الأنظمة الفلسطينية، يمكن تطبيق الحمأة المعالجة على الأراضي الزراعية المزروعة بالأشجار المثمرة، والمحاصيل الحقلية والمراعي، ولا يسمح باستخدام الحمأة المعالجة لتخصيب الأراضي المزروعة بالخضار، وكذلك المتنزهات والحدائق المنزلية والمساحات الخضراء بالقرب من التجمعات السكنية والمواقع التي يرتادها الجمهور. كما لا يسمح باستخدام الحمأة في تسميد الأراضي المزروعة بالمحاصيل الجذرية مثل الفجل والجزر والبطاطس وغيرها، سواء تم تناولها نيئة أو مطبوخة (MoA and PWA, 2015; PSI, 2010; EQA, 2000).

وفقا للمواصفة القياسية الأردنية (JS 1145-2006)، يتم تصنيف الحمأة إلى ثلاثة أنواع (أي الأنواع الأول والثاني والثالث) على أساس محتوى المعادن الثقيلة ومستوى المعالجة اللازمة لتقليل محتوى مسببات الأمراض. يمكن استخدام كلا النوعين الأول والثاني من الحمأة في الزراعة (أي كتعديل للتربة)؛ ومع ذلك، لا يمكن استخدام النوع الثاني إلا لتعديل التربة أثناء إعداد الأرض في المناطق التي لا يمكن للجمهور الوصول إليها (أي الحدائق العامة). يُسمح بدفن الحمأة من النوع الثالث، بالإضافة إلى الحمأة من النوع الأول والثاني (JS, 2006).

5.2 أدوار أصحاب المصلحة

ويشارك العديد من أصحاب المصلحة على مختلف المستويات في إدارة مرافق الصرف الصحي. يشمل أصحاب المصلحة كيانات متعددة على المستوى الوطني. عادة ما تكون سلطات المياه هي الهيئات الوطنية المسؤولة عن السياسات والتخطيط ومراقبة تقديم الخدمات المتعلقة بالمياه بما في ذلك مراقبة جودة مياه الصرف الصحي المعالجة (المياه الخارجة من محطة المعالجة). وقد يكونون أيضًا مسؤولين عن التطوير المستقبلي للمحطة، بناءً على ملكية محطة معالجة مياه الصرف الصحي، حيث تكون البلديات في بعض الحالات هي المالكة لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي. يشمل أصحاب المصلحة أيضًا المشغلين اليومي لمحطة معالجة

مياه الصرف الصحي. بينما تقع غالبا القضايا المتعلقة بمياه الري الزراعي واستخدام الكتلة الحيوية في الزراعة ضمن مسؤوليات وزارات الزراعة، التي تصدر تراخيص للسماح للمزارعين باستخدام المياه المعاد تدويرها والكتلة الحيوية الناتجة من محطات معالجة مياه الصرف الصحي. كما تقوم بمراقبة جودة الكتلة الحيوية المستخدمة للأراضي الزراعية، بينما يتم مراقبة جودة المحاصيل المسوقة التي يتم إنتاجها بواسطة وزارات الصحة والاقتصاد الوطني. يعد المزارعون واتحادات المزارعين من أصحاب المصلحة الرئيسيين في استخدام الحمأة المعالجة، وكذلك المستهلكين. ولكن طبيعة الأدوار وتوزيع المسؤوليات والعلاقات بين مختلف أصحاب المصلحة قد تختلف من بلد الى آخر.

6. التأثير البيئي

6.1 بنية التربة ونوعيتها

عند إضافة الكتلة الحيوية إلى التربة، فأنها تشكل مصدرا للمغذيات النباتية ومُعدِّل مفيد لخواص التربة. توفر الحمأة المطبقة على الأرض مادة عضوية لتحسين بنية التربة (زيادة التهوية والقدرة على الاحتفاظ بالمياه)، والمغذيات النباتية الرئيسية (N، P، K)، والمغذيات النباتية الدقيقة (Cu، Fe، Zn). خصائص التربة التي يتم تطبيق الكتلة الحيوية عليها، وأنواع النباتات التي سيتم زراعتها، ومكونات الكتلة الحيوية، جميع تلك العوامل تؤثر على مدى فعالية الكتلة الحيوية في تحسين خواص التربة.

يمكن للمواد العضوية الموجودة في الحمأة تحسين الخواص الفيزيائية للتربة، أي قدرة التربة على امتصاص الرطوبة وتخزينها (EC, 2001; Sripanomtanakorn and Polprasert 2001; U.S. EPA, 2023). مع مرور الوقت، يمكن أن يؤدي استخدام الأراضي الزراعية إلى استنفاد المواد العضوية في التربة. ونظرًا لأن الحمأة يمكنها تجديد المواد العضوية في التربة وإضافة العناصر الغذائية إليها جزئيًا على الأقل، فإن استخدام الحمأة يمكن أن يقلل من تكاليف إنتاج المحاصيل. تعد حمأة مياه الصرف الصحي المعالجة أقل تكلفة بكثير من الأسمدة المصنعة في مصنع كيماويات. وفي المجتمعات الزراعية الأوروبية، يتم استخدام أكثر من 30% من حمأة الصرف الصحي كسماد (Wang et al., 2008). أدت الجوانب الإيجابية للحمأة كسماد وكمُغذٍّ لخواص التربة إلى زيادة الطلب على الحمأة (Pritchard et al., 2010).

6.2 تأثير استخدام الحمأة على مصادر المياه

يعد تلوث إمدادات المياه بالمعادن الثقيلة والمواد الكيميائية النيتروجينية ومسببات الأمراض من بين القضايا الرئيسية المتعلقة بتطبيق الحمأة على الأرض. اللوائح التي تضع قيودًا على معدلات الاستخدام وتركيزات مسببات الأمراض والمعادن الثقيلة تُقَيِّد الملوثات. ينصب التركيز بخصوص معدلات استخدام الحمأة في الزراعة في المقام الأول على العناصر الغذائية اللازمة للمحاصيل أكثر من تركيزها على المعادن الثقيلة وذلك في البلدان التي لديها أنظمة صرف صحي منفصلة وحيث تتم معالجة التصريفات الصناعية في نظام الصرف الصحي بشكل مناسب أو عزلها عن المجاري البلدية. لمنع التخثث (eutrophication) الكبير للمياه السطحية والموارد المائية، تعتبر قيود N أو P حاسمة.

وعلى وجه الخصوص، يمكن للنيتروجين أن يلوث طبقات المياه الجوفية الضحلة عندما يتخلل طبقات التربة. ووفقا للتقارير، فإن معدلات استخدام الأسمدة المفرطة في الزراعة هي المسؤولة عن ارتفاع مستويات النترات. من الصعب تحديد معدلات تطبيق الحمأة المناسبة على الأرض بناءً على معدل امتصاص المحاصيل للعناصر الغذائية. وينبغي على المزارعين او من له علاقة أن يأخذوا في الاعتبار مدى اختلاف معدلات امتصاص العناصر الغذائية حسب الموسم والأنواع المزروعة وكمية النيتروجين العضوي التي يتم تمعدنها (mineralized).

وفي الواقع، فإن الأنشطة الزراعية تتطلب عناصر غذائية، سواء على شكل مغذيات تجارية أو مواد صلبة حيوية أو غيرها، وبالتالي من المحتمل ان تلوث مصادر المياه بالعناصر الغذائية بطريقة لا ترتبط حرفيا بتطبيق الحمأة على الأراضي الزراعية.

6.3 استخدام الحمأة مقابل تغير المناخ

يؤدي ارتفاع الطلب على الطاقة والانبعاثات المباشرة في محطات معالجة مياه الصرف الصحي إلى انبعاثات كبيرة من غازات الدفيئة. على سبيل المثال، يمثل استهلاك الكهرباء بواسطة محطات معالجة مياه الصرف الصحي في الصين حوالي 1% من استهلاك الكهرباء الوطني (Zhang et al., 2021)، حيث تتراوح كثافة غازات الدفيئة في محطات معالجة مياه الصرف الصحي بالنسبة لأنظمة المعالجة المختلفة من 0.268 إلى 0.738 كجم من مكافئ ثاني أكسيد الكربون/ م3. يؤدي التطور السريع لمحطات معالجة مياه الصرف الصحي أيضًا إلى زيادة حادة في توليد حمأة مياه الصرف الصحي (Lu et al., 2019; Zhang et al., 2017). وفقًا للدراسات المنشورة، تساهم إدارة الحمأة بحوالي 50% من إجمالي غازات الدفيئة الناتجة عن محطات معالجة مياه الصرف الصحي (Zhao et al., 2022). وفقًا لأهداف المعالجة المختلفة، هناك العديد من تقنيات معالجة الحمأة، والتي تستخدم للتخلص البسيط أو لغرض تثمينها (من حيث المغذيات والطاقة) (Ding et al., 2021). يعد طمر النفايات التكنولوجيا الأكثر استخدامًا على نطاق واسع نظرًا لبساطتها وانخفاض تكلفة تشغيلها (Xiao et al., 2021). ومع المعايير البيئية الأكثر صرامة وسياسات إدارة النفايات في العديد من الدول كالصين مثلا، مثل "المدن الخالية من النفايات"، من المتوقع أن يتم تقييد حمأة مدافن النفايات في المستقبل القريب. يمكن لأنظمة معالجة الحمأة الأكثر كفاءة أن تحسن الكفاءة البيئية لمحطات معالجة مياه الصرف الصحي من خلال استعادة الموارد وبالتالي بالمقابل تعويض الآثار البيئية لمحطات المعالجة، مثل انبعاثات الغازات الدفيئة (Ding et al., 2021).

تم بحث دورة حياة انبعاثات الغازات الدفيئة الناتجة عن معالجة طن واحد من الحمأة الجافة بأنظمة معالجة مختلفة بواسطة تشن وآخرون (Chen et al., 2022). معظم أنظمة معالجة الحمأة، بما في ذلك تثمين المواد، والتخلص التقليدي، واستعادة المغذيات، واستعادة الطاقة لها قيم إيجابية في انبعاثات غازات الدفيئة. بالنسبة لمجموعة الذبال (composting group)، وحيث انه يمكن استرداد النيتروجين والفوسفور الموجود في الحمأة كسماد، مما يمكن أن يحسن كفاءة استخدام الموارد وتجنب إنتاج الأسمدة التجارية المصنعة فانه يمكن لانبعاثات الغازات الدفيئة (خاصة الميثان وأكسيد النيتروز) الناتجة أثناء عملية تصنيع الذبال أن تُعوّض برصيد الكربون الناتج عن استبدال الأسمدة (Piippo et al., 2018; Righi et al., 2013). في الواقع، فإن استخدام الكتلة الحيوية كمصدر تكميلي للنيتروجين له تأثير إيجابي على الحد من غازات الدفيئة عن طريق الحد من استخدام الأسمدة التجارية التي تؤدي الى انتاج كمية كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون.

يتراوح إجمالي انبعاثات الغازات الدفيئة الناتجة عن تحويل الحمأة إلى ذبال (sludge composting) بشكل أساسي من 0 إلى 1 طن من ثاني أكسيد الكربون لكل طن من الحمأة الجافة المعالجة. بالنسبة لمجموعة التخلص التقليدي وتثمين المواد، قد تحقق بعض الأنظمة تأثيرًا مخففًا لغازات الدفيئة. تعتمد الطريقة الأكثر استدامة لمعالجة حمأة الصرف الصحي بشكل كبير على الوضع والظروف المحلية، مثل الكثافة السكانية ودرجة الحرارة ومسافة النقل (Piippo et al., 2018). على سبيل المثال، ريغي وآخرون. (2013) أفاد أن الهضم اللاهوائي المشترك لحمأة مياه الصرف الصحي التي تم نزح المياه منها (dewatered) والجزء العضوي من النفايات الصلبة البلدية (OFMSW) في محطات المعالجة الصغيرة بالإضافة إلى عملية انتاج الذبال (composting) بعد المعالجة اللاهوائية قد يوفر خيارًا مستدامًا بيئيًا لإدارة النفايات في المجتمعات الصغيرة. يتم تحقيق ذلك من خلال (1) تقليل كبير في المسافات والأحجام المنقولة عن طريق البر، (2) انخفاض متطلبات الطاقة للعملية نفسها، (3) توفير الطاقة من وحدة CHP و(4) توفير الطاقة/الموارد من الذبال المنتج بواسطة المادة المهضومة لاهوائيا.

لا يجوز استخدام الكتلة الحيوية إذا كان من المحتمل أن تؤثر سلبًا على الأنواع المهددة أو المعلرضة للانقراض (Vesilind, 2003).

7. الجوانب الصحية

7.1 الجوانب الصحية

وأهم خاصيتين للحمأة التي تحد من استخدامها هما المعادن الثقيلة ومسببات الأمراض. وبسبب القلق المستمر حول التخلص من الحمأة، يصر العديد من المزارعين على قبول الحمأة من الفئة أ فقط (Vesilind، 2003).

يتم غالبا تطبيق الكتلة الحيوية على الأراضي الزراعية والغابات ومواقع الاستصلاح على شكل سائل أو كعكة منزوعة الماء. كحد أدنى، يجب ان تحقق مواصفات هذه المواد متطلبات الحد الأعلى لتركيزات الملوثات (pollutant ceiling concentrations)، ومتطلبات تقليل مسببات الأمراض للفئة ب، ومتطلبات تقليل جذب ناقلات الأمراض، ويجب تطبيقها باستخدام معدلات تحميل الملوثات التراكمية إذا لم تستوف حدود تركيز الملوثات.

يمكن أن تسبب حمأة الصرف الصحي المطبقة على المناطق الزراعية مخاطر بيئية وصحية سلبية. ويرتبط هذا بشكل أساسي بتراكم المعادن الثقيلة السامة مثل الزنك والنحاس والكروم والكادميوم والرصاص في التربة التي تصل إلى النباتات الغذائية (Martinez and Motto, 2020).

في دراسة لتطبيق الحمأة على الأراضي في بانكوك، تايلاند، باسدا وآخرون (2005) ذكروا وجود معادن ثقيلة وبكتيريا القولون البرازية في الحمأة. واقترحوا أن يتم تسخين الحمأة عن طريق التسميد (composting) لتقليل عدد الكائنات الحية المسببة للأمراض (Pasda et al., 2005).

7.2 المعايير والمبادئ التوجيهية الدولية بشأن إعادة الاستخدام الآمن للحمأة

في الولايات المتحدة، تم إصدار اللوائح (40 CFR الجزء 503) في عام 1993 من قبل وكالة حماية البيئة الأمريكية التي وضعت حدودًا رقمية للملوثات وممارسات إدارية لإعادة استخدام المواد الصلبة الناتجة عن معالجة مياه الصرف الصحي البلدية والتخلص منها. تم تصميم اللوائح لحماية الصحة العامة والبيئة من الآثار الضارة المتوقعة بشكل معقول للملوثات الموجودة في المواد الصلبة الحيوية.

تضمنت اللوائح التي يتناولها الجزء 40 من قانون اللوائح الاتحادية الجزء 503 تطبيق الكتلة الحيوية على الأرض. يتعلق تطبيق الكتلة الحيوية على الأراضي بإعادة استخدامها ويشمل جميع أشكال تطبيقها كشحنة غير معبئة أو معبأة في أكياس على الأرض لاستخدامات مفيدة حسب معدلات زراعية، أي معدلات مصممة لتوفير كمية النيتروجين اللازمة للمحاصيل أو النباتات مع تقليل الكمية التي تمر أسفل منطقة الجذور. حددت اللوائح (1) مستويين من جودة المواد الصلبة الحيوية فيما يتعلق بتركيزات المعادن الثقيلة -الحد الأعلى للملوثات وتركيزات الملوثات (الكتلة الحيوية "عالية الجودة")؛ (2) مستويين من الجودة فيما يتعلق بكثافة مسببات الأمراض - الفئة (أ) والفئة (ب)؛ و(3) نوعان من الأساليب لتلبية جاذبية ناقلات الأمراض - معالجة الكتلة الحيوية أو استخدام الحواجز المادية. يؤدي تقليل جذب النواقل إلى تقليل احتمالية انتشار الأمراض المعدية بواسطة نواقل مثل القوارض والحشرات والطيور.

تقسم لوائح 40 CFR الجزء 503 جودة المواد الصلبة الحيوية إلى فئتين، يشار إليهما بالفئة A والفئة B. تحتاج المواد الصلبة الحيوية من الفئة A إلى تلبية معايير محددة

لضمان أنها آمنة للاستخدام من قبل الجمهور والمشاتل والحدائق، ملاعب الجولف. تتطلب المواد الصلبة الحيوية من الفئة ب متطلبات معالجة أقل من الفئة أ، وعادةً ما تُستخدم للتطبيق على الأراضي الزراعية أو يتم التخلص منها في مكب النفايات.

عندما يتم إعداد الكتلة الحيوية للبيع أو وهبها لاستخدامها في الأراضي في المروج (lawns) والحدائق المنزلية أو يتم تسويقها في حاويات، يجب أن تستوفي الكتلة الحيوية من الفئة "أ" أحد المعايير التالية:

1. كثافة القولونيات البرازية أقل من 1000 رقم محتمل (MPN)/ جرام من إجمالي المواد الصلبة الجافة، أو
2. السالمونيلا sp. كثافة أقل من 3 MPN لكل 4 جم من إجمالي المواد الصلبة الجافة.

بالإضافة إلى ذلك، من الضروري تلبية متطلبات أحد بدائل الحد من مسببات الأمراض التالية (Vesilind, 2003; Metcalf and Eddy, 2003):

- الكتلة الحيوية المعالجة حرارياً: استخدم أحد أنظمة درجات الحرارة الأربعة. يجب الحفاظ على درجة حرارة مرتفعة لفترة محددة حسب الإرشادات المذكورة في الجدول 5.
- المعالجة القلوية: الكتلة الحيوية المعالجة في عملية ذات رقم هيدروجيني عالي ودرجة حرارة عالية؛ رقم هيدروجيني ودرجة الحرارة ومتطلبات تجفيف بالهواء محددة (الرقم الهيدروجيني> 12 لمدة 72 ساعة على الأقل؛ خلال هذا الوقت، يجب أن تكون درجة حرارة المواد الصلبة الحيوية أكبر من 52 درجة مئوية لمدة 12 ساعة على الأقل؛ وبعد فترة ال 72 ساعة، يجب أن يتم تجفيف الكتلة الحيوية بالهواء لمدة 12 ساعة على الأقل).
- بالنسبة للكتلة الحيوية المعالجة بعمليات أخرى: إثبات أن العملية يمكن أن تقلل من الفيروسات المعوية وبويضات الديدان الطفيلية القابلة للحياة. الحفاظ على ظروف التشغيل المستخدمة في العرض التوضيحي.
- الكتلة الحيوية المعالجة بعمليات غير معروفة: لا داعي لتوضيح العملية. بدلاً من ذلك، يتم اختبار مسببات الأمراض – Salmonella sp. البكتيريا والفيروسات المعوية وبويضات الديدان الطفيلية القابلة للحياة -في وقت استخدام الكتلة الحيوية أو التخلص منها أو تحضيرها للبيع أو الهبة في كيس أو حاوية أخرى لتطبيقها على الأرض، أو عند إعدادها للوفاء بالمتطلبات الواردة في 503.10 (e)، (c)، (b) أو (f)
- تمت معالجة المواد الصلبة الحيوية من خلال عمليات لإزالة مسببات الأمراض أو عمليات مماثلة، على النحو الذي تحدده سلطة الترخيص.

الجدول 5. أنظمة درجة الحرارة-الزمن الأربعة لتخفيض مسببات الأمراض للفئة A بموجب البديل 1 (Vesilind 2003)

Total solids	Temperature (t)	Time (d)	Equation	Notes
≥%7	≥° 50C	≥20 min	$D = \frac{131,700,000}{10^{0.14t}}$	No heating of small particles by warmed gases or immersible liquid
≥%7	≥° 50C	>15 sec	$D = \frac{131,700,000}{10^{0.14t}}$	Small particles heated by warmed gases or immersible liquid
<%7	>° 50C	≥15 sec to <30 min	$D = \frac{131,700,000}{10^{0.14t}}$	
<%7	≥° 50C	≥30 min	$D = \frac{131,700,000}{10^{0.14t}}$	

لكي يتم تطبيقها على الأرض، يجب أن تحقق الكتلة الحيوية التركيزات الأعلى للملوثات (pollutant ceiling concentrations) ومعدلات تحميل الملوثات التراكمية (cumulative pollutant loading rates) أو حدود تركيز الملوثات (pollutant concentration limits). تحتاج الكتلة الحيوية غير المعبأة (bulk) المطبقة على المروج والحدائق المنزلية إلى تلبية حدود تركيز الملوثات. يجب أن تستوفي المواد الصلبة الحيوية المباعة أو الممنوحة في أكياس أو حاويات أخرى حدود تركيز الملوثات أو التركيزات الأعلى للملوثات، ويجب تطبيقها بمعدل استخدام المنتج السنوي الذي يعتمد على معدلات تحميل الملوثات السنوية. بموجب القواعد الفيدرالية 503، تنطبق بعض قيود الموقع على استخدام الفئة ب، ولكن لا يلزم الحصول على تصاريح موقع فردية لاستخدامها. تضع اللوائح الفيدرالية أيضًا معايير لتسعة ملوثات (الجدول 6). وتشمل المعايير ما يسمى بحمأة "الجودة الاستثنائية" (EQ)، والتي تلبي حدود تركيز معينة (لا تزيد عن X جزء في المليون من أي من الملوثات التسعة الخاضعة للتنظيم) بالإضافة إلى متطلبات الحد من مسببات الأمراض وناقلات الأمراض.

فيما يتعلق بتركيزات المعادن، يمكن تطبيق الحمأة ومنتجات الحمأة التي تفشل في تلبية واحد أو أكثر من تركيزات الملوثات المطلوبة لجودة "EQ" ولكنها تقع تحت التركيز الأعلى للملوث، ولكن يتم توجيه الشخص الذي يطبق الكتلة الحيوية على الأرض لتتبع الكمية الإجمالية لكل معدن ثقيل يتم تطبيقه ووقف التطبيق عند الوصول إلى الحد التنظيمي لتحميل الملوثات التراكمية. يمكن توزيع منتجات الحمأة التي تفشل في تلبية واحد أو أكثر من تركيزات الملوثات المطلوبة لتحقيق جودة "EQ" ولكنها أقل من تركيز الحد الأعلى على المنازل أو في أكياس طالما يتم توفير معلومات حول معدل تحميل الملوثات السنوي المقبول للمستخدم. في هذا السياق، هناك العديد من الأصوات في الولايات المتحدة، التي تدعم أنه على الرغم من أن المعايير قد تم تطويرها من خلال دراسات واسعة النطاق لتقييم المخاطر، إلا أن فجوات البيانات وخيارات السياسات غير الوقائية تؤدي إلى لوائح لا توفر حماية كافية لصحة الإنسان (Harrison et al., 1999; Vesilind, 2003; Doula, 2017).

الجدول 6. حدود الملوثات المستخدمة في الأراضي (أساس الوزن الجاف) في لوائح الجزء 503 من وكالة حماية البيئة الأمريكية (Doula, 2017)

Pollutant	1Pollutant concentration in EQ biosolid (mg/kg)	2Ceiling concentration in biosolids applied to land (mg/kg)	3Cumulative pollutant loading rate limits (kg/ha)	Annual pollutant loading rates, kg/ha.yr
Arsenic	41	75	41	2.0
Cadmium	39	85	39	1.9
Copper	1500	4300	1500	75
Lead	300	840	300	15
Mercury	17	57	17	0.85
Molybdenum	-	75	-	-
Nickel	420	420	420	21
Selenium	100	100	100	5.0
Zinc	2800	7500	2800	140

1: Applies to bulk biosolids & bagged biosolids.
2: Applies to all biosolids that are land-applied;
3: Applies to bulk non-EQ biosolids;
4: Applies to bagged biosolids not meeting EQ limits.

يضم الاتحاد الأوروبي (EU27 دولة عضو مستقلة. ويتعين على الدول الأعضاء في الاتحاد الاوروبي سن لوائح وتوجيهات الاتحاد الأوروبي في تشريعاتها الوطنية. توجيهات إدارة الحمأة: خلال الثلاثين عامًا الماضية، تم تنظيم إدارة الحمأة في دول الاتحاد الأوروبي، بشكل مباشر وغير مباشر من خلال الأدوات التشريعية والقوانين والتوجيهات. من بينها، التوجيه EEC/86/278 (الذي تم اعتماده في عام 1986) والتوجيه 91/271/ EEC (الذي تم اعتماده في عام 1991) لهما التأثير الأكثر أهمية. يحدد التوجيه EEC/86/278 قواعد حول كيفية استخدام المزارعين لحمأة الصرف الصحي كسماد لمنعها من الإضرار بالتربة والنباتات والحيوانات وصحة الإنسان دون المساس بجودة التربة أو المياه السطحية والمياه الجوفية. فهو يضع حدودًا محددة لتركيزات سبعة معادن ثقيلة مسموح بها في التربة والتي قد تكون سامة للنباتات والبشر. منذ اعتماد هذا التوجيه، قامت العديد من الدول الأعضاء بسن وتنفيذ قيم حدودية أكثر صرامة للمعادن الثقيلة والملوثات الأخرى (European Communities Commission 1986). نظرًا لتنفيذ التوجيه EEC/91/271، والمعروف باسم توجيه معالجة مياه الصرف الصحي في المناطق الحضرية، زادت كمية الحمأة التي تتطلب التخلص منها وتحسنت جودة الحمأة بشكل كبير في دول الاتحاد الأوروبي الخمسة عشر خلال الفترة 2000-2010. يحظر هذا التوجيه التخلص من الحمأة في البحر (بحلول 31 ديسمبر 1998)، مما يؤدي إلى خيارين لإدارة الحمأة، أو إعادة تدويرها إلى الأراضي الزراعية أو التخلص منها في مكب النفايات (Inglezakis et al., 2011a, b).

8. إدارة تطبيق الكتلة الحيوية على الأراضي الزراعية

8.1 العناصر الغذائية المتوفرة في الكتلة الحيوية للنباتات

توفر حمأة الصرف الصحي عند وضعها على التربة مصدرًا للمغذيات النباتية وهي محسن فعّال للتربة، وتوفر الحمأة المطبقة على الأرض العناصر الغذائية النباتية الرئيسية مثل N، P، K؛ المغذيات النباتية الدقيقة مثل Cu وFe و Zn؛ والمواد العضوية لتحسين بنية التربة (مثل تحسين التهوية والقدرة على الاحتفاظ بالمياه). تشمل بعض القيود في استخدام الحمأة كسماد عدم ثبات محتوى العناصر الغذائية، ومستويات N وP وK حوالي خُمس تلك الموجودة في الأسمدة الكيميائية النموذجية. يوجد الكثير من النيتروجين والفوسفور الموجود في الحمأة في تركيبة عضوية يجب تمعدنها قبل أن تصبح متاحة للنباتات. يعتمد معدل تمعدن النيتروجين والفوسفور في التربة على الظروف المحلية مثل نوع التربة ودرجة الحرارة ودرجة حموضة التربة ومياه التربة وغيرها من الخصائص الكيميائية والفيزيائية للتربة (Polprasert and Koottatep, 2017).

يوضح الجدول 7 القيم الغذائية النموذجية للكتلة الحيوية لمياه الصرف الصحي مقارنة بالأسمدة التجارية. ويعتبر استخدام الحمأة مكملاً أو بديلاً للأسمدة التجارية. في معظم أنظمة تطبيق الكتلة الحيوية على الأراضي، توفر الكتلة الحيوية العناصر الغذائية الكافية لنمو النبات بشكل جيد. وفي بعض أنظمة تطبيق الأراضي، قد يكون محتوى الفوسفور والبوتاسيوم منخفضًا ويتطلب تعديلات (Metcalf and Eddy, 2003).

على الرغم من الاستخدام المتزايد لحمأة الصرف الصحي، إلا أن هناك عيوبًا كبيرة، كما يلي: (أ) احتمال وجود معادن ثقيلة، وملوثات عضوية، ومسببات الأمراض، والتي يمكن أن تتراكم في الحمأة (Wang 1997)؛ و (ب) الروائح الكريهة الناتجة عن الحمأة. وتطرح هذه العيوب قضايا تتعلق بالصحة العامة والبيئة (الأكاديمية الوطنية للعلوم 1996). ومع ذلك، يمكن التقليل من هذه العيوب عن طريق اختيار المحاصيل المناسبة، واعتماد تقنيات مناسبة لنشر الحمأة، وتنظيم الوقت بين تطبيقات الحمأة والحصاد (Dahlstrom 2005).

الجدول 7. مقارنة مستويات المغذيات في الأسمدة التجارية والكتلة الحيوية الناتجة من مياه الصرف الصحي(أ)

Product	Nutrients, %		
	Nitrogen	Phosphorous	Potassium
Fertilizers for typical agricultural use a	5	10	10
Typical values for stabilized wastewater biosolids (based on TS)	3.3	2.3	0.3

a The concentrations of nutrients may vary widely depending upon the soil crop needs
Source: Metcalf and Eddy (2003)

8.2 النقل والتخزين

يوضح الجدول 8 الطرق المختلفة للتعامل مع الحمأة ونقلها من المصدر إلى موقع التطبيق على الأرض/التخلص. يمكن أن يتم النقل عن طريق خط الأنابيب (تدفق بالجاذبية أو الضغط)، أو شاحنة الصهريج، البارجة، أو السكك الحديدية الناقلة. تعد خصائص الحمأة (مثل المحتويات الصلبة)، وحجم الحمأة، واختلافات الارتفاع، ومسافة النقل، وتوافر الأرض من العوامل المهمة في اختيار طريقة نقل الحمأة. الحمأة السائلة (1-10% محتويات صلبة) مناسبة بشكل عام لأي وسيلة من وسائل نقل الحمأة، في حين يجب نقل الحمأة شبه الصلبة أو الصلبة، التي تحتوي على نسبة عالية من الصلابة (8-30%)، فقط عن طريق الشاحنات أو عربات السكك الحديدية. تُستخدم شاحنات الصهاريج حاليًا على نطاق واسع لنقل الحمأة وتطبيقها على الأرض لأنها توفر المرونة في اختيار مواقع تطبيق الأرض. عادة، يتم توفير مرفق تخزين للحمأة في موقع التطبيق على الأرض.

الجدول 8. محتوى الحمأة من المواد الصلبة وخصائص التعامل معها

Type	Solid contents (%)	Handling methods
Liquid	1-10	Gravity flow, pump, tank support
Semi-solid ('wet' solid)	8-30	Conveyor, auger, truck transport (water tight box)
Solid ('dry' solid)	25-80	Conveyor, bucket, truck transport

Knezek and Miller 1978 reported in Polprasert and Koottatep (2017)

8.3 أفضل ممارسة

طرح ماتيو ساجاستا وآخرون (2022) الحجة القائلة بأن الشخص الذي عارض سابقًا فكرة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة قد يغير رأيه إذا دعم شخص لديه قيم ثقافية مماثلة لإعادة الاستخدام (Mateo-Sagasta et al., 2022). الممارسة الجيدة هي دراسة حالة في الواقع الحقيقي تُظهر باستمرار نتائج متفوقة على المناهج المنافسة (Mannina et al., 2022). يعد إنشاء مواقع توضيحية لاستخدام الكتلة الحيوية في الزراعة أداة مفيدة للغاية لتحفيز قبول المزارعين لإعادة تدوير النفايات.

وفقا لريغي وآخرون (2013)، قد توفر عملية الهضم اللاهوائي المشترك لحمأة مياه الصرف الصحي المنزوعة الماء والجزء العضوي للنفايات الصلبة المنزلية في محطات المعالجة الصغيرة بالإضافة الى عملية التسميد بعد المعالجة (co-composting) خيارًا مستدامًا بيئيًا لإدارة النفايات. ويمكن أن تشمل الفوائد الاجتماعية تحسين القبول العام لمرافق معالجة النفايات وزيادة الوعي العام بمسألة إدارة النفايات (Righi et al., 2013).

8.4 تنمية القدرات

ووفقا للوائح، يتعين على المزارعين التعرف على كمية العناصر الغذائية في الحمأة، وتسجيل كمية الحمأة المضافة إلى أراضيهم، وكمية المعادن الثقيلة. من الضروري أن يكون المزارعون على دراية بالعناصر الغذائية التي تطلبها محاصيلهم النامية. ويجب أن يكون المزارعون قادرين على تحديد الكميات اللازمة في حالة إضافة أسمدة كيماوية إضافية بالإضافة إلى المواد الصلبة الحيوية. يُنصح بإجراء حملات توعية لتثقيف وتدريب المزارعين على الاستخدام الآمن والفعال للحمأة من أجل تشجيع استخدام الحمأة في الأراضي.

وينبغي أن تشمل أنشطة بناء القدرات أيضًا أصحاب المصلحة الآخرين، وتحديدًا خدمات الإرشاد وصناع القرار، وما إلى ذلك. من الجدير بالاعتبار، وضع رؤية واسعة لبناء القدرات كبرنامج تشاركي شامل يشمل المزارعين والقطاع الخاص وموظفي الوزارات التنفيذية (الزراعة، المياه، البيئة، الصحة، التخطيط.

8.5 دور البحث والتطوير

في حالة استخدام عمليات أخرى لمعالجة الحمأة لتلبية متطلبات الفئة أ، بخلاف تلك المذكورة في القسم 7.1، فمن الضروري مراقبة الفيروسات المعوية وبويضات الديدان الطفيلية القابلة للحياة لإثبات أن النتائج متوافقة مع القيم أو نطاقات من القيم موثقة طوال الوقت. على سبيل المثال، نوعية الحمأة المجففة بواسطة احواض التجفيف في البلدان ذات المناخ الحار، أو البلدان، أو المناطق داخل نفس البلد، مع اختلاف موسمي أو جغرافي كبير في درجات الحرارة، كما هو الحال على سبيل المثال في أريحا/ فلسطين حيث تكون شديدة الحرارة في الصيف وأكثر حرارة من باقي مناطق الضفة الغربية.

ومن المهم إجراء استطلاعات الرأي حول القبول الاجتماعي للمنتجات الزراعية المسمّدة (fertilized) بالكتلة الحيوية. ينبغي إتاحة البيانات المتعلقة بإنتاجية المحاصيل، وكمية المواد الصلبة الحيوية المستخدمة، وكمية الأسمدة الكيماوية المستخدمة، والتحليل الاقتصادي، ونوعية التربة، والتحقيق في كيفية تأثير هذه الجوانب على قبول المزارعين لاستخدام الكتلة الحيوية وذلك للمزارع التي تتلقى الكتلة الحيوية. من أجل فهم عميق لمخاطر الملوثات المثيرة للقلق (contaminants of emergent concern (CEC)) الموجودة في مياه الصرف الصحي، من المهم أيضًا تحديد كمية الملوثات المثيرة للقلق وتحديدها في التربة والمحاصيل (Garduo-Jiménez et al., 2023). ينبغي تنفيذ التأثيرات البيئية لدورة الحياة لاستخدام الكتلة الحيوية. وينبغي رصد التأثيرات المحتملة للحمأة على الأراضي الزراعية والبيئة بشكل مستمر عن طريق إجراء الاختبارات المعملية. من المهم إجراء البحوث للتعامل مع مخاوف المزارعين بشأن استخدام الحمأة في الأراضي، قبل وبعد تطبيق الحمأة على أراضيهم الزراعية. ويحتاج المزارعون وعامة الناس إلى إتاحة وصولهم إلى المعلومات، وينبغي إبلاغهم بنتائج البحوث.

ومن الضروري أن يقوم صناع القرار بإدراج موضوع تطبيق الكتلة الحيوية على الأراضي الزراعية ضمن الأولويات البحثية الوطنية. تحتاج مشاريع تطبيق الكتلة الحيوية على الأراضي إلى مكونات بحثية لضمان الفائدة الاجتماعية والاقتصادية والبيئية المثلى، ولتوثيق الدروس المستفادة. أن تمويل البحوث، من أجل الربط بين البحث العلمي وتقديم الخدمات أمرًا بالغ الأهمية للتخفيف من التحديات والحصول على مزيد من البصيرة في التطبيق المستدام للكتلة الحيوية على الأراضي.

9. الاستنتاجات والتوجيهات المحتملة

9.1 الاستنتاجات

توضح هذه الدراسة أن تطبيق الحمأة المعالجة، والمعروفة أيضًا باسم الكتلة الحيوية، يعد خيارًا معقولًا وجذابًا للغاية لإدارة الحمأة على المدى الطويل. ويرجع ذلك إلى حقيقة أن تطبيق الحمأة المعالجة على الأرض (1) يوفر خيارًا نهائيًا للتخلص من الكمية المتزايدة باستمرار من الحمأة المنتجة كمنتج ثانوي للنفايات من محطات معالجة مياه الصرف الصحي، و (2) يعيد تدوير العناصر الغذائية والمواد العضوية التي هي مفيدة جدًا للأراضي الزراعية، حيث تزيد من إنتاجية الأراضي الزراعية وتقلل من تكلفة الأسمدة التجارية، وكلاهما مفيد للبيئة. يعمل محتوى النيتروجين في الحمأة المعالجة كمصدر تكميلي للنيتروجين للمحاصيل، مما يقلل من الحاجة إلى الأسمدة الكيماوية كثيفة الاستخدام للطاقة من خلال استعادة الموارد وتقليل التأثير البيئي لانبعاثات غازات الدفيئة عن طريق تقليل استخدام الأسمدة النيتروجينية التجارية والتي يؤدي انتاجها الى انبعاث كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون.

من الضروري معالجة الحمأة في محطة معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام التقنيات والعمليات المناسبة لتحقيق جودة الحمأة المطلوبة. وكذلك من الضروري أن يكون لدى كل دولة متطلبات ومعايير فنية إلزامية وطنية. يجب التركيز على التحكم في تصريف مياه الصرف الصناعي في نظام الصرف الصحي لضمان عدم التلوث المفرط بالمعادن الثقيلة.

على الرغم من المزايا الواضحة لتطبيق المواد الصلبة الحيوية على الأراضي الزراعية، هناك عدد من القضايا الاجتماعية والاقتصادية والثقافية والبيئية التي تشكل عقبات أمام الاستخدام الفعال للحمأة المعالجة. يجب أن تؤخذ هذه المخاوف بعين الاعتبار قبل وأثناء وبعد تطبيق الحمأة على الأراضي الزراعية. وهذا أمر ضروري لضمان التخلص من حمأة مياه الصرف الصحي بشكل آمن وبأقل ضرر ممكن على البيئة وصحة الإنسان.

9.2 الاتجاهات الممكنة

أدناه مقترحات لتوجهات ممكنة من أجل المضي قدماً في التطبيق الناجح للحمأة المعالجة على الأرض على النحو التالي:

- مشاريع تجريبية متكاملة لتطبيق المواد الصلبة الحيوية على الأراضي الزراعية بما في ذلك الأبعاد المتعلقة بجودة المحاصيل، وجودة التربة، وتقدير كمية الحمأة وتوصيفها، والقبول الاجتماعي، والأثر البيئي، وإشراك أصحاب المصلحة.
- تُنصح السلطات بالتأكد من التحكم السليم في التصريفات الصناعية في نظام الصرف الصحي العام لضمان عدم التخلص من المواد الضارة، مثل المعادن الثقيلة.
- تنمية القدرات التي تستهدف مختلف أصحاب المصلحة، من صناع القرار إلى المزارعين، بشأن الأساليب والعمليات واللوائح والأدوات اللازمة لرصد وتقييم الاستخدام الآمن للحمأة في الزراعة.

9. المراجع

M., Wichelns, D. (eds.) Wastewater: Economic asset in an urbanizing world. Springer Dordrecht. pp.75–92. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9545-6_5.

- EC, European Commission. (2001). Disposal and recycling routes for sewage sludge. Part 1—sludge use acceptance report. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities ISBN 92-894-1798-6.
- EQA, Environmental Quality Authority. (2000). Palestinian Environmental Law, 1999.
- Fang, Y. R., Li, S., Zhang, Y., Xie, G. H. (2019). Spatio-temporal distribution of sewage sludge, its methane production potential, and a greenhouse gas emissions analysis. Journal of Cleaner Production, 238, 117895.
- Feng, J. J., Jia, L., Liu, Q. Z., Chen, X. L., Cheng, J. P. (2018). Source identification of heavy metals in sewage sludge and the effect of influent characteristics: a case study from China. Urban Water Journal, 15(4), 381-387.
- Horan, N. J. Biological wastewater treatment systems. Theory and operation. University of Leeds, UK, 1990.
- JS, Jordanian Standards. (2006). Water -
- Bittencourt, S., Serrat, M., Aisse, M., Gomes, D. (2014). Sewage sludge usage in agriculture: a case study of its destination in the Curitiba Metropolitan Region, Paraná, Brazil. Water, Air, & Soil Pollution, 225, 2074–2081.
- Chen, W., Liu, J., Zhu, B. H., Shi, M. Y., Zhao, S. Q., He, M. Z., ... Chen, Y. P. (2022). The GHG mitigation opportunity of sludge management in China. Environmental Research, 212, 113284.
- Ding, A., Zhang, R., Ngo, H. H., He, X., Ma, J., Nan, J., Li, G. (2021). Life cycle assessment of sewage sludge treatment and disposal based on nutrient and energy recovery: A review. Science of the Total Environment, 769, 144451.
- Doula, M. K., Kouloumbis, P., Sarris, A., Hliaoutakis, A., Papadopoulos, N. S., Kydonakis, A. (2017). Reuse of Sewage Sludge on Soil: Terms, Preconditions and Monitoring. In municipal solid waste management strategies, challenges and future directions, Nikolaos Tzortzakis editor. Published by Nova Science Publishers, Inc. New York.
- Drechsel, P., Mahjoub, O., Keraita, B. (2015). Social and cultural dimensions in wastewater use. In: Drechsel, P., Qadir,

of lead, zinc and copper added to mineral soils. Environmental pollution, 107(1), 153-158.

- Mateo-Sagasta, J., Al-Hamdi, M., AbuZeid, K. (Eds.) (2022). Water reuse in the Middle East and North Africa: a sourcebook. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 292p. doi: https://doi.org/10.5337/2022.225
- Metcalf and Eddy Inc. (2003). Wastewater Engineering Treatment and Reuse. Fourth Edition. New York: Tata McGraw-Hill.
- MoA and PWA (2015), Obligatory Technical Instructions, Treated Sludge for Agricultural Reuse. No 59 for year 2015. Ramallah, Palestine.
- Nassar, A., Tubail, K., Afifi, S. (2009). Attitudes of farmers toward sludge use in the Gaza Strip. International Journal of Environmental Technology and Management, 10(1), 89–101.
- Pasda, N., Panichsakpatana, S., Limtong, P., Oliver, R., Montage, D. (2005). Evaluation of Bangkok sewage sludge for possible agriculture use. Waste Management & Research, 24, 167–174.
- Piippo, S., Lauronen, M., Postila, H. (2018). Greenhouse gas emissions from different sewage sludge treatment methods in north. Journal of Cleaner Production, 177, 483-492.
- Polprasert, C., Koottatep, T. (2017). Organic Waste Recycling: Technology, Management and Sustainability : Technology, Management and Sustainability, IWA Publishing. ProQuest Ebook Central, http://ebookcentral.proquest.com/lib/delft/detail.action?docID=4939116.

sludge - treated sludge used and disposal. JS: 1145/2006.

- Kelessidis, A., Stasinakis, A. S. (2012). Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. Waste management, 32(6), 1186-1195.
- Keraita, B., Jiménez, B., Drechsel, P. (2008). Extent and implications of agricultural reuse of untreated, partly treated and diluted wastewater in developing countries. Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 3(58), 1–15.
- Knezek, B.D., Miller, R.H. (1978) Application of Sludge and Wastewater on Agricultural Land: A Planning and Education Guide, MCD-35, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Krogmann, U., Gibson, V., Chess, C. (2000). Land application of sewage sludge: perceptions of New Jersey vegetable farmers. Waste Management & Research, 19, 115–125.
- Lu, J. Y., Wang, X. M., Liu, H. Q., Yu, H. Q., Li, W. W. (2019). Optimizing operation of municipal wastewater treatment plants in China: The remaining barriers and future implications. Environment international, 129, 273-278.
- Mannina, G., Gulhan, H., Ni, B.J. (2022). Water reuse from wastewater treatment: The transition towards circular economy in the water sector. Bioresour. Technol. 127951. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127951.
- Martınez, C. E., Motto, H. L. (2000). Solubility

of sewage sludge-derived biochar for resource recovery-A review. Chemosphere, 287, 131969.

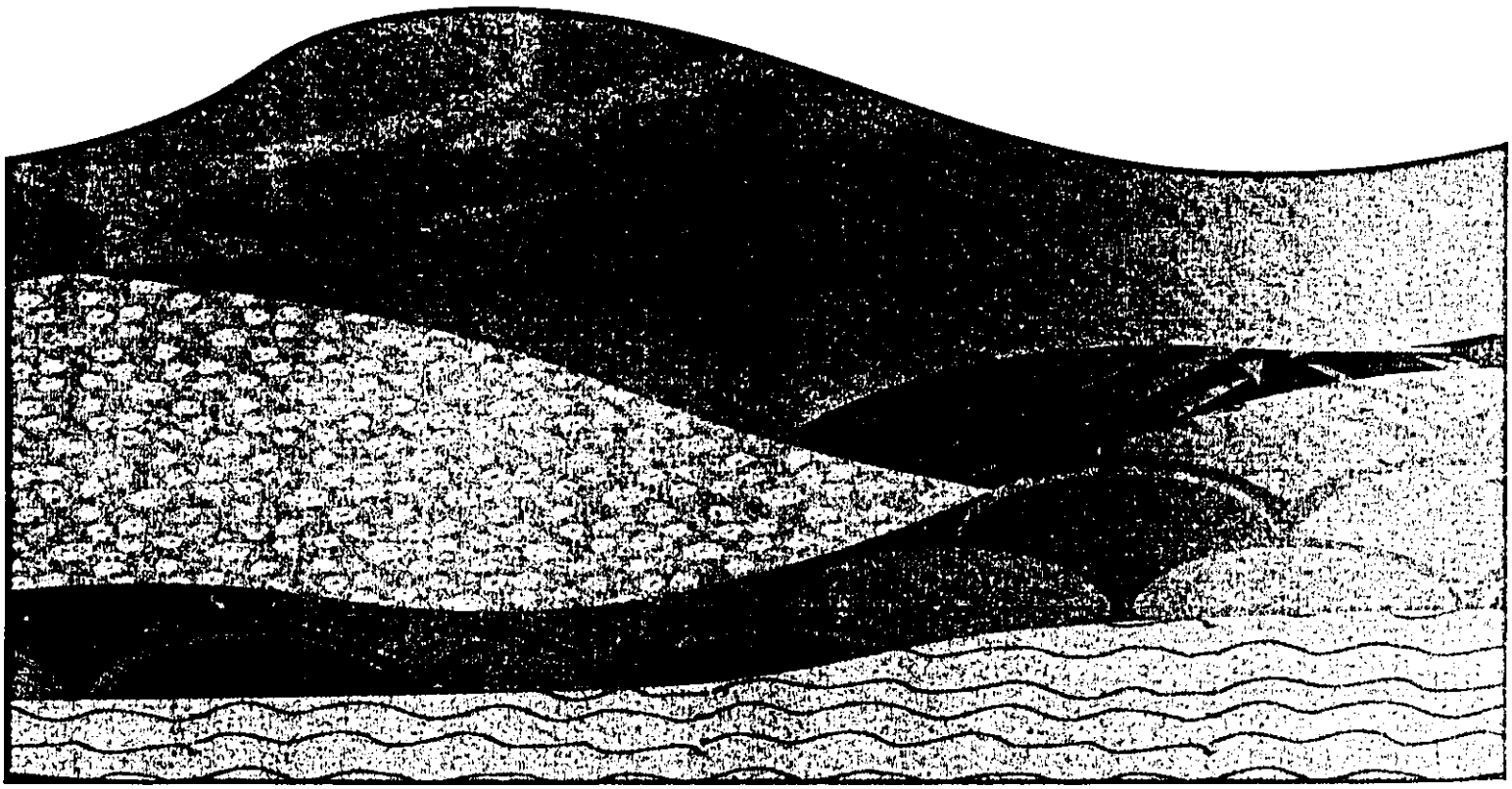
- Yassin, M., Abd Rabou, A. (2002). Perception of sludge use among farmers in northern governorate, Gaza Strip. Bulletin of the Faculty of Agriculture, Cairo University, 53, 517– 530.
- Zhang, J., Li, N., Dai, X., Tao, W., Jenkinson, I. R., Li, Z. (2018). Enhanced dewaterability of sludge during anaerobic digestion with thermal hydrolysis pretreatment: new insights through structure evolution. Water Research, 131, 177-185.
- Zhang, Q. H., Yang, W. N., Ngo, H. H., Guo, W. S., Jin, P. K., Dzakpasu, M., ... Ao, D. (2016). Current status of urban wastewater treatment plants in China. Environment international, 92, 11-22.
- Zhao, G., Tang, J., Zhou, C., Wang, C., Mei, X., Wei, Y., Xu, J. (2022). A Megacity-Scale Analysis of Sludge Management and Carbon Footprint in China. Polish Journal of Environmental Studies, 31(3).
- Pöpel, H. J. Lecture notes on wastewater treatment. IHE, The Netherlands 1993.
- PSI (2010). Sludge- Use of treated sludge and Sludge disposal. PS: 898-2010, Ramallah, Palestine
- Raheem, A., Sikarwar, V. S., He, J., Dastyar, W., Dionysiou, D. D., Wang, W., Zhao, M. (2018). Opportunities and challenges in sustainable treatment and resource reuse of sewage sludge: A review. Chemical Engineering Journal, 337, 616-641.
- Righi, S., Oliviero, L., Pedrini, M., Buscaroli, A., Della Casa, C. (2013). Life cycle assessment of management systems for sewage sludge and food waste: centralized and decentralized approaches. Journal of Cleaner Production, 44, 8-17.
- Tezel, U., Tandukar, M., Pavlostathis, S.G. (2011). Anaerobic Biotreatment of Municipal Sewage Sludge, Editor(s): Murray Moo-Young, Comprehensive Biotechnology (Second Edition), Academic Press, Pages 447-461, ISBN 9780080885049, https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00329-9.
- Tsang K. R., Vesilind P. A. (1990)."Moisture distribution in sludges," Water Science and Technology, vol. 22, no. 12, pp. 135–142, 1990.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA) (2023). Biosolids. Retrieved on September 27th, 2023 from: https://www.epa.gov/biosolids
- Veenstra, S. Lecture notes on sludge management. IHE 2002 (LN0079/02/1).
- Xiao, Y., Raheem, A., Ding, L., Chen, W. H., Chen, X., Wang, F., Lin, S. L. (2022). Pretreatment, modification and applications

مرفق (5)

The Joint Water-Agriculture Ministerial Council

The Status, Treatment Methods, and Use of Brackish Water in the Arab Region

Draft for discussion



Food and Agriculture Organization of the United Nations

101

Contents

Abbreviations 6

Executive summary 7

1. Introduction 9

1.1. Current water status in Arab Region 9

1.2. Brackish water in Arab Countries 9

1.3. Water management 11

1.4. Brackish water uses challenges 11

2. Desalination technologies 14

2.1. Employed desalination technologies in Arab countries 14

2.2. Current desalination capacity in Arab countries and future forecast 16

2.3. Criteria for desalination technology selection 17

3. Emerging technologies in brackish water desalination 22

3.1. Membrane Distillation 22

3.2. Forward Osmosis 23

4. Current use of brackish water in agriculture 25

4.1. Direct use of brackish water without treatment in agriculture in Arab region 25

4.2. Status of brackish water desalination in the Arab region 25

5. Impact of the use of brackish water 29

6. Capacity building and technology localization propositions 30

6.1. Capacity building 30

6.2. Role of Research and development (R&D) and technology localization 30

7. Conclusions and future directions 33

7.1. Conclusive Remarks 33

7.2. Future directions 33

References 35

Figures

Figure 1: Global water scarcity. 9

Figure 2: Distribution of worldwide desalination capacity in 2007. 13

Figure 3: Contracted capacity of desalination plants since 1944 in m3/day. 13

Figure 4:Categories of current commercial desalination technologies in Arab region. 14

Figure 5: Contracted desalination technologies in the MENA Region since 1944. 15

Figure 6: Accumulated desalinated water in selected Arab countries in the years 2010 and 2016. 16

Figure 7: Brackish water desalination concept 1 18

Figure 8: Brackish water desalination concept 2 19

Figure 9: Assessment criteria 20

Figure 10: Membrane distillation technology 23

Figure 11: Typical FDFO setup 24

Figure 12: Comparison of average energy requirements for different desalination technologies 24

Figure 13: Irrigation water costs as a percentage of total costs as a function of the water price. 27

Figure 14: Reduction in the unit cost of multi-stage flash desalination plants, 1955–2003 28

Figure 15: Operating costs of desalination processes in cogeneration plants. 28

Tables

Table 1: Classification of desalination processes. 15

Table 2: Cost breakdown for typical reverse osmosis desalination plant in the Arab region (UNDP 2013) 17

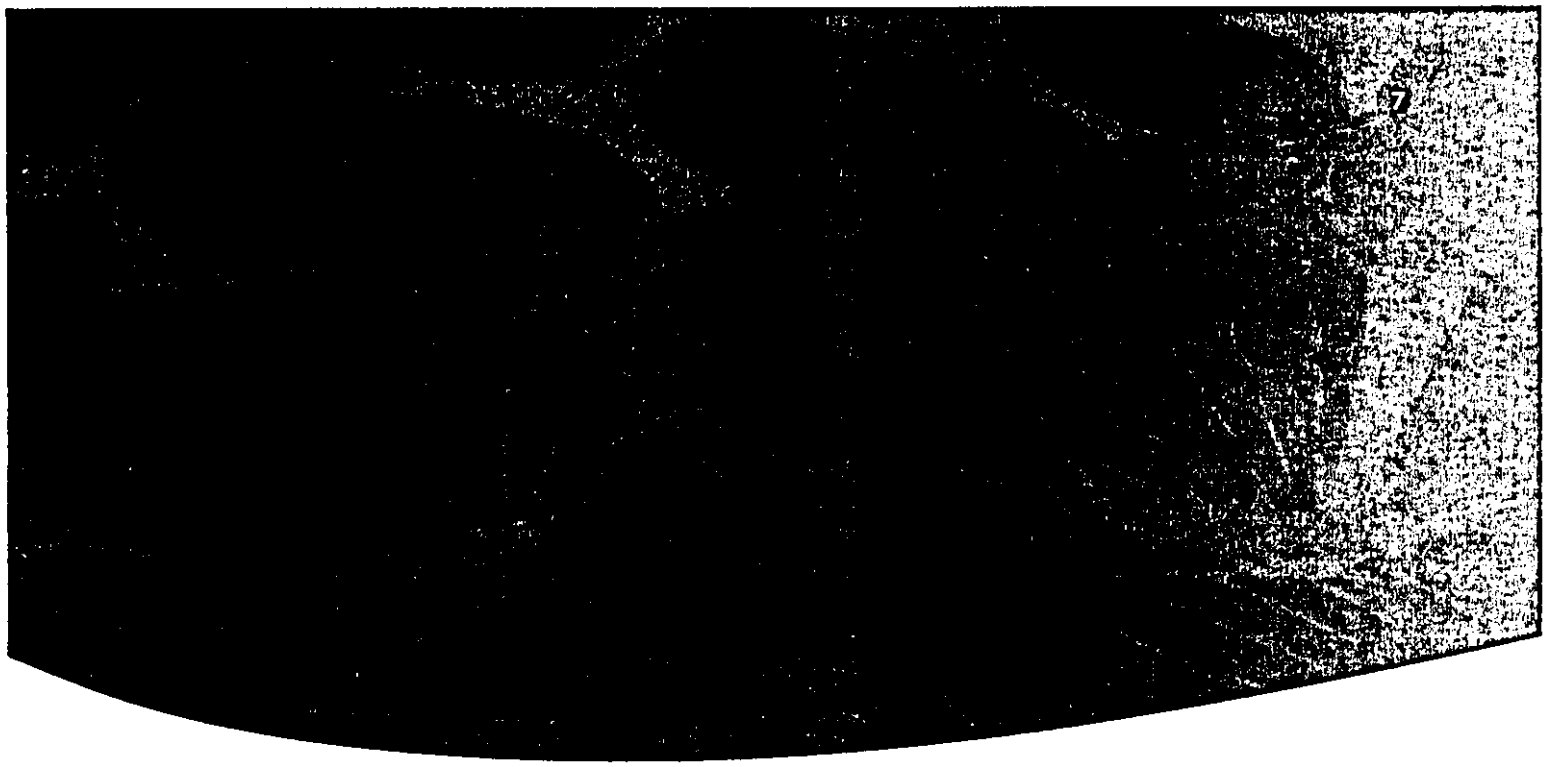
Table 3: List of assessment criteria for brackish water desalination plant. 20

Disclaimer

The report on **"The Status, Treatment Methods, and Use of Brackish Water in the Arab Region"** was prepared and revised by the Regional Office for the Near East and North Africa of the Food and Agriculture Organization (FAO) to support the Joint Technical Secretariat of the Joint Ministerial Council (composed of the Technical Secretariat of the Arab Water Ministerial Council and the Arab Organization for Agricultural Development) in implementing the recommendation of the High-Level Joint Water-Agriculture Technical Committee emanating from its meeting held on 18 October 2022 on the Use of Non-Conventional Water Resources in Agriculture.

Abbreviations

UN	United Nations.
FAO	Food and Agriculture Organization.
USGS	United States Geological Survey.
MCM	Million Cubic Meters.
BGW	Brackish Ground Water.
RO	Reverse Osmosis.
MSF	Multi- Stage Flash Distillation.
MED	Muti-Effect Distillation.
GCC	Gulf Cooperation Countries.
FO	Forward Osmosis.
FDFO	Fertilizer Drawn Forward Osmosis.
CP	Concentration Polarization.
DS	Draw Solution.
EDR	Electro-Dialysis Reversal
MD	Membrane Distillation
DCMD	Direct Contact Membrane Distillation
AGMD	Air Gap Membrane Distillation



Executive summary

Arab countries are located in one of the most arid regions in the world with very scarce freshwater resources. In most of the arid parts of the Arab countries, the good quality water is not available or is extremely limited. The majority of the total water supplies in Arab region are supplied from unconventional resources; brackish water and sea water, which are mostly saline, hence they require desalination to tackle the water scarcity and satisfy the increasing water demand especially for agricultural needs.

The direct link between food (agriculture) and water limits the potential of water-stressed Arab countries to promote food production. However, the prospects of using unconventional resources for irrigation, such as desalination, should be taken into consideration as a potential sustainable option for food production.

The high cost of desalination for irrigated agricultural crops is the main reason it is rarely used. It is necessary to analyze each factor (e.g. parts, chemicals, labor, membranes, and energy) influencing the costs of water desalination.

The concept of sustainability with its three pillars: economic, environmental, and social should be at the forefront of planning any food production initiative using desalinated water.

However, several adverse effects are associated with the desalination process and thus many technologies are being implemented to reduce their environmental effects. The use of renewable energy in the desalination sector is recommended as an impressive idea to reduce the environmental impacts and the associated huge energy costs.

Investments in infrastructure and R&D in innovative technologies and renewable energies can lower desalination costs and make it more sustainable in the future. While desalination can help reducing pressure on conventional water resources, they have negative environmental impacts.

Planning and developing the concept of brackish water desalination in Arab region should take into consideration the following aspects:

- Integration into the existing energy and piping infrastructure,
- Suitability of abstraction facility for providing constant quality and quantity of source water,
- Adequate pre-treatment as well as post-treatment,
- Measures to the process monitoring and maintenance,
- Corrosion and fouling prevention according to the desalination technology,
- Brine management (disposal/mineral recovery),
- Environmental concerns & environmental management
- Health & Safety (Public & occupational),
- Adequate financial and contract management.

In addition, deficiencies in planning can lead to unspecific tendering documents that increase costs due to additional claims of the plant manufacturer and time delays.

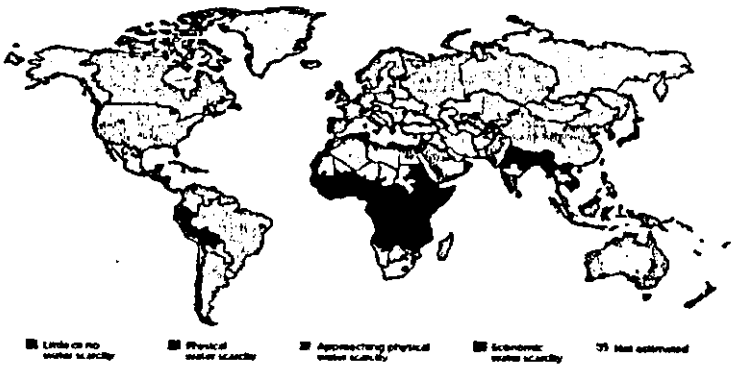
This report thoroughly discusses the brackish water desalination as a viable option of supplying fresh water for agricultural needs in the Arab region, a thorough investigation of the current situation of brackish water desalination and its uses in the Arab region is presented with future directions of utilizing emerging novel desalination technologies. The report as well discuss the socio-economic impact of brackish water desalination. Furthermore, it presents a proposed guideline for partnership between governmental organizations, private sector and all other parties of interest.

1. Introduction

1.1. Current water status in Arab Region

The Arab world stretches across well over 12.9 million square kilometers, including North Africa and parts of Western Asia. This is a region of highest water scarcity and arid climate with annual precipitation ranging from 100 mm to 400 mm. The total annual renewable water resources vary tremendously between the different Arab countries ranging between 0.1 billion m3 per year for Qatar and 75 billion m3 per year for Iraq. With a current total population of around 325 million and a very high growth rate of 2.7%; the per capita share of total annual renewable water resources has dropped well below the UN threshold for water poverty (1000 m3 per year) with most of the Arabian Gulf countries reaching per capita total annual renewable water resources below 200 m3 per year (El-Nashar et al., 2007). Moreover, Arab region suffers from physical water scarcity (Figure 1). A very promising option is to explore the possibility of using brackish water and seawater through techniques such as bio-saline agriculture. Saline groundwater is also a non-renewable resource, but it is less valuable than fresh groundwater, and more limited in its potential uses. Another viable option is desalination of the brackish water resources, either it is surface or ground water.

Figure 1: Global water scarcity.



(Source: Sewilam et al.2015)

1.2. Brackish water in Arab Countries

Brackish water is water occurring in a natural environment that has more salinity than freshwater, but not as much as seawater. Brackish water can be classified into two categories; surface brackish water and ground brackish water. The surface brackish water may result from mixing seawater (salt water) and fresh water

together, as in estuaries, or it may occur in brackish fossil aquifers, as in ground brackish water. In Arab region, surface brackish examples are estuaries such as Shatt Al-Arab in Iraq and Nile Delta in Egypt, mangroves swamps, which mostly exist near coastal areas in North Africa and the Arabian Peninsula.

On the other hand, renewable groundwater resources in the Arab region are quite limited, estimated to be about 45 billion cubic meters annually, mostly in the form of shallow aquifers recharged from rainfall and different surrounding surface water activities (FAO, 2011). Non-renewable groundwater sources (or fossil groundwater) are available in relatively wide areas in the Arab region and at rather larger depths, particularly in the Sahara and the Arabian Peninsula, and are shared among many countries in the region (Al-Zubari, 2014). Due to over-abstraction, most of the groundwater reserve in the Arab region has deteriorated and has become brackish according to its salinity levels classification. Brackish water or briny water is water that has more salinity than freshwater, but not as much as seawater.

Brackish groundwater usually has dissolved solids concentrations between 3,000 and 10,000 mg/L (USGS, 2014). Brackish groundwater is directly used for purposes such as saline agriculture, aquaculture, cooling water for power generation, and for a variety of uses in the oil and gas industry such as drilling, enhancing recovery, and hydraulic fracturing. Brackish water aquaculture, also known as coastal aquaculture, is a rapidly expanding farming activity and could play an important role in the overall fisheries development and food security in the region. As such, brackish groundwater use is emerging as a high potential source of non-conventional water in the Arab water-stressed countries. Dawoud, et al (2019), summarized the brackish water reserve and use in Egypt, Tunisia, UAE and Yemen as follows:

In **Egypt**, recent studies are indicating that brackish water exist in all aquifer systems with potential of about 325 million cubic meters (MCM), however the use of this resources is still limited to small-scale agricultural activities and as drinking source for people and cattle. Recently, medium to large-scale farmers in the northern part of the Nile Delta started to transfer their agricultural land to fish farms based on brackish groundwater as a result of fresh water shortage (Attiya 2010).

In the south **Tunisia**, the authorities have been able to use reverse osmosis (RO) technology to convert brackish into drinking water. The government subsidizes the private sector to invest in desalination and considers this technology a key part of the long-term national water management strategy. Meanwhile, the government plans to increase public sector installed capacity from 44 MCM/day in 2009 to 50 MCM/day by 2030 (World Bank 2009).

In **UAE**, the brackish to saline groundwater aquifer potentially is about 650 billion cubic meters. At present the brackish groundwater use contributes with about 50% of the total water use. It is used directly for irrigation of farms and forests and for domestic sector after using membrane desalination technology (Dawoud 2014).

In **Yemen**, the usable brackish water for agriculture is about 300 MCM/year, mostly for irrigating some tolerant crops in the coastal areas. The total irrigated area by brackish water is about 38,500 ha. In highlands, brackish water is mainly used for rock cutting industry. In Taiz city, the brackish water with high salinity is used for water supply by mixing with freshwater for domestic use without any desalination (Dawoud 2019).

1.3. Water management

Water management is a process that includes planning, developing, management of available water resources, its distribution in equitable quantity and its quality. Over the past three decades, the water management in Arab countries has been strongly influenced by the idea of water resource management. This process advocated new approaches for the assessment, management, and development of freshwater resources which are represented by further development of non-conventional resources such as sea water and brackish water desalination as well as wastewater treatment (Jagannathan *et al.*, 2009). Arab countries are in either the arid or hyper-arid zone, depend on seasonal rainfall, have very few rivers some of which carry runoff from other countries and often rely on fragile (and sometimes nonrenewable) aquifers. Consequently, their economies are much more sensitive to the way that water is extracted, conveyed, and consumed than are the economies of other regions (Jagannathan *et al.*, 2009). Agriculture (which utilizes 80 percent–90 percent of water in most countries will not enjoy guaranteed water supply at past historical quantities. If there is increased variability in rainfall as has been experienced. Farmers perforce will have to change water usage patterns at a time when plant water requirements (Jagannathan *et al.*, 2009). Almost 85% of the water available in the Arab region is used for irrigation. Adopted irrigation methods are not sustainable and lead to overuse of scarce renewable water resources, which in turn results in soil salinization (Sewilam *et al.*2015).

1.4. Brackish water uses challenges

There are many practical challenges facing the wide use of brackish water such as accumulation of salts in the root zone and salt impacts on the well materials and pump life time. Disposal of waste brine in case of desalination is also another challenge. Brackish water irrigation effect includes yield reductions due to salt accumulation, high cost of agricultural inputs due to the need for deeper plowing and pumping costs to cover the additional water requirement for leaching. However, in arid countries, it is not whether to use brackish/saline water to irrigate, but rather how best to use this "resource" in a sustainable manner and with as little detrimental effect as possible on the natural resource base (Dawoud, 2019).

As a first step, the feed source of the potential raw water source (brackish water) needs to be defined.

The following questions must be answered:

- Are there any available brackish water sources in the vicinity of the demand center?
- What is the quality of water, including temperature, that is planned to be abstracted from groundwater sources?
- How much water can be drawn from the wells?
- Are the capacities of existing wells sufficient, or do more wells need to be added?
- Are constant qualities of raw water provided, or do variations have to be considered?

Feed water quantity

After the amount of water to be produced has been specified, the following steps should be

carried out to evaluate the groundwater resources in the area quantitatively:

- Analyze potential sustainable yield of the aquifer to be exploited using groundwater contour maps (applying the flow-through method) and groundwater models if adequate data are available
- Conduct yield tests to verify the data and fill in gaps
- Analyze the long-term impact of water extraction by well piloting groundwater flow maps and groundwater models (the latest versions, respectively) should be used to provide an overview of available aquifers and the amounts of groundwater extracted from them.

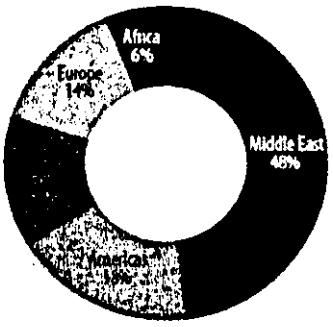
Feedwater quality

Next, the available water sources must be analyzed qualitatively. Having access to reliable water quality data is crucial in determining the treatment requirements of the plant. Existing data can often be found to get an idea of groundwater parameters in the area. However, field samples are still needed to be taken and analyzed to verify and fill in potential gaps in the data. The acquired data should then be verified by an ionic balance check. This is done to identify possible anomalies in the data of parameter concentrations.

For purposes requiring lower dissolved-salt content, especially drinking water, brackish water is treated through reverse osmosis (RO) or other desalination processes. The energy, materials and equipment used for RO desalination of brackish groundwater is far less than those used for desalinating seawater. RO desalination technology has recovery efficiency of 60 to 85% for brackish groundwater. Disposal of waste brine in case of using desalination with RO is also another challenge. Negative effects on the marine environment can occur especially when high wastewater discharges coincide with sensitive ecosystems. Improving recovery efficiencies to 90 or 95% would significantly reduce brine disposal volumes, extend the supply of brackish resources, and potentially reduce overall desalination costs. Meanwhile, with climate change, there are fears of serious impacts on social and economic stability, biodiversity and sustainable development in general. Lands and people using marginal water –brackish groundwater- are considered the most vulnerable. As the quality of this water becomes degraded, the impact on people and the environment can be dreadful (Dawoud, 2019).

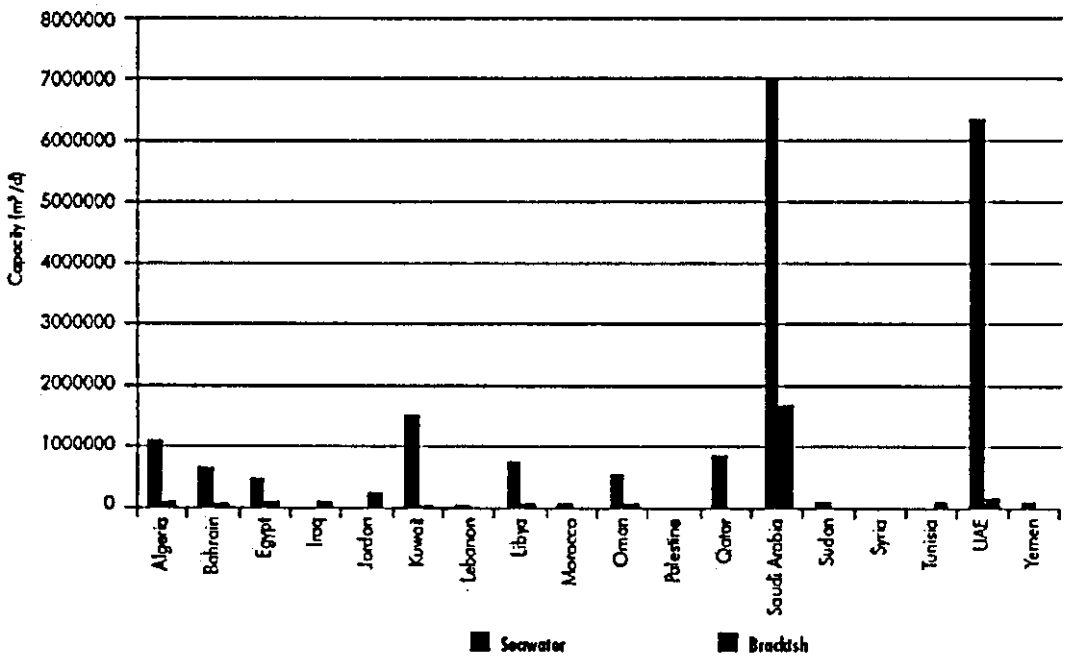
Current commercial desalination technologies have been developed through large- scale applications in a number of Arab countries (World Bank 2012). By 2007 approximately 54% of the world's desalination potential was installed in the Arab Region (Figure 2). Today, member countries of the Gulf Cooperation Countries (GCC), as well as Algeria, Libya, and Egypt are the largest users in the region, as indicated by their total cumulative contracted capacity of desalination plants (Figure 3). Worldwide production of desalinated water by 2007 was approximately 44 km^3 a year: 58% from seawater, 22% from brackish water, and 5% from wastewater (World Bank 2012). The high rate of annual increase in contracted capacity is expected to continue over the next decade. By 2016 the Arab region's share of global demand is projected to account for approximately 70% of the increased global capacity for desalination. Of the 15 countries with the largest conventional desalination installations, 9 are in the Arab region. Yet, this large expansion requires a review of present policies and practices including how to increase local capacity and knowledge.

Figure 2: Distribution of worldwide desalination capacity in 2007.



(source: World Bank 2012).

Figure 3: Contracted capacity of desalination plants since 1944 in m3/day.



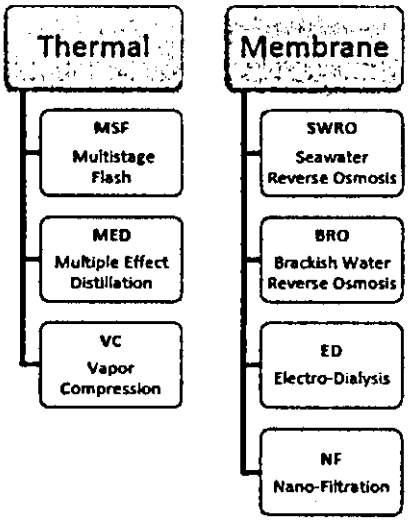
(source: Bushnak 2010).

2. Desalination technologies

2.1. Employed desalination technologies in Arab countries

Commercial technologies used today in desalination can be grouped into two categories, namely, thermal and membrane (Figure 4). Thermal technology separates water from minerals through evaporation-distillation using multi-stage flash technology; a very energy-intensive process. Multi- Stage Flash Distillation (MSF) desalinates by evaporating and condensing seawater in various stages each time functioning on lower pressure than the last. The heat required for the thermal part of the process is usually obtained from the steam from the water stream cycle of a power plant. MSF is a proven technology, even with high levels of salinity, and can be built to a very large scale. As thermal desalination technologies are most common in these countries, being the older technology, Gulf Cooperation Council (GCC) countries tend to co-generate electricity and water in large plants in order to increase fuel efficiency (Bushnak 2010).

Figure 4: Categories of current commercial desalination technologies in Arab region.

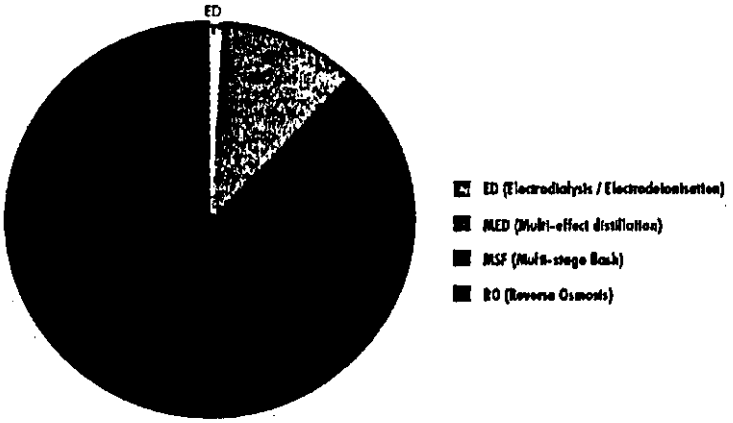


(source:Bushnak 2010)

On the other hand, membrane processes, mainly, Reverse Osmosis (RO) pressurize saline water through membranes that exclude most minerals (Buros 1990). Usually, membrane technologies are used when electric power is accessible or when feed water is brackish water (World Bank 2012). In the Arab region, the MSF technology still dominates, particularly in the GCC countries, although installed capacity for RO is growing (Figure 5). RO technology is easily scalable due to its high modularity, requires no thermal energy and less or equivalent amounts of electric energy than distillation. Most GCC countries still prefer the thermal technology, however, because they use

the disposed heat in cogeneration systems. More recently, hybrid RO and MSF systems are being used in cogeneration system.

Figure 5: Contracted desalination technologies in the MENA Region since 1944.



(source: Bushnak 2010).

The choice of technology used for desalinating brackish water is dependent on the level of salinity (ESCWA 2009). Reverse osmosis is used mostly for higher salinity brackish water, while electro-dialysis is more efficient for lower salinity brackish water (Krishna 2004). Figure 6 provides a breakdown of the cumulative contracted capacity by technology in the Arab region since 1944. MSF process still dominates, although installed capacity for reverse osmosis has increased recently. RO is increasingly used because of its lower cost and improved membranes (Lenntech 2014). Hybrid technologies, such as MSF/RO or MED/ RO, can be used in the future, to increase efficiency when power generation is required. Future large co-generation plants may combine NF/MSF/ MED/RO if present research and technical solutions prove to be commercially competitive (Table 1).

Table 1: Classification of desalination processes.

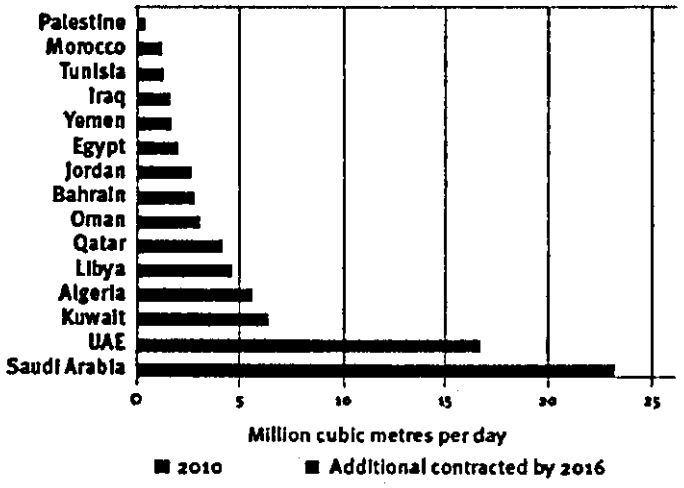
Ref#	Desalination principles with phase change		Desalination principles without phase change
Principle	Distillation	Freezing / Hydrate forming	Membrane separation
Process	• Multi-Stage-Flash evaporation (MSF) • Multiple Effect Distillation (MED)	• With organic refrigerant • Vacuum freeze / Vapor compression	• Reverse Osmosis (RO) • Electro Dialysis (ED)
Products	Vapor / Condensate	Ice crystals / Melt	Permeate (RO) / Dilute (ED)

2.2. Current desalination capacity in Arab countries and future forecast

Currently, desalination plants in the Arab countries have a cumulative capacity of about 24 million cubic meters per day. The highest desalination capacity (Figure 6) is in the Gulf countries (81%), Algeria (8.3%), Libya (4%) and Egypt (1.8 %) (UNDP 2013). Growth is expected to remain high for the next decade to meet escalating domestic water demand. Desalinated water will expand from 1.8% of the region's total water supply to an estimated 8.5% by 2025 (World Bank 2012). Most of the anticipated increase in capacity will be concentrated in the GCC countries, where it will be used to supply water to cities and industry. More than 55% of the water supplied to cities in the Gulf countries comes from desalinated water; used directly, or blended with groundwater. This share is expected to rise as groundwater resources continue to deteriorate.

There are a number of new desalination technologies under development. These new technologies include membrane distillation, carbon nanotubes membranes, aquaporin (biomimetics) membranes, thin film nano-composite membranes, forward osmosis, and electro-dialysis/deionization (Elimelech 2007, Kim et al. 2010, Mayer et al. 2010, Zhao, Zou, Tang, & Mulcahy, 2012). However, such technologies need further research and development so that one can claim that they hold great promise for desalination of seawater. In addition, the use of renewable energies, mainly solar and wind, are still underutilized and need more attention from Arab countries.

Figure 6: Accumulated desalinated water in selected Arab countries in the years 2010 and 2016.



(source: UNDP 2013).

Arab countries, especially gulf countries, Algeria, and Libya, plan to increase desalination capacity from 36 million m3/day in 2011 to about 86 million m3/day in 2025 (Bushnak 2010). By the year 2025, needed investments are estimated at $38 billion, 70% of which are in the Gulf area.

UNDP (2013) claims that although costs will vary with interest rates and energy prices, the energy costs of the expected expansion in desalination capacity by the year 2025 can be projected using the cost breakdown of a typical RO desalination plant (Table 2). Assuming a 10% interest rate, the cost of a

unit cubic meter of desalinated water would be $0.62 (UNDP 2013).

Arab countries desalinated around 19 billion m^3 in 2016 and that is expected to increase to about 31.4 billion m^3 in 2025, at an average cost of $0.525 per cubic meter. The annual desalination costs are estimated at $10 billion in 2016 and it is predicted to be $15.8 billion in 2025, of which energy costs was almost $4 billion in 2016 and will be around $6.4 billion in 2025.

Table 2: Cost breakdown for typical reverse osmosis desalination plant in the Arab region (UNDP 2013)

Cost breakdown for typical reverse osmosis desalination plant* in the Arab region	
Parameter	Cost ($ per cubic meter)
Annualized capital cost (at 5% interest rate)	0.180
Energy Cost (at $ 0.06 a kWh)	0.210
Membrane replacement cost	0.035
Labour and Chemical	0.100
Total Cost	0.525

** for 800 cubic meter per day capacity and 3.5 kWh energy consumption per cubic meter.*

2.3. Criteria for desalination technology selection

For desalinating brackish water in the desalination plant all possible concepts need to fulfill the requirements according to the Plant Design Data Sheet:

- Production of the specified amount of water.
- Compliance with the specified limit values and other properties of product water.

To develop a desalination concept, the introduced treatment technologies for abstraction/ intake, pre-treatment, desalination, post-treatment and brine treatment need to be combined appropriately.

For the exemplary concept development, the following assumptions have been made:

- The site identification is completed.
- The chosen site is suited for thermal and membrane desalination (for this example).
- The site area is sufficient for the chosen technologies.
- The feed source can constantly deliver the needed amount of brackish water.
- The desalination plant will have a sufficient thermal and electrical energy supply.
- Brine disposal is possible without further brine treatment (surface discharge).

In the following example, two different concepts for brackish water desalination are developed:

- Concept 1: Thermal desalination (MED) with all necessary technologies for abstraction, pre-and post-treatment, and brine treatment.
- Concept 2: Membrane desalination (RO) with standard technologies for abstraction, pre-and post-treatment, and brine treatment.

Concept 1:

- Abstraction including pumping/piping, screening, and chlorination.
- Pre-treatment including sedimentation,

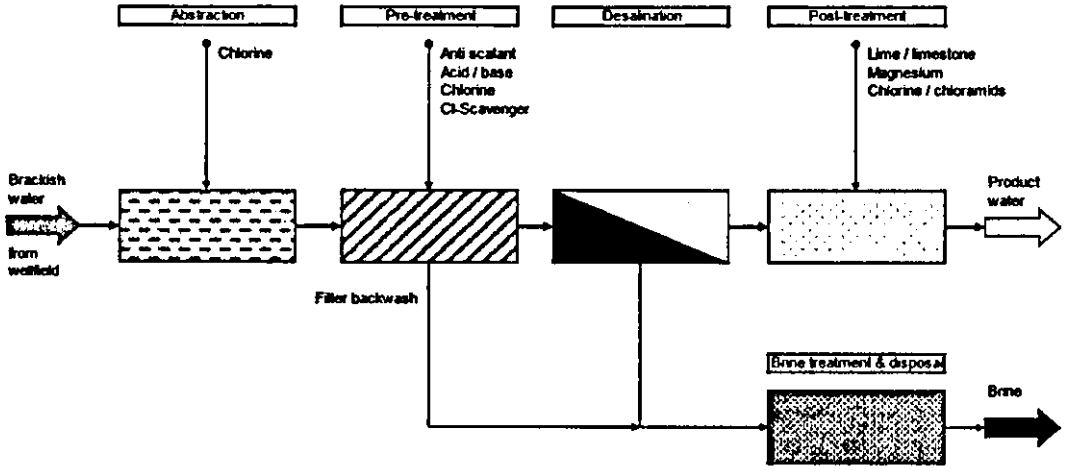
media filtration, cartridge filtration, the dosage of antiscalant, acid, chlorine, and chlorine scavenger MED desalination

- Post- treatment including remineralization (limestone & dolomite) and disinfection (chlorine or chloramines).
- Brine disposal via surface discharge.

Concept 2:

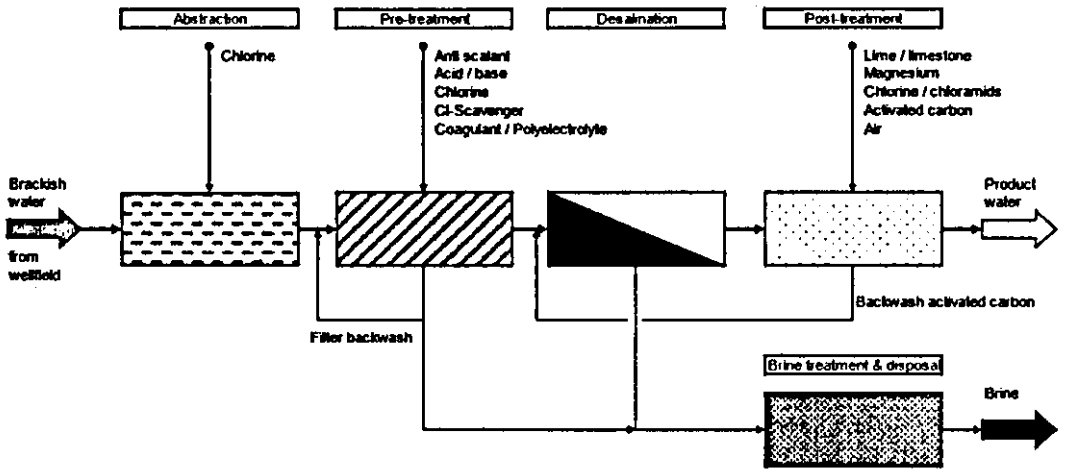
- Abstraction including pumping/piping, screening, and chlorination.
- Pre-treatment including sedimentation, coagulation/flocculation, media filtration, cartridge filtration, the dosage of anti-scalant, acid, chlorine, and chlorine scavenger.
- RO desalination.
- Post-treatment including remineralization (limestone & dolomite), disinfection (chlorine or chloramines), granular activated carbon filtration, and air stripping.
- Brine disposal via surface discharge.

Figure 7: Brackish water desalination concept 1



Abstraction	Pre-treatment	Desalination	Post-treatment
[x] Pumping/Piping	[x] Sedimentation	[x] BW MED	[x] Remineralization
[x] Screening	[ ] Coagulation / flocculation	[ ] BW RO	[x] Disinfection
[x] Chlorination	[ ] Dissolved air flotation		[ ] Enhanced post-treatment
	[x] Media filtration		
	[ ] Precoat filtration		Brine treatment & disposal
	[x] Cartridge filtration		[x] Surface discharge
	[ ] Microfiltration		[ ] Deep well injection
	[ ] Ultrafiltration		[ ] Thermal brine treatment
	[ ] Nanofiltration		
	[x] Anti scalant dosing		
	[ ] Antifoam dosing		
	[x] pH adjustment		
	[x] Chlorination		
	[x] Scavenger dosing		

Figure 8: Brackish water desalination concept 2



Abstraction	Pre-treatment	Desalination	Post-treatment
[x] Pumping/Piping	[x] Sedimentation	[ ] BW MED	[x] Remineralization
[x] Screening	[x] Coagulation / flocculation	[x] BW RO	[x] Disinfection
[x] Chlorination	[ ] Dissolved air flotation		[x] Enhanced post-treatment
	[x] Media filtration		- Granular activated carbon filtration
	[ ] Precoat filtration		- Air stripping
	[x] Cartridge filtration		
	[ ] Microfiltration		Brine treatment & disposal
	[ ] Ultrafiltration		[x] Surface discharge
	[ ] Nanofiltration		[ ] Deep well injection
	[x] Anti scalant dosing		[ ] Thermal brine treatment
	[ ] Antifoam dosing		
	[x] pH adjustment		
	[x] Chlorination		
	[x] Scavenger dosing		

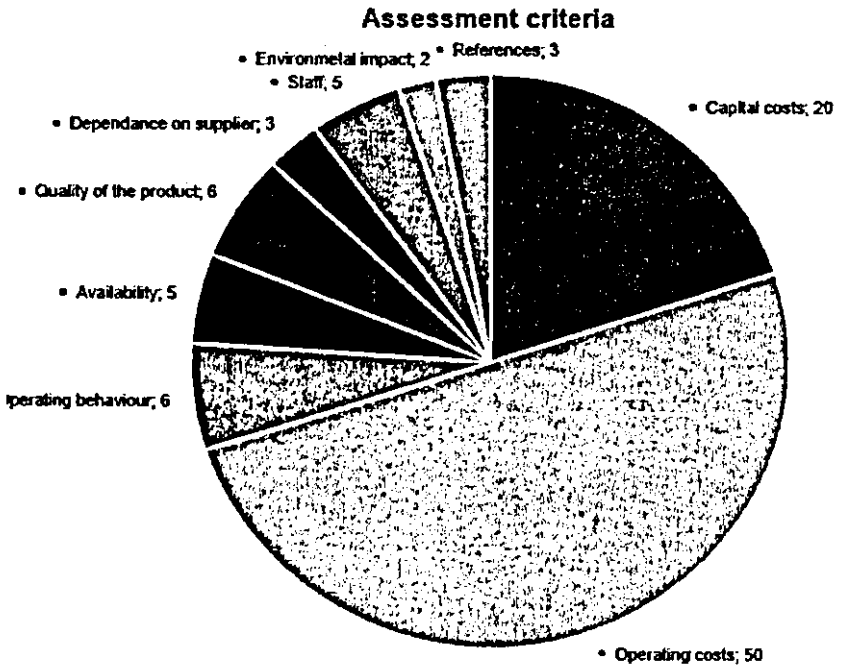
The following assessment criteria, listed in Table 3, can be established for a brackish water desalination plant. The list may be extended or modified, depending on the specific case. But most important is that all points which are relevant for the selection of the process are considered. We can see, in this case, the close tie with the project aims. No single criterion should be eliminated at this stage. If the significance of the criterion is low, this is automatically considered by the following weighting.

Table 3: List of assessment criteria for brackish water desalination plant.

No.	Criteria	Keywords
1	Capital costs	Desalination plant, civil works, energy supply, abstaction facility, pre-treatment, post-treatment, brine treatment, brine disposal, infrastructure
2	Operating costs	Depreciation, interest, energy, chemicals, additives, personnel, water transport, brine disposal, waste disposal, spare parts
3	Operating behaviour	Normal mode, start-up, shutdown, malfunction, overhaul, standstill period
4	Availability	Reliability, robustness, complexity, redundancy, susceptance to failure
5	Quality of the product	boiler feed water, drinking water, process water, irrigation, dangerous chemicals
6	Dependance on supplier	Tubes, membranes
7	Staff	Number, necessary qualification
8	Environmetal impact	Coloured rejects, brine, wastes
9	References	Large, medium and small units, test plants

As shown in Figure 9, it may be recognized that the Capital Costs and Operating Costs comprises of about 70% of the total points of assessment.

Figure 9: Assessment criteria



Desalination is energy-intensive, so energy efficiency is important in developing new plants, as well as upgrading old ones. Saudi Arabia uses a quarter of its oil and gas production to generate electricity and produce water in cogeneration power–desalination plants. Assuming water demand continues to grow at the current rate, this share will increase by at least 50% by the year 2030 (UNDP 2013). Likewise, in Kuwait, cogeneration power desalination plants consume more than 50% of total energy generated. The energy required to meet desalination plant demand is expected to be equivalent the country's current fuel oil production by the year 2035 (UNDP 2013). This means that the Arab countries cannot keep relying on fossil fuels to cover their energy demand in the future. Serious plans and investments need to be considered to integrate desalination with renewable energy sources (solar, wind, tidal, thermal, and waste bio-fuel).

However, as stated previously, desalination requires a considerable amount of energy. Using fossil fuel in desalination is not environmentally friendly. Coupling renewable energy sources with membrane technologies are recommended in Arab countries in the future. These energy sources include:

- Solar energy
- Wind energy
- Geothermal energy
- Waves and tidal energy
- Hydro-electric

The economics of using the renewable energy sources in desalination depends on the cost of energy as the cost of desalination is largely determined by the energy costs, which contribute by more than 30%. Feasibility studies done by researchers or developers in Egypt indicated that in general, the cost of desalination using renewable energy is still higher compared to the cost of conventional desalination based on fossil fuels. However, the costs of renewable energy technologies are quickly decreasing and renew- able energy-based desalination can compete with conventional desalination in remote areas, where the transmission cost of energy and distribution is higher than the cost of distributed generation. Solar power is a great source of energy, for example, although desalination plants are already extremely costly, solar panels are becoming more and more affordable. Offshore wind power plants provide clean energy and should be considered a viable power source for desalination plants. The best way for desalination plants to minimize their energy consumption is by using renewable energy to power the facility. Although it carries a huge cost, desalination benefits people by providing them with freshwater. High-speed electrical pumps on desalination plants consume more energy than is needed. If desalination plants focused on sustainably using renewable energy, it would be a major step toward a greener environment.

3. Emerging technologies in brackish water desalination

Water desalination has evolved from the traditional systems of water distillation, with high energy consumption, to the most modern membrane technologies, especially reverse osmosis (RO), which is more energy efficient and requires lower investment costs. Although distillation technologies were predominant in the past, the appearance of RO membranes in the 1970s has completely changed the desalination scene in the world, and especially the application of desalinated water for agriculture.

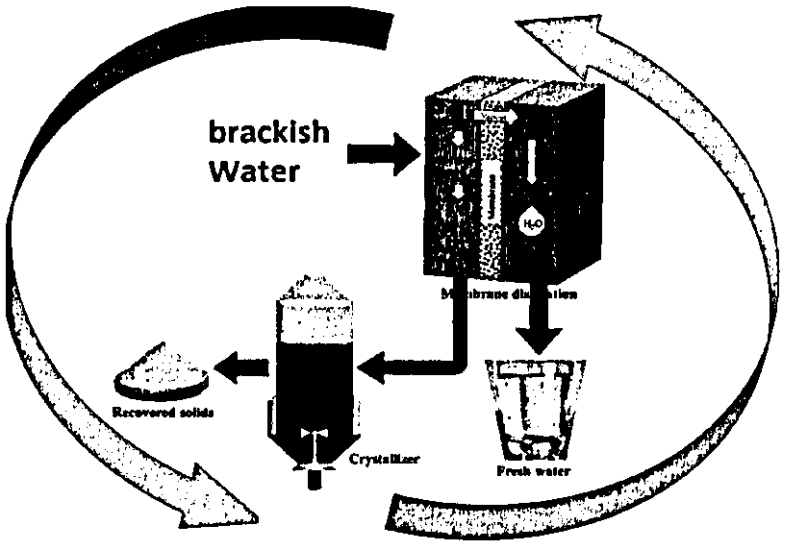
Water desalination relies on energy consumption, which is the main cost of desalinating water. Distillation technologies consume considerable energy regardless of the level of water salinity. However, energy consumption with membrane technologies depends on the salt content of the feed water and of the product water. RO can be adapted to different water salinity contents. This flexibility has enabled the extension of the use of RO to new applications. Electro-dialysis reversal (EDR) is less flexible than RO, and should only be used for special brackish water applications in agriculture (Buros 1990).

In recent years, there was a drastic development and interest on new technologies that are considered to be very promising in solving the ever-pending water desalination challenges. There are two technologies with great potential in fulfilling the desalination requirements at very low cost, these technologies are Membrane Distillation (MD) and Forward Osmosis (FO).

3.1. Membrane Distillation

Membrane Distillation (MD) is a new high-efficiency membrane separation technology with broad application prospects. Depending on the method used to treat the vapor with a membrane, MD can be subcategorized into direct contact MD (DCMD), vacuum MD, air gap MD (AGMD), and sweeping gas MD. The main factors that hinder the development of MD are the availability of the membranes for membrane distillation, and membrane wetting. In DCMD, the solution is in direct contact with the hydrophobic membrane on both sides and it is considered one of the most promising membrane desalination methods because of its various advantages, such as a simple structure and large membrane flux. MD can evaporate water at very low temperature in at atmospheric pressure which make it a non-energy-intensive technology. (Ali *et al. (2017))* studied the energy efficiency of a DCMD device during the desalting of brackish water with geothermal energy and other low-temperature heat sources. (Zho *et al.* (2021)) considered the feasibility of desalinating brackish groundwater using the DCMD method and investigated the effects of the feed temperature, flow rate, and salt concentration on the performance of the DCMD process. MD process is being investigated to replace reverse osmosis or thermal distillation for brackish water desalination in Arab world. Figure 10 summarizes MD technology in desalinating brackish water.

Figure 10: Membrane distillation technology

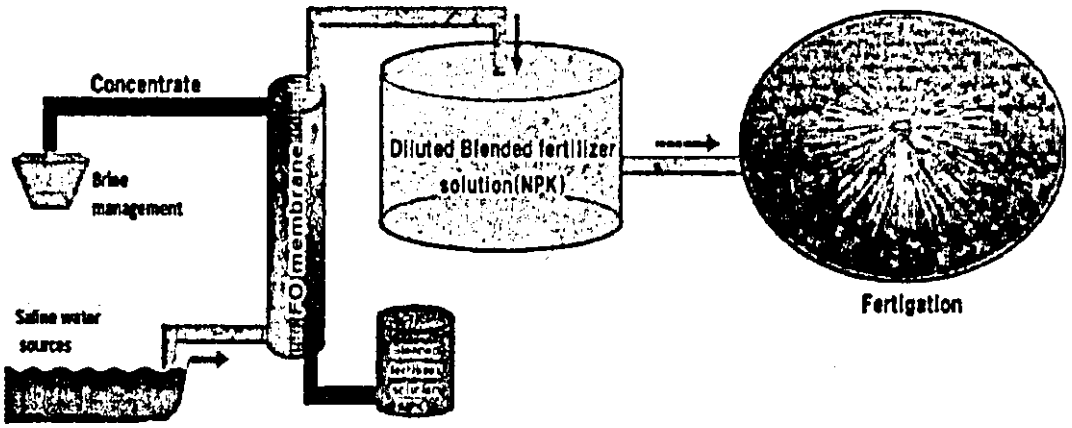


MD has the advantages of a low operating pressure (i.e., low pumping power demand), low operating temperature (heat source: 50–90 °C), and a 99.99% possibility of separating solutes and non-volatile substances.
MD is more sensitive to heat and it is the most economical and feasible thermal desalination technology for low cost thermal conditions. Furthermore, the consumption of energy needs to be reduced by applying effective energy recovery systems and implementing multistage MD effect units.

3.2. Forward Osmosis

Forward Osmosis (FO), can be used to produce water for irrigation. This type of FO application is Fertilizer Drawn Forward Osmosis (FDFO), as demonstrated in Figure 11. As Phuntsho (2012) clarifies, two different solutions are used in the FDFO process: saline water (as the feed water) on one side of the membrane, and highly concentrated fertilizer solution (as the draw solution) on the other side of the membrane. The two solutions are always kept in contact with the membrane through a countercurrent flow system, where fresh water flows from the saline feed solution towards the highly concentrated fertilizer draw solution. After extracting the water by the FO process, the fertilizer draw solution becomes diluted, and can be used directly for fertigation, provided it meets the water quality standards for irrigation in terms of salinity and nutrient concentration avoiding the need for separation and recovery of the draw solution (Phuntsho *et al.* 2012). Although the potential for such an idea is very promising, research on this model has not received much consideration until recently due to the lack of suitable membranes.

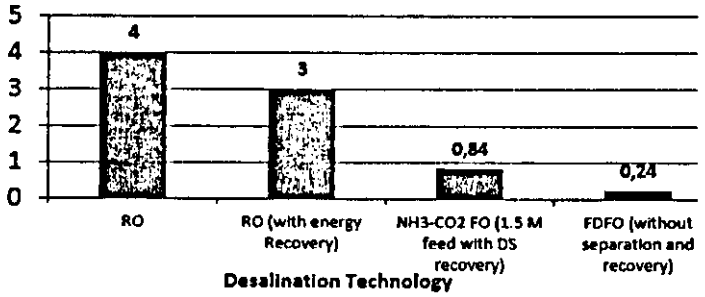
Figure 11: Typical FDFO setup



(Source: Phuntsho et al. 2012).

FDFO is a remarkably low energy desalination process. The only energy required in the FDFO process is for sustaining the cross-flow of the feed and draw solutions in contact with the membrane surface and providing sufficient shear force to minimize the Concentration Polarization (CP) effects. Figure 12 shows the relative energy requirements for different desalination technologies. The total energy saved, when compared to other current desalination technologies on an equivalent work basis, can be between 72% and 85%. The performance of NH_3-CO_2 as a draw solution (DS) could vary from the fertilizer draw solutions (Phuntsho, 2012). Yet, given the fact that the recovery of draw solutes from the diluted draw solution is not necessary, the estimates in Figure 12 signal that the energy required for FDFO will be significantly lower.

Figure 12: Comparison of average energy requirements for different desalination technologies



(Source: Phuntsho, 2012).

4. Current use of brackish water in agriculture

4.1. Direct use of brackish water without treatment in agriculture in Arab region

Earlier this year, FAO presented a report (FAO 2023) that thoroughly investigated guidelines and summary of the Arab countries experience in direct use of brackish water without treatment for irrigation of agricultural corps. The Arab region is faced with a wide range of salinity problems and there are a number of examples in the region of the successful use of brackish water for agricultural production. It is important to emphasize, however, that successful practices avoided the sustained accumulation of salts through adequate leaching, drainage and amendment applications.

The region's agricultural practices have evolved through the experience of farmers growing crops under their particular situations of water availability, prevailing agricultural conditions and economic factors. Each country has its own experience in producing crops under its local conditions and each country has its own crop varieties, developed through research and farmers' experiences. There was a wide variety of successful crops production in the Arab world using saline brackish water as an irrigation sources including key cereal, fibre, vegetable, fruit and forage crops. The salinity of the irrigation water used to grow the crops varied widely, from 1.1 to 14 dS/m, albeit with different yield potentials. Sesbania, a halophytic forage crop, was even grown in Syrian Arab Republic with irrigation water that was over 75 percent the salinity of seawater (FAO 2023).

The information provided clearly demonstrates that brackish water has been used successfully in arid and semi-arid climates around the world, including the NENA region, and that there is potential for further successful use of brackish water.

The Arab region faces two important limitations in the successful use of brackish water for agricultural production. One is that many places in the region lack the infrastructure (namely, state-of-the-art irrigation and drainage networks) needed to apply the good management practices necessary for brackish water use. Without investment in the necessary infrastructure, good irrigation management practices cannot be implemented. Drainage, in particular, is a key issue in the region as many areas suffer from waterlogging, and, in fact, the guidelines presented in (FAO 2023) can only be applied in those areas where adequate leaching and drainage are feasible for only in areas with adequate drainage can a salt balance be achieved. Another important limitation is that many countries lack the knowledge and understanding of good agricultural practices for brackish water use.

4.2. Status of brackish water desalination in the Arab region

Because of high costs, desalination [124] technologies are not simply used for agricultural purposes. A thorough cost analysis is essential in order to determine

whether water desalination may be feasible to produce a water resource that could be used to complement or substitute natural water resources in areas with water shortages. Yet, the current situation is quite different from that of decades ago, when brackish water desalination started its development. However, more experience is still needed in order to determine whether water desalination is a solution to water scarcity and especially whether desalinated water should be used in agriculture. That being said, it is necessary to analyze the factors influencing the water desalination costs of the different desalination technologies. Desalination technologies have evolved in the last few years, from being little used in the world, limited to some oil rich countries where energy costs are low, to now being used globally. At the beginning, desalination was only used to provide domestic and industrial supplies. However, once this technology had been improved and its costs decreased, its application was extended to other sectors, especially to agriculture. To obtain an average cost of desalinated water, it is necessary to consider three factors:

- desalination technology and energy requirement.
- feed water quality.
- product water quality.

First: Desalination technology and energy requirement.

As agriculture is by far the largest consumer of fresh water in the Arab region, small savings in agricultural water use through improved techniques will provide immense quantities of water available for the community and the environment. Besides making irrigation water available using lower energy from saline water sources, nutrient-rich water for fertigation (Phuntsho, *et al.*, 2012). Fertigation has several advantages in comparison to the application of water and fertilizers separately:

- minimum loss of irrigation water due to leaching
- optimum nutrient balance by supplying the nutrients directly to the root zone
- control nutrient concentration in the soil solution
- saving on labor and energy costs
- offering flexibility in fertilizer application timing
- suitable for application in mixtures with other micronutrients such as pesticides
- accommodating and flexible technology as it can be easily integrated in any already-existing fertigation scheme

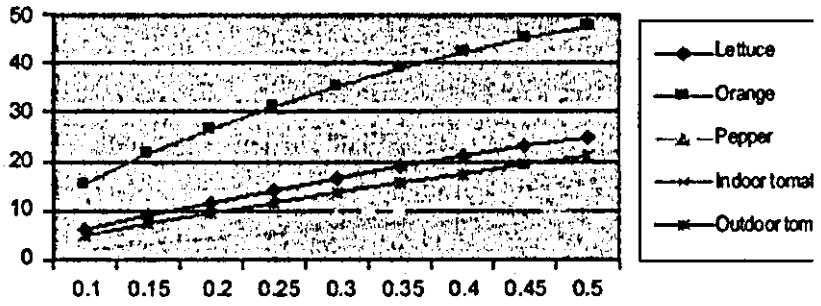
Second: Feed Water Quality.

For highly profitable out-of-season crops, desalinated seawater could be considered as an alternative source of irrigation water. Generally, seawater is seen as the most promising resource for desalination in the future. This is because of the enormous volume that this natural water resource represents and its availability. However, brackish water desalination is also applied in many areas. The economic feasibility of brackish and seawater desalination for agricultural applications needs to be assessed. The World Bank (2007) forecasts that more than 200 million people will encounter the problem of water scarcity by the year 2025 and that most of this population will be living within 50 km from the sea coast. In addition, technologies to desalinate seawater and brackish water are available and their efficiency is continuously improving, permitting desalinated water to cover the agricultural demand in these areas. Distillation technologies can only be used for desalination of seawater at a very high cost. The flexibility of RO to the salt content of the product water makes it possible to reduce costs, an advantage that is not feasible with the other technologies

Third: Product Water Quality

The required salinity of the irrigation water used to achieve sustainable agriculture depends on a number of factors, such as climate, crops, soils, and water management. Therefore, the design of desalination plants has to carefully consider the agricultural needs, so that production costs can be optimized. In order to reduce the Leaching Requirement and the quantity of water applied, desalinated water could be used for specific and profitable crops, such as lettuce, orange, and pepper. In this way, the cost of desalination would be less than that of typical irrigation water. Figure 13 shows irrigation water costs in relation to the total costs for some crops. This information could be used when deciding whether or not to use desalinated water in agriculture.

Figure 13: Irrigation water costs as a percentage of total costs as a function of the water price.



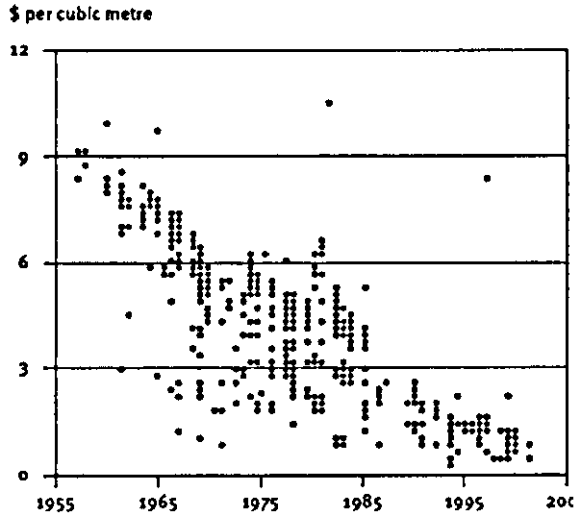
(source: Beltran and Koo-Oshima 2004)

Saudi Arabia is currently the world leader in desalination with approximately 26% of global production capacity, followed by the United States (17%). In Saudi Arabia most of the desalination plants are based on the thermal process (newly constructed plants are different) and the source water is seawater. In contrast, in the United States 69% of the desalination plants are based on RO and only 7% is seawater desalination plants. While only 20% of the total number of the desalination plants world-wide use thermal process, 50% of the total production capacity is based on the thermal processes. The United Arab Emirates (UAE) opened its Fujairah desalination plant in 2005 with a combined MSF and RO production capacity of 454,000 m^3 /day (Matsuura *et al.* 2011).

For Arab countries to make desalination a suitable source of brackish water, the high financial and energy cost challenges must be appropriately addressed. As currently practiced, desalination is capital and energy intensive especially when using brackish water as a feed water. Costs per delivered cubic meter of desalinated water are as high as $1.50 and even $4 in some cases (UNDP 2013). The water is subsidized, however, and sold for as little as 4 cents/m^3 in some Arab countries. With improvements in desalination technologies, production costs are continuously dropping.

Technologies such as RO, electrodialysis and hybrids are more energy efficient and better suited to different types of water. As shown in Figure 14, the price of multistage flash over 1985–2004 dropped from $4.0– $2.0/$m^3$ to $0.50–$0.80 (UNDP 2013). Similarly, the current price of RO is estimated to be $0.99/$m^3$ for seawater and $0.20–$0.70 for brackish water (UNDP 2013). The World Bank (2012) confirms that energy requirements vary from 3.5–5.0 kwh/m^3 for RO seawater to 4–8 kwh/m^3 for multi-stage flash technology. This downward trend in the cost of desalinated water indicates that desalination technology is becoming more viable.

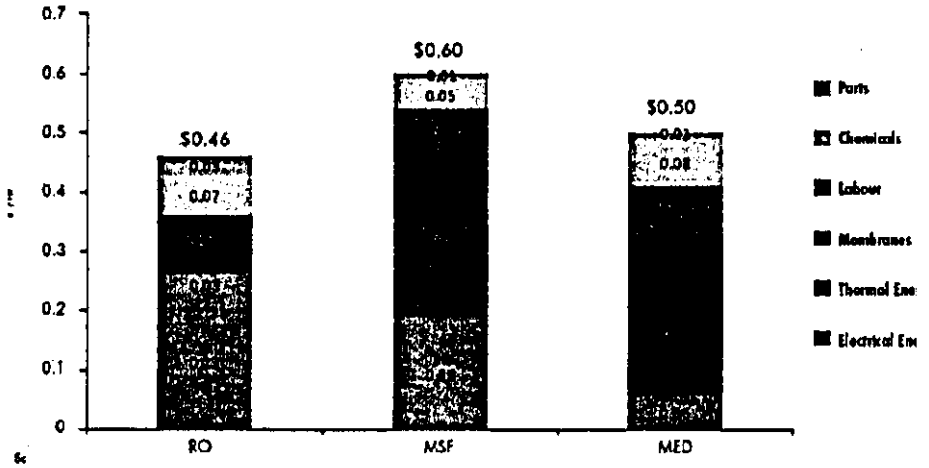
Figure 14: Reduction in the unit cost of multi-stage flash desalination plants, 1955–2003



(source:UNDP 2013).

While the unit capital cost in 2010 for seawater desalination plants ranges between $1000 to $2000/m3/day of installed capacity (Bushnak 2010), the unit capital cost for brackish water plants is estimated to be 25%-45% of the above unit cost for seawater plants (Bushnak 2010). The relative operating costs (parts, chemicals, labor, membranes, thermal energy, and electrical energy) of the three main desalination processes (RO, MSF, and MED) for cogeneration plants are illustrated in Figure 15.

Figure 15: Operating costs of desalination processes in cogeneration plants.



(source: Bushnak, 2010).

5. Impact of the use of brackish water

The salinity of water and soil is a problem present on all continents, impacting ecosystems and agricultural activities, notably in arid and semi-arid regions. However, the growing demand for food, the scarcity of water resources, and the overuse of groundwater under the ongoing scenario of global climate change have created the need to tap into salt water resources to maintain food production and generate jobs and income for farmers in dry lands. Therefore, it is necessary to use appropriate management techniques and salt-tolerant species, both aspects being part of bio saline agriculture (Ma *et al.* (2008)). Research also proved that irrigating with brackish water will not result in serious crop yield reduction. However, brackish water irrigation also carries the risk of causing soil salinization and affecting the normal growth of crops (Selim *et al.* (2012)), since the salinity at the soil surface increased as inter-plant emitter distances and emitter depth increased. (Rahil *et al.* (2013)), recommended to use a short irrigation interval (one day interval) when highly saline water is used. To reduce the damage to the soil associated with brackish water irrigation, many researches have concluded that adopting an effective irrigation system (such as drip irrigation, sprinkler irrigation) and strategy (such as high frequency irrigation) can control the degree of soil salinity accumulation and reduce the influence of high salinity on the soil environment. Moreover, brackish water can alter the soil environment and affect the soil capillary action, resulting in changes to the soil permeability and water retention. It can also lead to the accumulation of salts in the soil, which will restrict crop growth and cause physiological drought, affecting water uptake by crop roots, inhibiting photosynthesis, and altering the physiological characteristics of crops. Therefore, the effect of brackish water on soil and crops should be fully considered, when using brackish water for irrigation.

6. Capacity building and technology localization propositions

Brackish water resources represent a complementary source of the current and future water supply in the Arab region. Brackish water development requires careful planning and management to ensure their longevity in serving socio-economic development in the region. The following are recommendations for policy actions:

6.1. Capacity building

The increase in desalination capacity needs to be matched by an increase of the capacity to develop, implement and operate desalination facilities. Capacity to deal with desalination projects is the bottleneck to the development of the brackish water desalination.

Capacity building includes making efforts to find and support local community groups, so that they can assist in identifying and prioritizing problems and opportunities, in assessing possible ways forward, and in planning and delivering an implementation (AL-Mutaz, 2001)

Particular capacity problems with regard to the desalination sector in Arab Region are:

1. Inadequacy of information and data resource assessment specially related to desalination technology;

2. Lack of know-how and limited technical capabilities;

3. Lack of financial resources for research;

4. Lack of appropriate national policies regarding desalination in long-term planning and the necessity of establishing adequate institutional infrastructures for the management of the operation of desalination systems.

The initiation, formulation and implementation of desalination plants need organizational structures for managing required activities at the governmental level as well as within the utilities, industry, research and development, and educational institutes involved. The distribution of tasks, functions and responsibilities among involved organizations is required. The function of these organizations will be to ensure their design, manufacture, construction, commissioning and operation of desalination plants. Qualified human resources are an important factor to maintain successful of operation of desalination plants. A plan for developing manpower must also be established at the earliest stage to develop highly qualified human resources.

6.2. Role of Research and development (R&D) and technology localization

Research and development (R&D) and innovation are a central area of individual national and international policies and innovative strategy. Principally, it is related to R&D policies' connection with education, innovation, employment, information, and

business policy. Research and development play a key role in generating new knowledge, products, and technological processes, which are a necessary condition for stable and sustainable social growth. If Arab countries want to become a more competitive knowledge-based economy, not only the production but also the spread and use of knowledge need to improve. It is essential to manage use and effective transfer of knowledge among research organizations, universities and public organizations in particular, and industry small- and medium-scale businesses which transform it into products and services.

The rapid pace of technological developments played a key role in the previous industrial revolutions. However, the fourth industrial revolution and its embedded technology diffusion progress are expected to grow exponentially in terms of technical change and socioeconomic impact. However, academics still struggle to define its approach appropriately.

Science, technology, and innovation represent a successively larger category of activities which are highly interdependent but also distinct. According, science contributes to technology in different ways:

- new knowledge, which serves as a direct source of ideas for new technological possibilities;
- source of tools and techniques for more efficient engineering design and a knowledge base for evaluation of the feasibility of designs;
- the practice of research as a source for development and assimilation of new human skills and capabilities eventually useful for technology; creation of a knowledge base that becomes increasingly important in the assessment of technology in terms of its wider social and environmental impacts or knowledge base that enables more efficient strategies of applied research, development, and refinement of new technologies.

However, a number of experiences involving the private sector since the 1990s have fallen short of expectations for all parties involved and led in some cases to highly politicized debates and international arbitration. In particular, the expected surge in the flows of private investment did not materialize. The causes were often a poor understanding of the opportunities and risks involved by private sector participation in a complex sector, as well as inadequate framework conditions. This contributed to catalyzing public attention on the role for private sector participation in developing and managing water systems, as well as more generally on the conditions under which water services can be provided safely, affordably and sustainably. It also led to rapid changes in the forms of private sector involvement, towards less risky contracts (service, management contracts and greenfield projects), the emergence of new actors (local and regional), and a growing recognition of alternative small-scale and very often informal private providers.

Past difficulties have contributed to revealing the complexities of the water sector:

i) High fixed costs coupled with long-term irreversible investments and relatively inelastic demand tend to make it a monopolistic sector in which competition is difficult to introduce and regulation plays a central role.

ii) Water is a basic need. Water quality and access have important externalities affecting health, gender equality and the environment. These justify a public policy interest.

iii) The responsibility for water and sanitation service provision often rests with local authorities. Nevertheless, the importance of the externalities, of taking into account the full water cycle and of optimizing economies of scale requires an integrated approach to development and management of water infrastructure and service provision.

iv) The sector involves numerous stakeholders and suffers from segmentation

of responsibilities notably across government tiers and public agencies.

v) Investors in the water and sanitation sector are faced with commercial risk, contractual risk, foreign-exchange risk, sub-sovereign risk, arbitrary political interferences, and complex pricing policies with multiple objectives, such as cost recovery, economic efficiency, environmental objectives, equity and affordability.

vi) Long-term relationships, limited competition and irreversibility of infrastructure and technology may expose the sector to risks, particularly of capture by vested interests.

Focusing solely on the private vs. public dimension of operators might be misleading for two main reasons. First, the obstacles to water and sanitation infrastructure development are largely unrelated to ownership. Secondly, the "private sector" accommodates a large variety of actors. These include, not only the large networked utilities run by international corporations, but also local and small-scale actors and a continuum of partnerships between private operators, public actors and communities. Most systems are increasingly hybrid and rarely either purely public or purely private. The partnerships are also in effect multi-stakeholder arrangements as they involve, in addition to the "private" entity, different tiers of governments, the consumers and the communities. Consequently, they can hardly be reduced to a face-to-face relationship between a homogenous public entity and a single private actor, but can rather be seen in practice as tripartite partnerships.

The R&D of the business enterprise (private) sector includes all resident corporations, including companies incorporated under the laws and all other types of quasi-corporations that would make a profit or any other profit for their owners.

Developing local capacity and implementing state-of-the-art desalination technologies through providing financial and logistical support are required. Arab Governments should provide generous support to help develop and pilot test new desalination technologies, such as Forward Osmosis powered by solar and wind energies. This can be done by awarding local and regional universities with funds and generous scholarships to research and test the applicability of the new technologies. Some countries (e.g., Saudi Arabia) have large allocations for science and technology initiatives. It is still a challenge to see how local universities will be able to convert their intellectual research ideas to high-value economic assets. Arab Governments should offer financial support to allow the establishment of desalination training centers. The governments in partnership with local companies should build and equip such centers. The Saline Water Conversion Corporation (SWCC) in Saudi Arabia has the only desalination focused training center in the region. In addition, the Arab Water Council is spearheading capacity building by establishing the Arab Water Academy (AWA) and the Arab Desalination Technology Network to facilitate networking, capacity building, and cooperation among desalination experts in Arab countries (Bushnak, 2010).

7. Conclusions and future directions

7.1. Conclusive Remarks

In this report, a thorough investigation of current brackish water status, treatment methods and use are demonstrated. It is well known that the region is a water stress region so looking at every opportunity for sustainable water supplies is the utmost priority considering the food security problem as well, so the region can be sustainable in terms of water and food security. This study discussed the direct use of brackish water for irrigation as well as the possibility of desalination brackish water for agricultural and drinking purposes. A detailed presentation of the current desalination technologies is presented together with the selection criteria of the appropriate technology for a given challenge. Both energy requirements and environmental impact played a role in hindering the wide use of brackish water desalination, however the report presented membrane distillation and forward osmosis as a promising solution that can overcome the traditional drawback of the well-established desalination technologies especially in terms of energy saving as well as brine disposal.

Furthermore, the report provided some guidelines for proposed policy directions in terms of capacity building, technology localization and partnership between private sector, public sector and other parties of interest.

7.2. Future directions

The following actions are suggested to make brackish water a more sustainable source of irrigation water:

1. It is recommended for the governments to consider brackish irrigation as good agricultural practices. Brackish water therefore can be part of the governments' national policies and strategic integrated lands and water resources development plans.
2. Government might as well perform area mapping for high brackish water potential identifying their economic feasibility and considering different hydrological and environmental factors. This should be coupled with developing knowledge base and technical and institutional capacity building.
3. Concerted efforts by regional organizations are needed to strengthen regional cooperation and applied research in brackish water development. Possible areas of cooperation include capacity building activities, data and information sharing, and establishing knowledge hubs to support individuals and organizations working in brackish water management and utilization.
4. Pilot scale brackish water projects could be financed and constructed at potential areas to demonstrate new technologies utilizing indigenous regional knowledge.

5. It is recommended for new desalination plants to reduce energy consumption and reduce carbon footprint per unit water produced. Arab Governments might set a maximum limit on water carbon emissions to achieve this.

6. Implement newly developed solar powered desalination technologies for small and large systems. Arab based technical solutions and products for solar desalination and cogeneration can provide a strong economic base for many countries in the region. Arab countries need to plan for exporting solar power for their future prosperity as much as they rely on oil and gas exports today.

7. It is recommended that the Governments provide generous support to private investments in R&D, training, high technology venture capital, and knowledge based local industries. Such support should be integrated to achieve desired national local economic outcomes and meet export targets in strategic industries like desalination and solar power.

8. Arab countries might develop joint R&D programs in desalination and renewable energy such as wind, solar, and possibly wave and tidal power. Such programs would maximize the value of new ideas and research findings emerging from new institutional knowledge centers.

References

Ali M. El-Nashar, Darwish Al Gobaisi,and Bushara Makkawi (2007), "Solar Energy for Desalination in the Arab World" , springer nature, Vol I-Vol V.

Beltrán, J. M., & Koo-Oshima, S. (2004). Water desalination for agricultural applications. FAO.

Buros, O. K. (1990). The ABCs of Desalting (Second Edition). Topsfield, Massachusetts: International Desalination Association.

Bushnak, A. A. (2010). Desalination (Arab environment: Water No. 8). Beirut, Lebanon: Arab Forum for Environment and Development.

E. Ali (2017), Energy efficient configuration of membrane distillation units for brackish water desalination using energy analysis, Chem. Eng. Res. Des.

Elimelech, M. (2007). Yale constructs forward osmosis desalination pilot plant. Membrane Technology, 2007(1), 7-8.

ESCWA. (2009). Role of Desalination in Addressing Water Scarcity (Water Development No. 3). New York: United Nations Economic and Social Commission for Western Asia.

FAO (2011), Agriculture and Water Quality Interactions: A Global Overview, FAO, Rome, Italy.

FAO (2023), Guidelines for brackish water use for agricultural production in the Near East and North Africa region, FAO, Cairo, Egypt.

Fatma A. Atia, Safaa M. Soliman and Maher A. El Shewiy (2010), Development of Groundwater Strategy for Use of Brackish Groundwater in Egypt.

Hani Sewilam, Peter Nasr (2015), "Desalinated Water for Food Production in the Arab Region", springer, DOI: 10.1007/978.

Kim, S. J., Ko, S. H., Kang, K. H., & Han, J. (2010). Direct seawater desalination by ion concentration polarization. Nature Nanotechnology, 5(4), 297-301.

Krishna, H. (2004). Introduction to desalination technologies. Texas Water Development Board.

Lenntech. (2014). Reverse Osmosis Desalination: Brine disposal. Retrieved April 11, 2014.

M.A. Dawoud (2019), Sustainable Brackish Ground Water Use in the Arab Region.

Ma, W.; Mao, Z.; Yu, Z.; Mensvoort, M.E.F.V.; Driessen, P.M.J.(2008), Effects of saline water irrigation on soil salinity and yield of winter wheat—Maize in North China Plain. Irrig. Drain. Syst. 22, 3-18.

Mayer, T. M., Brady, P. V., & Cygan, R. T. (2010). Nanotechnology Applications to Desalination: A Report for the Joint Water Reuse & Desalination Task Force. Sandia National Laboratories.

Phuntsho, S. (2012, January). A novel fertiliser drawn forward osmosis desalination for fertigation (Doctoral of Philosophy Thesis). University of Technology, Sydney (UTS), New South Wales, Australia.

Rahil, M.; Hajjeh, H.; **(2013)**, Qanadillo, A. Effect of Saline Water Application through Different Irrigation Intervals on Tomato Yield and Soil Properties. Open J. Soil Sci. 3, 143–147.

Selim, T.; Berndtsson, R.; Persson, M.; Somaida, M.; El-Kiki, M.; Hamed, Y.; Mirdan, A.; Zhou, Q. **(2012)**, Influence of geometric design of alternate partial root-zone subsurface drip irrigation (APRSDI) with brackish water on soil moisture and salinity distribution. Agric. Water Manag. 103, 182–190.

Takeshi Matsuura, Dipak Rana, Mohamed Rasool Qtaishat, Gurdev Singh (2005), Recent advances in membrane science and technology in seawater desalination – with technology development in the middle east and Singapore. Water and waste water treatment technologies- ©Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).

UNDP. (2013). Water governance in the Arab region: managing scarcity and securing the future. USA.

USGS (2014), USA National Groundwater Assessment Report.

Vijay N. Jagannathan, Ijay Jagannathan, Ahmed Shawky Mohamed, Alexander Kremer (2009), "Water in the Arab World Management Perspectives and Innovations", Washington, DC 20433.

Waleed Al-Zubari (2014), "Synthesis Report on Groundwater Governance Regional Diagnosis in the Arab Region, Groundwater Governance: A Global Framework for Action, Regional Consultation".

World Bank (2009). Water in the Arab World: Management Perspectives and Innovation, Middle East and North Africa (MENA) Region, NW Washington, DC 20433, USA.

World Bank. (2012). Renewable Energy Desalination: An Emerging Solution to Close the Water Gap in the Middle East and North Africa. Washington DC, USA: World Bank.

Xiaoxuan Zhu, Yangjiu Liu, Fa Du, Jitian Han, Guangyu Hao, Liangie Li, Qingzhao Ma (2021), Geothermal direct contact membrane distillation system for purifying brackish water, Desalination.

Zhao, S., Zou, L., Tang, C. Y., & Mulcahy, D. (2012). Recent developments in forward osmosis: Opportunities and challenges. Journal of Membrane Science, 396, 1–21.

مرفق (6)

مقترح برنامج تدريبي

تنمية قدرات المسؤولين والكوادر الفنية الحكومية على استخدام تكنولوجيا المعلومات الجغرافية المكانية لسد الفجوات في البيانات ودعم إتخاذ القرار في قطاعي المياه والزراعة

1- الخلفية

تمثل المياه والزراعة قطاعان حيويان ضروريان لضمان الأمن الغذائي وسبل العيش والتنمية الاقتصادية في المنطقة العربية. وتواجه المنطقة تحديات كبيرة في هذين القطاعين، خاصة فيما يتعلق بندرة المياه نتيجة نقص الموارد المائية المستدامة، التي تتفاقم بسبب تأثيرات التغير المناخي، وتزايد الطلب على المياه من القطاعات المختلفة. بالإضافة إلى ذلك، يعتبر نقص البيانات الشاملة والموثوقة عائقا رئيسيا في هذين القطاعين، مما يؤثر على عمليات اتخاذ القرارات وصياغة السياسات الفعالة المستندة إلى الأدلة.

وللتعامل مع هذه التحديات، يمثل التقدم في مجال بيانات المراقبة الأرضية، وتكنولوجيا المعلومات الجغرافية المكانية، والحوسبة السحابية فرصة يمكن أن تساعد في سد هذه الفجوة في البيانات وتقديم معلومات مفيدة لرصد وإدارة وتقييم موارد المياه والزراعة. وللاستفادة الفعالة من التقدم التكنولوجي في تلك المجالات، من الضروري تنمية القدرات الفنية للمسؤولين الحكوميين المختصين بالعمل على جمع وتحليل البيانات، ومن ثم معالجة النتائج وتحليلها لدعم متخذي القرار في قطاعي المياه والزراعة على المستوى الوطني.

وادراكا لأهمية تلك التكنولوجيا، أوصت اللجنة الفنية المشتركة رفيعة المستوى للمياه والزراعة (HLJTC) التابعة لجامعة الدول العربية (LAS)، والتي تدعمها الأمانة الفنية المشتركة للمجلس الوزاري المشترك للمياه والزراعة بجامعة الدول العربية، والمكونة من الأمانة الفنية للمجلس الوزاري العربي للمياه والمنظمة العربية للتنمية الزراعية، بالتعاون مع المكتب الإقليمي للشرق الأدنى وشمال افريقيا لمنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو)، واللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي اسيا (الإسكوا)، في اجتماعها الرابع في 18 أكتوبر 2022، بضرورة تنمية القدرات للدول العربية على استخدام بيانات المراقبة الأرضية وتكنولوجيا المعلومات الجغرافية المكانية والاستفادة منها، بجانب مصادر البيانات الأخرى، للمساهمة في سد الفجوات في البيانات في قطاعي المياه والزراعة.

وبناء على ذلك، أوصت اللجنة بتطوير القدرات الوطنية على استخدام والاستفادة من تكنولوجيا المعلومات الجغرافية المكانية الحديثة مع التركيز على الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية للتغلب على تحدي نقص البيانات ودعم اتخاذ القرار لإيجاد حلول لمشكلات المياه والزراعة. بالإضافة إلى ذلك، دعت اللجنة الفنية المشتركة رفيعة المستوى للمياه والزراعة الشركاء إلى دعم هذه المبادرة .واستجابة لهذا الدعوة، أعدت منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة مقترح برنامج تدريبي لتعزيز وتنمية المعرفة والمهارات لدى المسؤولين الحكوميين المعنيين حول إمكانات الحوسبة السحابية والاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية للوصول إلى معلومات أفضل ودعم اتخاذ القرار في قطاعي المياه والزراعة في منطقة العالم العربي. ويشمل البرنامج التدريبي موضوعات مثل الحوسبة السحابية وتحليلات بيانات الاستشعار عن بعد في مجال المحاسبة المائية، ومراقبة النباتات والمحاصيل، وتقدير انتاجية المحاصيل الزراعية، وتقييم تأثير تغير المناخ. ويهدف البرنامج التدريبي المقترح للمسؤولين الحكوميين المعنيين في الدول الأعضاء إلى تمكينهم من الوصول إلى البيانات المنتجة بواسطة تكنولوجيا الاستشعار عن بعد ومعالجتها وتحليلها وتفسيرها، وادراجها في أنظمة المعلومات الخاصة ببلدانهم، ودعم اتخاذ القرارات وصياغة السياسات المتعلقة بإدارة المياه والزراعة، للمساهمة في التنمية المستدامة لبلدانهم.

2- أهداف البرنامج التدريبي المقترح

الهدف الرئيسي من هذا البرنامج التدريبي هو تعزيز المعرفة والقدرات لدى المسؤولين الحكوميين العاملين المعنيين في قطاعي المياه والزراعة بالعمل على جمع وتحليل البيانات متضمنة بيانات رصد الأرض وتكنولوجيا المعلومات الجغرافية المكانية، مع التركيز بشكل خاص على تحليلات وتطبيقات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية بغية الحصول على معلومات مفيدة تساهم في إدارة موارد المياه والزراعة بشكل أفضل.

وتتلخص الأهداف التفصيلية للبرنامج في الآتي:

- إطلاع المشاركين على أحدث التطورات في مجال رصد البيانات الأرضية.
- توضيح كيفية الاستخدام الأمثل للمواقع الإلكترونية الخاصة بالبيانات المتعلقة بقطاعي المياه والزراعة التي تم إنتاجها بواسطة الاستشعار عن بعد، بالإضافة إلى التعريف بكيفية الحصول على تلك البيانات للإستفادة منها ودمجها في أنظمة المعلومات الوطنية المتعلقة بإدارة المياه والأمن الغذائي.
- إستعراض وتوضيح أمكانيات وكيفية عمل منصات الحوسبة السحابية وأدوات نظم المعلومات الجغرافية ذات الصلة، مع التركيز على قدراتها في تحليلات البيانات الجغرافية والاستشعار عن بعد من أجل التطبيقات المتعلقة بقطاعي المياه والزراعة.
- التعريف بمفاهيم وأطر المحاسبة المائية والمراقبة باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد.
- التعريف بطرق مراقبة الغطاء النباتي والمحاصيل وتقدير الإنتاج باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد.
- تقييم تأثيرات تغير المناخ ورصد الجفاف باستخدام البيانات ذات الصلة.
- تزويد المشاركين بالمهارات والمعرفة اللازمة لتدريب الآخرين بفعالية.
- توفير الفرص لتواصل المشاركين مع الخبراء في هذا المجال، والتعاون وتبادل الخبرات والتجارب مع المشاركين من بلدان أخرى.

3- البرامج ومصادر البيانات الخاصة بالبرنامج التدريبي المقترح

من أجل استدامة البرنامج التدريبي، سيتم تصميمه بالاعتماد على البرمجيات والبيانات مفتوحة المصدر حتى يتسنى للمشاركين الوصول اليها بعد الأنتهاء من الدورات التدريبية المتخصصة. ومن ثم لن تكون هناك قيود أو رسوم ترخيص للوصول إلى هذه الموارد، وستكون متاحة للمشاركين أثناء وبعد البرنامج التدريبي.

4- الكوادر الفنية المستهدفة والمؤهلات المطلوبة للمرشحين

يستهدف البرنامج التدريبي الكوادر الفنية العاملة بالادارات الحكومية في قطاعي المياه والزراعة التي تختص بجمع وتحليل البيانات الإحصائية والجغرافية لإنتاج تقارير ومنتجات معرفية (مؤشرات، وخرائط، وإحصاءات، الخ) لدعم متخذي القرار المسؤولين عن إدارة موارد المياه والزراعة.

المؤهلات المطلوبة للمرشحين للإلتحاق بالبرنامج التدريبي:

- **المؤهلات التعليمية:** يجب أن يكون لدى المرشحين/المرشحات خلفية أكاديمية تتعلق بعلم الهيدرولوجيا، أو الري، أو الزراعة، أو النباتات، أو أي مجال آخر ذو صلة.
- **المعرفة بمجال تكنولوجيا رصد الأرض:** يجب أن يكون لدى المرشحين/المرشحات فهم للمبادئ الأساسية لمجال الإستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية.
- **إجادة اللغة:** يجب أن يتقن المرشحون/المرشحات اللغة الإنجليزية.
- **مهارات الكمبيوتر:** يجب أن يتمتع المرشحون/المرشحات بمهارات الكمبيوتر الأساسية، بما في ذلك إجادة استخدام برامج ميكروسوفت أوفيس وتصفح الإنترنت وإدارة الملفات، فيما يعتبر الإلمام بمجال البرمجة ميزة إضافية.
- **التفرغ:** يجب أن يكون المرشحون/المرشحات متاحين للمشاركة في دورات التدريب الأساسية والمتخصصة للبرنامج التدريبي.
- **الخبرة العملية:** يجب أن يكون لدى المرشحين/المرشحات بعض الخبرة العملية في إدارة وتحليل البيانات المكانية/الإحصائية في مجالات المياه والزراعة ضمن وزاراتهم المعنية.

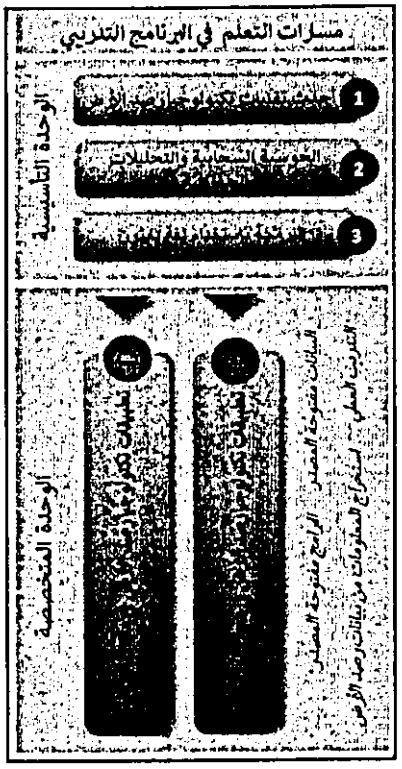
5- إختيار المشاركين في البرنامج التدريبي المقترح

سوف يتم التنسيق بواسطة الأمانة الفنية المشتركة، التي تتألف من الأمانة الفنية لمجلس وزراء المياه العربي والمنظمة العربية للتنمية الزراعية، مع الدول لتلقي ترشيحاتهم بحيث تقوم كل دولة بترشيح أربعة مرشحين/مرشحات من قطاع المياه وأربعة مرشحين/مرشحات من قطاع الزراعة، ما يجعل مجموع المرشحين ثمانية، ومن خلال المفاضلة بين المرشحين سيتم اختيار أثنان فقط من كل قطاع

للمشاركة في البرنامج التدريبي. هذا، وسوف تقوم الأمانة الفنية المشتركة بدعوة منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) للمشاركة في عملية إختيار المرشحين استنادًا إلى مؤهلات المرشحين السالف ذكرها.

6- هيكل البرنامج التدريبي المقترح

يتكون البرنامج التدريبي من مسارين للتعلم، حيث يتألف كل مسار من وحدتين تدريبيتين؛ الوحدة التأسيسية والوحدة المتخصصة، كما هو موضح أدناه:



شكل 1: هيكل البرنامج التدريبي

الوحدة التدريبية التأسيسية

تحتوي الوحدة التدريبية التأسيسية، التي تستهدف جميع المشاركين من قطاعي المياه والزراعة، على الأسس النظرية والتقنية للحصول على بيانات رصد الأرض ذات الصلة بقطاعي المياه و الزراعة، ومن ثم معالجتها وتحليلها بواسطة تكنولوجيا الحوسبة السحابية والبرامج المتخصصة مثل Google Earth Engine وQGIS وPython. وستتضمن وحدة التدريب التأسيسية المواضيع التالية:

- أحدث تقنيات تكنولوجيا رصد الأرض
- الحوسبة السحابية والتحليلات الجغرافية
- البرمجة بإستخدام لغة بايثون

وتعتمد الوحدة المتخصصة للتدريب على الأنتهاء من وإجتياز وحدة التدريب التأسيسية، وتتفرع إلى مسارين، أحدهما خاص بقطاع الموارد المائية والأخر خاص بالزراعة، ويمكن تلخيص مسارات وحدة التدريب المتخصصة على النحو التالي:

الوحدة التدريبية المتخصصة (أ) - إدارة موارد المياه وإتخاذ القرار بدعم من تطبيقات المحاسبة المائية وأطر الحوكمة

تختص هذه الوحدة بالتدريب على تعزيز إدارة الموارد المائية من خلال التحليل المنهجي للبيانات المبنية على الاستشعار عن بعد عن طريق الأقمار الصناعية، وذلك للتطبيقات الخاصة بموارد المياه واستخداماتها، مع عمل بدائل لتحصيص المياه، وتقييم المسارات المستقبلية من أجل الأستخدام المستدام للمياه. ومن خلال الربط بين أطر المحاسبة المائية وإدارة المياه، يكتسب المشاركون فهمًا عميقًا للسياق الأوسع للحوكمة والنفقات والتشريعات والاقتصاديات المتعلقة بإدارة المياه. ويعزز هذا النهج الشامل عملية صنع القرار القائمة على الأدلة ووضع السياسات المناسبة، بما يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة. بعد الانتهاء من هذا المسار التدريبي، سيكون المشاركون قادرين على:

- فهم الأهداف الأساسية وأطر المحاسبة المائية، وتطبيقاتها المتنوعة في إدارة الموارد المائية.
- فهم الإطار الأساسي للمحاسبة السريعة للمياه (Rapid Water Accounting) ، بما في ذلك حساب ميزانيات المياه.
- التعرف على أحد أطر عمل المحاسبة المائية وتطبيقات التقنيات المتقدمة باستخدام برمجة Python لحساب نماذج ميزانيات المياه وتقييمها، من خلال التحليل المنهجي للبيانات المبنية على الاستشعار عن بعد عن طريق الأقمار الصناعية.
- أكتساب الخبرة اللازمة للتعامل مع البيانات المفتوحة المصدر، والبنية التحتية للبيانات المكانية، والبيانات التعريفية، والجوانب الخاصة بمشاركة البيانات.
- تعلم كيفية إجراء تحليل بيانات إدارة المياه، وتحديد العلاقة بين المحاسبة المائية، والتحصيص العادل للمياه.
- فهم كيفية إجراء تحليل أصحاب المصلحة، ومقارنة استراتيجيات المشاركة، وتطوير أساليب الاتصال الفعالة لسياقات متنوعة.
- فهم الإدارة المتكاملة للموارد المائية، وإجراء تقييم نقدي لأنظمة المياه المستدامة، وفهم الروابط بين المحاسبة المائية والحوكمة والتدخلات المقترحة.

الوحدة التدريبية المتخصصة (ب) - إدارة الموارد الزراعية وإتخاذ القرار بدعم من تطبيقات تحسين إنتاجية المياه

تختص هذه الوحدة بالتدريب على فهم الأبعاد المتعددة لإنتاجية المياه في قطاع الزراعة، متجاوزًا المقاييس التقليدية لإنتاجية المحاصيل الزراعية ليشمل العوامل الاجتماعية والاقتصادية، والاستخدام الفعال للموارد، والآثار المترتبة على السياسات. ويزود هذا المسار المشاركين بالمهارات اللازمة لاستخدام البيانات مفتوحة المصدر المبنية على الاستشعار عن بعد عن طريق الأقمار الصناعية، والتقنيات المتقدمة لحساب المؤشرات المتنوعة المتعلقة بإنتاج المحاصيل الزراعية. وبتوجيه وإرشاد من الخبراء المختصين، سيكتسب المشاركون المهارات اللازمة لأستخدام أنظمة المعلومات الجغرافية (GIS) ولغة برمجة Python لإجراء تحليلات لحساب إنتاجية المياه وكفاءة الري. بالإضافة إلى ذلك، سوف يكتسب المشاركون الخبرة اللازمة لتحديد المناطق الجغرافية ذات الإنتاجية العالية للمحاصيل والإنتاجية العالية للمياه، مع الكشف عن فرص تحسين إنتاج المحاصيل وإدارة الموارد. علاوة على ذلك، سيكتسب المشاركون المعرفة اللازمة لتعزيز الممارسات الزراعية المستدامة. بعد الانتهاء من هذا المسار التدريبي، سيكون المشاركون قادرين على:

- التعرف على مفهوم إنتاجية المياه وأهميتها في الزراعة المستدامة.
- التعمق في فهم العلاقة بين الأمن الغذائي وإنتاجية المياه.
- التعرف على مفاهيم إنتاجية المياه البيوفيزيائية (الفيزيائية الحيوية)، و إمكانية تعزيزها وتحسينها.
- تقييم العوامل المؤثرة على إنتاجية المياه البيوفيزيائية (الفيزيائية الحيوية) باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد.
- شرح وتحليل ومراقبة إنتاجية المياه الاقتصادية، والعوامل المرتبطة بها التي تؤثر على هذا النوع من إنتاجية المياه.
- فهم الروابط بين الأنواع المختلفة لإنتاجية المياه وصلتها بالسياسات الزراعية.

7- المخرجات المتوقعة من البرنامج التدريبي المقترح

تتلخص المخرجات التي من المتوقع أن يساهم البرنامج التدريبي في انجازها، كما يلي:

- تعزيز القدرات القيادية الفنية لدى المسؤولين الحكوميين المختصين في البلدان الأعضاء في قطاعي المياه والزراعة على استخدام البيانات الجغرافية المكانية وتقنيات رصد الأرض، في محاولة لسد الفجوات في البيانات المتاحة في قطاعي المياه والزراعة.
- تعزيز معرفة المشاركين على تطبيق المعرفة والمهارات المكتسبة حديثًا في أعمالهم اليومية، واستخراج المعلومات الجغرافية المكانية، ودعم عملية اتخاذ القرار، باستخدام تقنيات رصد الأرض.
- تحسين جمع البيانات وإدارتها وتحليلها في قطاعي المياه والزراعة.
- إثراء الأنظمة المعلوماتية الوطنية ببيانات ذات صلة بموارد المياه والزراعة مستنتجة بواسطة تكنولوجيا الأستشعار عن بعد.
- تحسين عملية صنع القرار وصياغة السياسات القائمة على الأدلة في قطاعي المياه والزراعة.

8- كيفية تنفيذ البرنامج التدريبي المقترح

ستقوم منظمة الأغذية والزراعة (الفاو)، بتكليف مؤسسة/هيئة فنية رائدة لتطوير برنامج التدريب والمواد التدريبية. وسيتألف برنامج التدريب من عدة دورات تدريبية، حيث سيتم التركيز في كل دورة على مجموعة من البلدان العربية بناءً على أسبقية الطلبات التي تأتي من الدول. ستستوعب الدورات التدريبية للوحدة التأسيسية ما يصل إلى خمسة دول في كل دورة تدريبية، مع ترشيح مشاركين اثنين من كل قطاع في كل من الخمس دول (إجمالي عشرون متدرب لكل دورة تدريبية). وبعد الانتهاء من وحدة التدريب التأسيسية وإجتيازها بنجاح من قبل المشاركين، سيتم تنظيم الدورات التدريبية المتخصصة في مسارين أثنين للتدريب، والتي ستركز حصريًا على قطاع المياه والزراعة مع ترشيح اثنين من المشاركين من كل قطاع في كل بلد (إجمالي عشرة متدربين لكل مسار). سيتم تنفيذ الدورات التدريبية بعدة طرق منها المحاضرات عبر الإنترنت، ودورات التعلم الذاتي، والجلسات العملية وجهاً لوجه مع الخبراء.

9- دعم البرنامج التدريبي المقترح

سيقوم شركاء التنمية لجامعة الدول العربية والدول الراغبة في الإنضمام للبرنامج التدريبي بالمشاركة في تغطية تكاليف البرنامج التدريبي معاً. ونتيجة محدودية الموارد المالية، فإن مستوى الدعم المقدم من شركاء التنمية للدول المشاركة سيختلف حسب الوضع الاقتصادي للدولة، كما هو موضح أدناه:

الجهة	التكاليف				
	التعاقد مع الجهة المنفذة للتدريب	إعداد المادة العلمية	مكان إنعقاد الدورات التدريبية	السفر	الإقامة
تغطية التكاليف من قبل شركاء التنمية	(٧)	(٧)	(٧)	(٧) للمشاركين من الدول ذات الدخل المتوسط والمنخفض	(٧) للمشاركين من الدول ذات الدخل المتوسط والمنخفض
تغطية التكاليف من قبل الدول ذات الدخل المرتفع	-	-	-	(٧)	(٧)

مرفق (7)

مقترح

اضافة بند خامس لجدول أعمال اللجنة الفنية المشتركةرفيعة المستوى للزراعة والمياه

مسمى البند

تعزيز صمود قطاعي الزراعة والمياه في مواجهة آثار التغيرات المناخية

خلفية:

يؤكد العديد من التقارير الدولية والإقليمية والوطنية أن المياه والزراعة من بين القطاعات الأكثر عرضة لتأثير التغيرات المناخية في المنطقة العربية مع ما يترتب عن ذلك من مضاعفات اقتصادية واجتماعية ونتائجمباشرة وغير مباشرة على الأمن والإستقرار . فإذا كانت الطاقة محور آليات التخفيف من آثار التغيرات المناخية، فالمياه والزراعة هي المدخل للتكيف والصمود في مواجهة هذه الآثار والحد منها.

وإذا كان تضمين الاستعداد لمواجهة التغيرات المناخية عابرا للقطاعات ، الا أن تعزيز الصمود يختلف من قطاع لآخر. وإن كانت التوقعات تظهر أن هناك اختلافا في طبيعة وحدة الظواهر المناخية من جفاف وفيضانات بين مختلف الدول العربية ، فالقواسم المشتركة كثيرة والتعاون العربي في مواجهتها مدخل لتعزيز صمود القطاعين.

فما نعرفه اليوم من الناحية العلمية عن الإجراءات العملية الكفيلة برفع منعة وصمود القطاعين تجاه التغيرات المناخية كثير مع الإقرار في نفس الوقت بأن هناك فجوة معرفية وحاجة الى مزيد من البحث والإبتكار ، الا أن هناك حاجة الى تفغيل وتنفيذ الإجراءات الإحترازية وتسريع الانتقال الذي يعزز منعة وصمود القطاعين بما يتواءم والظروف المناخية المتوقعة على الصعيد المحلي والوطني الإقليمي. ولن يتأتى ذلك إلا من خلال تبادل الخبرات بين الدول ووضع صمود الزراعة والمياه ضمن إطار التعاون العربي نظرا للطبيعة العبرة للحدود التي تميز الظواهر المناخية وبالتالي فالحلول لا يمكن إلا أن تكون اقليمية.

الهدف من إدراج البند

1. الإطلاع على السياسات المناخية واستراتيجيات الوطنية والإقليمية لدعم صمود قطاعي المياه والزراعة في الدول العربية
2. تبادل الخبرات حول قصص النجاح والتجارب الرائدة وعوامل النجاح أو أسباب الإخفاق في وضع مشاريع تهدف الى تعزيز المنعة والصمود
3. الإطلاع على الحلول التكنولوجية والإبتكار في الأطر المؤسسية الكفيلة بنجاح مشاريع تعزيز صمود القطاعين ومدى استدامتها
4. الستفادة من تجارب الدول التي استطاعت الحصول على تمويل مبتكر يسرع التحول المطلوب لقطاعي الزراعة والمياه من خلال مصادر وطنية ،عربية أو دولية.