المعالجة اللامركزية لمياه الصرف الصحي: دراسة تحليلية لإمكانية التطبيق في ليبيا

د. منال سالم علي أبومداس الفيتوري أ. عبد المنعم مصطفي الجارح الفاخري

د. مريم محمد جابر أ. رجعة فرج سعيد المشيطي

الهيئة الليبية للبحث العلمي

المستخلص:

تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف إمكانيات تطبيق أنظمة المعالجة اللامركزية لمياه الصرف الصحي في ليبيا، حيث تُعد هذه الأنظمة من الحلول المستدامة للمناطق النائية التي تفتقر إلى البنية التحتية للصرف الصحي. حيث تركز الدراسة على الفوائد البيئية والاقتصادية لهذه الأنظمة، مثل تحسين جودة المياه، الحد من التلوث، وخفض تكاليف التشغيل مقارنةً بالأنظمة التقليدية. وتعتمد على تحليل بيانات محلية وإحصاءات عالمية، مع الاستفادة من تجارب ناجحة في دول مثل الولايات المتحدة والهند والأردن والمغرب. حيث تعاني المناطق الريفية في ليبيا من غياب الصرف الصحي المركزي، مما يسبب تلوث المياه الجوفية وانتشار الأمراض. وتوفر أنظمة المعالجة اللامركزية حلولًا أكثر ملاءمة لهذه المناطق، حيث تتيح إدارة المياه محليًا بطرق مستدامة، مما يسهم في تحسين الصحة العامة وتعزيز الاستدامة البيئية والاقتصادية. كما تُظهر التجارب الدولية نجاح هذه الأنظمة في ظروف مشابهة، إذ طبقتها الهند في المناطق الريفية ذات الكثافة السكانية المنخفضة، مما حسن جودة المياه وخفف الضغط على الشبكات المركزية. كذلك، استفاد الأردن والمغرب من هذه الأنظمة في المناطق النائية، متغلبين على التحديات التقنية والمالية من خلال استراتيجيات ملائمة لظروفهم المحلية. وفي الختام، تقدم الدراسة توصيات استراتيجية لليبيا لاعتماد هذه الأنظمة، وتشمل تطوير سياسات داعمة، تأمين التمويل، وزيادة الوعي المجتمعي. كما تشدد على أهمية التعاون بين الجهات الحكومية والمنظمات الدولية لضمان نجاح التطبيق الفعّال لهذه الحلول.

الكلمات المفتاحية: المعالجة اللامركزية، مياه الصرف الصحي، المناطق الحضرية والريفية، تلوث المياه، الاستدامة الاقتصادية.

1. المقدمة:

مع تزايد الضغوط على موارد المياه العذبة وتفاقم تلوث مياه الصرف الصحي، باتت الحاجة ملحة إلى اعتماد تقنيات معالجة مياه مستدامة وفعالة. وهنا اصبحت أنظمة المعالجة اللامركزية تمثل إحدى هذه الحلول المبتكرة، حيث تعتمد على تقنيات متقدمة لمعالجة المياه على مستوى محلي، وبعيدًا عن الأنظمة المركزية التقليدية التي تتطلب بنية تحتية مكلفة ومعقدة .(Libralato et al., 2022) تتميز هذه الأنظمة بأنها أكثر مرونة، وتناسب بشكل خاص المناطق الريفية والنائية التي تفتقر إلى شبكات الصرف الصحي المركزية، كما أنها تقلل من تكاليف التشغيل والصيانة مقارنة بالأنظمة المركزية. .(United States Environmental Protection Agency, 2021)

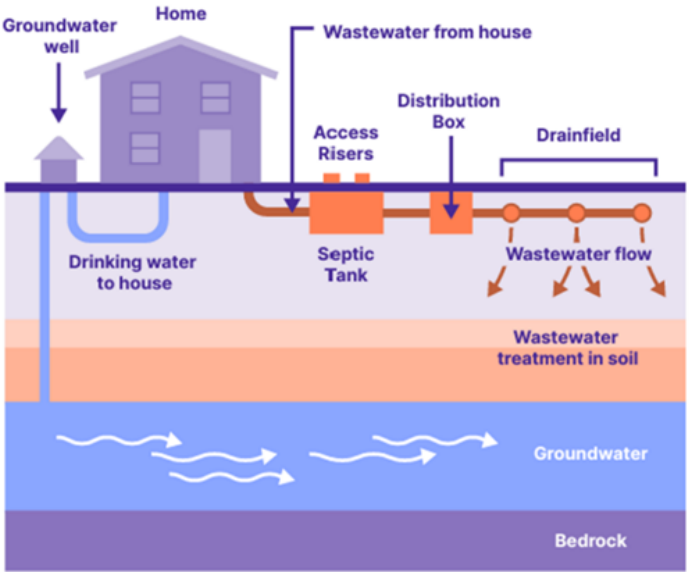
ويلاحظ في ليبيا، ان المناطق الريفية والنائية تعاني من غياب كبير للبنية التحتية الأساسية للصرف الصحي، حيث يعتمد نحو 65% من السكان في هذه المناطق على أنظمة بدائية مثل الحفر الامتصاصية، مما يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية وانتشار الأمراض المرتبطة بتلوث المياه.(Ministry of Planning, 2022) ، وكذلك مع تزايد الكثافة السكانية في بعض المناطق الريفية وندرة الموارد المائية، تمثل أنظمة المعالجة اللامركزية خيارًا مستدامًا لتحسين إدارة موارد المياه بطرق أكثر كفاءة .(World Health Organization, 2020) ومن الاطلاع على الدراسات والتجارب السابقة تبين ان المعالجة اللامركزية نجحت في العديد من الدول حول العالم، مثل الولايات المتحدة والهند والمغرب والأردن، حيث تقدم هذه الأنظمة حلولًا مرنة يمكن تكييفها لتتناسب مع احتياجات المجتمعات المحلية .(Gupta et al., 2019) بالإضافة إلى فوائدها البيئية، فإن هذه الأنظمة توفر أيضًا حلاً اقتصاديًا، إذ تتطلب استثمارات أقل مقارنة ببناء وصيانة البنية التحتية التقليدية. وفي هذا السياق، توفر أنظمة المعالجة اللامركزية في ليبيا حلاً واعدًا للمناطق التي تعاني من ضعف البنية التحتية للصرف الصحي.(UNESCO, 2020)

وقد اشارت الأدلة إلى أن تطبيق هذه الأنظمة قد يسهم في تحسين الظروف الصحية والبيئية بشكل ملحوظ، حيث يساعد في تقليل تلوث المياه وتحسين جودة الحياة (EPA, .(2021كما أن المرونة التي توفرها هذه الأنظمة تجعلها مثالية للاستخدام في المناطق التي تعاني من اضطرابات أو نقص في التمويل اللازم لتطوير البنية التحتية (United .Nations Environment Programmed, 2021)

2. المشكلة:

تواجه ليبيا تحديات كبيرة في قطاع الصرف الصحي، وخاصة في المناطق الريفية والمناطق الحضرية غير المخدومة بشكل جيد، مما يضطر السكان إلى الاعتماد على أنظمة غير فعالة مثل الحفر الامتصاصية لإدارة مياه الصرف الصحي. ويؤدي ذلك إلى تسرب الملوثات إلى المياه الجوفية و الشكل (1) يبين ذلك، وهذا يؤدي لتدهورًا في البيئة المحلية وانتشارًا للأمراض المرتبطة بتلوث المياه مثل الإسهال والتيفوئيد (World Bank, 2021) . بالاضافة لذلك تشير التقديرات إلى أن أكثر من 60% من سكان المناطق الريفية والمناطق الحضرية ذات البنية التحتية الضعيفة في ليبيا يعتمدون على هذه الحلول التقليدية، ما يزيد من المخاطر الصحية ويؤثر سلبًا على جودة التربة التي يعتمد عليها الكثير من السكان في الزراعة كمصدر رئيسي للرزق.

وفي ضوء ضعف أو غياب البنية التحتية المركزية للصرف الصحي في العديد من المناطق الليبية وصعوبة توفير محطات المعالجة التقليدية بسبب التكلفة العالية ومتطلبات الصيانة المستمرة، تبرز أنظمة المعالجة اللامركزية كحل مستدام ومناسب للبيئة الليبية. إذ أن هذه الأنظمة توفر إمكانية معالجة مياه الصرف الصحي محليًا، مما يقلل من الحاجة إلى استثمارات ضخمة في البنية التحتية، ويساهم في تحسين الصحة العامة ويحد من التلوث البيئي (Gupta et al., 2019).



الشكل (1) يبين كيفية التسرب لمياة الصرف الصحي للمياة الجوفية.

3. الاهمية:

تعتبر أنظمة المعالجة اللامركزية لمياه الصرف الصحي حلولًا مبتكرة ومرنة في مواجهة التحديات المتعلقة بإدارة الموارد المائية في ليبيا، حيث تعاني البلاد من نقص حاد في البنية التحتية للصرف الصحي في كل من المناطق الحضرية والريفية. و مع تدني مستوى خدمات الصرف الصحي وارتفاع معدلات تلوث المياه، تُبرز هذه الأنظمة كأداة فعّالة لتحسين إدارة المياه والحد من الأثر البيئي السلبي، في ظل التحديات البيئية والاقتصادية الحالية(World Bank, 2021) اضافة الي ذلك تعتبر هذه الأنظمة فرصة لتعزيز التنمية المستدامة من خلال استعادة مياه الصرف الصحي المُعالجة للاستخدام الزراعي والصناعي، مما يُساعد في الحفاظ على الموارد المائية العذبة. وتُشير التقديرات إلى أن أكثر من 80% من الموارد المائية المتاحة في ليبيا تُستخدم لأغراض الزراعة، مما يُعزز الحاجة إلى حلول بديلة تُقلل من الفاقد المائي الناتج عن الأنظمة التقليدية(World Bank, 2021) . وتكمن الأهمية الاقتصادية لأنظمة المعالجة اللامركزية في تقليل تكاليف إنشاء وصيانة البنية التحتية الضخمة المرتبطة بأنظمة الصرف المركزي، وهذا يجعلها مناسبة للمناطق ذات الكثافة السكانية المنخفضة والعالية على حد سواء (Gupta et al., 2019) ، كما تُسهم هذه الأنظمة في تحسين جودة البيئة من خلال تقليل التلوث الناتج عن تصريف مياه الصرف غير المعالجة، وهو ما يُعزز صحة المجتمعات ويُقلل من الأمراض المرتبطة بتلوث المياه(EPA, 2021) .

علاوة على ذلك، يعزز استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة الاستخدام المستدام للموارد المائية ويُساعد في مواجهة تحديات تغير المناخ، الذي يؤدي إلى تفاقم ندرة المياه. حيث إن تطوير أنظمة المعالجة اللامركزية في ليبيا يُعد خطوة حيوية نحو تحقيق الأهداف البيئية والاقتصادية، ويُمثل حلاً فعّالًا من حيث التكلفة يلبي احتياجات جميع المجتمعات، سواء كانت حضرية أو ريفية(Libralato et al., 2022) .

ومن هنا تتبين اهمية استخدام نظام معالجة مياه الصرف الصحي اللامركزية ويتضح أن له العديد من الفوائد والمزايا لاستخدامه ومنها ما يلي:

- تصميم معياري بإمكانيات للتكيف مع تكاليف الأعمال المدنية المنخفضة.
- تصميم مستدام، يحسن الطاقة والمساحة الأرضية.
- المعالجة الآمنة والفعالة مع التخفيف من التلوث والمخاطر الصحية المحتملة المرتبطة بمياه الصرف الصحي.

4. المنهجية**:**

تسعى هذه الدراسة إلى فهم مدى إمكانية تطبيق أنظمة المعالجة اللامركزية لمياه الصرف الصحي في ليبيا، من خلال تحليل شامل للمصادر العلمية والبيانات المتاحة. حيث انطلقت الدراسة بتحليل تقارير دولية ودراسات حالات تطبيقية ناجحة من دول تواجه تحديات جغرافية وديموغرافية شبيهة بليبيا، مثل الأردن والمغرب والهند والولايات المتحدة، حيث توفر هذه التجارب رؤى قيمة حول الآليات الممكنة للتطبيق. وتم تعزيز هذه المعرفة بتحليل بيانات إحصائية محلية ودراسات ميدانية في المناطق الريفية الليبية، وذلك بهدف فهم احتياجات المجتمع المحلي وإنتاج مياه الصرف الصحي. كما أُجريت مقابلات مع خبراء محليين ودوليين في مجال إدارة الموارد المائية والصرف الصحي، مما أتاح إضفاء بُعد إنساني على الدراسة من خلال الاستماع إلى وجهات نظر وتوصيات العاملين في هذا المجال، وتحديد الفرص والتحديات التي قد تواجه تطبيق هذه الأنظمة في الواقع الليبي.

5. طرق المعالجة اللامركزية:

توجد العديد من الطرق للمعالجة اللامركزية لمياه الصرف الصحي واهمها ما يلي:

5.1 أنظمة الترشيح النباتي:

تعتمد أنظمة الترشيح النباتي على استخدام النباتات المائية لتنقية مياه الصرف الصحي من الملوثات الكيميائية والبيولوجية. وتتم هذه العملية عن طريق تمرير المياه الملوثة عبر بيئة طبيعية تحتوي على نباتات مائية معينة مثل القصب والبردي، حيث تعمل الجذور على امتصاص العناصر الضارة وتحويلها إلى مواد غير ضارة. وتمتاز أنظمة الترشيح النباتي بقدرتها العالية على معالجة المياه بفعالية، حيث تسهم في تقليل مستويات النيتروجين والفوسفور. وتشير الإحصائيات إلى أن هذه الأنظمة يمكن أن تحقق 90% من إزالة المواد الضارة (EPA، 2020). اضافة لذلك تُستخدم هذه الأنظمة بكفاءة في القرى الريفية في الأردن والهند، وتظهر الدراسات أن أنظمة الترشيح النباتي قادرة على إزالة حوالي 90% من المواد الصلبة العالقة و70% من النيتروجين من مياه الصرف الصحي(Vymazal, 2011) .

مكونات نظام الترشيح النباتي:

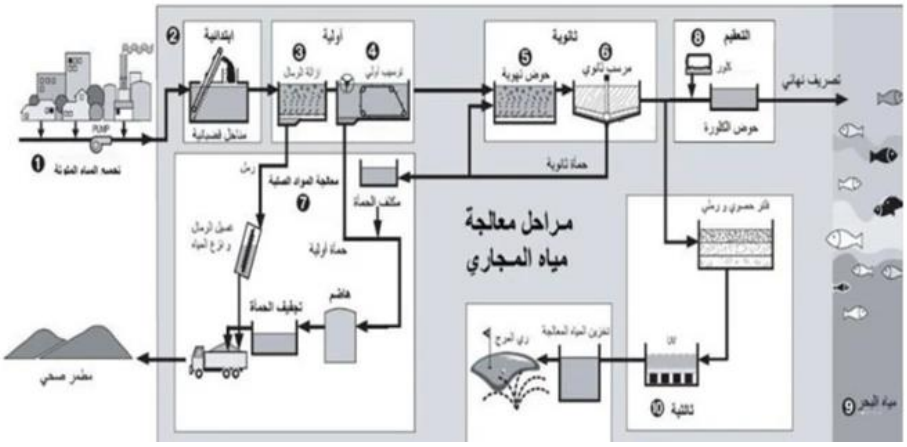
- **الأحواض المائية: حيث يتم زراعة النباتات.**
- **طبقات الترشيح: تتكون من مواد مثل الرمل والحصى لتسهيل تصفية المياه.**

5.2 أنظمة الحمأة النشطة اللامركزية:

حيث تستخدم أنظمة الحمأة النشطة اللامركزية كفاءة عالية في إزالة الملوثات، وتتمتع بقدرة عالية على معالجة الأحمال العضوية. ويمكن أن تصل كفاءة المعالجة إلى 98%. فأنظمة الحمأة النشطة تعتمد على عملية بيولوجية حيث يتم تحويل المواد العضوية في مياه الصرف الصحي إلى مواد غير ضارة باستخدام البكتيريا. ويتم تمرير المياه عبر حوض يحتوي على كميات كبيرة من الأكسجين مما يسمح للبكتيريا بأداء وظيفتها في تكسير المواد العضوية. ويعتبر هذا النظام أكثر تعقيدًا من الأنظمة الأخرى ويتطلب مراقبة دقيقة لضمان كفاءة العملية. كما تشير الأبحاث إلى أن هذا النظام يمكن أن يحقق كفاءة تصل إلى 98% في إزالة المواد العضوية (Tchobanoglous et al., 2014). والشكل (2) يبين مراحل معالجة مياة الصرف الصحي.

مكونات نظام الحمأة النشطة اللامركزية:

- **خزانات التحليل: حيث تتم معالجة المياه.**
- **مضخات الهواء: لتوفير الأكسجين للبكتيريا.**



الشكل (2) يوضح مراحل معالجة مياه الصرف الصحي

5.3 وحدات المعالجة اللامركزية بالطاقة الشمسية:

تعتبر وحدات المعالجة باستخدام الطاقة الشمسية حلاً مبتكرًا، مما يساهم في توفير الطاقة وتقليل التكاليف. وتستخدم هذه الأنظمة الطاقة الشمسية لتشغيل وحدات المعالجة المدمجة، وهي عبارة عن وحدات صغيرة يمكن تثبيتها في المناطق الريفية والنائية. وتُعد هذه الوحدات مناسبة للمناطق التي تعاني من نقص في البنية التحتية للكهرباء. وقد تم تطبيق هذا النظام بنجاح في عدة مناطق في الولايات المتحدة مثل ولاية فيرمونت، حيث حققت الوحدات توفيرًا يصل إلى 30% في استهلاك الطاقة مقارنة بالأنظمة التقليدية (EPA, 2020) .

مكونات النظام:

- **الألواح الشمسية: لتوليد الطاقة.**
- **وحدات المعالجة: لتنقية المياه.**

وتعد المعالجة المناسبة لمياه الصرف الصحي عنصراً أساسياً لضمان الصحة العامة واستدامة الموارد المائية وحماية البيئة الطبيعية، حيث تؤثر هذه العوامل بشكل مباشر على الرفاه الاقتصادي والاجتماعي للمجتمعات المحلية (UN-HABITAT, 2020) . وتتطلب إدارة مياه الصرف الصحي اللامركزية التركيز على عدة أهداف رئيسية تساهم في تعزيز التنمية المستدامة وتحسين نوعية الحياه و الجدول رقم (1) يبين الانظمة المستخدمة في بعض الدول و تكلفتها وكذلك ني توفر المياه. ويعتبر اهم هذه العوامل التنمية المستدامة حيث يتطلب الوصول إلى بنية تحتية متكاملة لمياه الصرف الصحي التوافق مع المعايير البيئية التي تضمن مجتمعات صحية ومتوازنة اجتماعيًا. اضافة الي ذلك يجب أن تكون هذه الأنظمة قادرة على دمج الأبعاد البيئية والاجتماعية والاقتصادية.(Zhang et al., 2019) ، وكذلك الصحة العامة وحماية البيئة فمن الضروري توفير أنظمة فعالة لجمع ومعالجة مياه الصرف الصحي، مما يساهم في حماية الصحة العامة وتقليل التلوث البيئي. كل هذا يتماشى مع الالتزامات الدولية المتعلقة بإدارة الموارد المائية وأهداف التنمية المستدامة (WHO, 2018) بالإضافة لمواجهة شح المياه حيث يجب العمل على تحسين كفاءة استخدام المياه في مختلف القطاعات لضمان استدامة استخراج المياه وتزويدها، مما يقلل من عدد الأفراد الذين يعانون من نقص المياه.(Müller et al., 2021)

الجدول (1) يبين العلاقة بين الانظمة المستخدمة في بعض الدول وتكلفتها وكذلك في توفر المياه.

الدولة	نوع النظام اللامركزي	التكلفة المقدرة	النسبة
الهند	وحدات ترشيح بيولوجية	500,000دولار أمريكي	35%
الولايات المتحدة	أنظمة طاقة شمسية وترشيح بيولوجي	1,200,000دولار أمريكي	30%
الأردن	أحواض نباتية	300,000دولار أمريكي	25%
المغرب	مصافي نباتية	400,000دولار أمريكي	20%

المصدر: تقرير منظمة الصحة العالمية (WHO) 2018.

6. الدراسة والتحليل:

تشير البيانات إلى أن أكثر من 60% من السكان في المناطق الريفية في ليبيا يعتمدون على حلول بديلة وغير فعالة لإدارة مياه الصرف الصحي. ويُظهر الجدول (2) المناطق الريفية ونسبة الوصول إلى أنظمة الصرف الصحي.

جدول (2) يبين نسبة الوصول إلى أنظمة الصرف الصحي في المناطق الريفية الليبية.

المنطقة	نسبة الوصول إلى الصرف الصحي
المنطقة الشرقية	20%
المنطقة الجنوبية	15%
المنطقة الغربية	25%

المصدر: مصلحة الإحصاء والتعداد في ليبيا. (2020).

كذلك تظهر البيانات الموجودة في الجدول رقم (2) الحاجة الملحة لإيجاد حلول معالجة مياه فعالة ومنخفضة التكلفة.

6.1 أمثلة دولية ناجحة:

1. **الهند**: تعتبر الهند من الدول الرائدة في تطبيق أنظمة المعالجة اللامركزية لمياه الصرف الصحي، خاصة في المناطق الريفية. ففي ولاية كيرالا، تم تنفيذ أنظمة

معالجة تعتمد على وحدات ترشيح بيولوجية صغيرة وفعالة تعتمد على العمليات الطبيعية، مثل الترشيح عبر التربة ومعالجة الأكسدة البيولوجية. وهذه الأنظمة أثبتت نجاحها في تحسين جودة المياه وتقليل التلوث في المناطق التي تفتقر إلى البنية التحتية المركزية(Al-Ahmad & Al-Ghawi, 2019) .

2. **الولايات المتحدة:** حيث تم تطبيق أنظمة معالجة لامركزية الولايات المتحدة، خاصة في المناطق الريفية مثل ولاية فيرمونت، واستخدمت تقنيات مبتكرة مثل الترشيح البيولوجي والطاقة الشمسية. فعلى سبيل المثال، في ولاية كيرالا، تم تركيب نظام معالجة لامركزي يعتمد على النباتات لتصفية المياه وتقديم حلول بيئية وصديقة للتكاليف (Al-Ahmad & Al-Ghawi, 2019). وساهم هذا النظام في توفير مياه معالجة صالحة للاستخدام الزراعي وتجنب تلوث المياه الجوفية. اضافة لذلك يعد مشروع "Eco-Machine" في ماساتشوستس، من أحد أبرز الأمثلة هو الذي يعالج مياه الصرف باستخدام النباتات والكائنات الدقيقة عبر محطات معالجة صغيرة الحجم. وأثبت هذا النظام فعاليته في توفير مياه معالجة آمنة للاستخدام الزراعي، مما ساهم في تحسين كفاءة إدارة المياه(EPA, 2020) .

3. كندا: حيث تم استخدامها في مدينة فانكوفر، تم تنفيذ مشروع معالجة مياه الصرف باستخدام وحدات معالجة متقدمة تعتمد على تكنولوجيا الحمأة المنشطة. حيث ساعدت هذه الأنظمة في تقليل التكاليف بنسبة 50% وزيادة كفاءة المعالجة إلى 98%، مما أدى إلى تحسين صحة السكان وتخفيف الضغط على محطات المعالجة المركزية (Vancouver Coastal Health، 2021).

6.2 أمثلة عربية ناجحة:

1. **الأردن:** تم تنفيذ مشروع معالجة لامركزي في قرية عين البيضا بالشمال، حيث تم بناء نظام يعتمد على تقنيات طبيعية لمعالجة مياه الصرف الصحي باستخدام الأحواض النباتية. ويوفر هذا النظام مياه معالجة تُستخدم في الزراعة المحلية، مما يخفف الضغط على مصادر المياه العذبة. اضافة لذلك يعتبر هذا المشروع مثالاً ناجحًا على كيفية تقديم حلول مستدامة للمجتمعات الريفية التي تفتقر إلى خدمات الصرف الصحي المركزي(Al-Ahmad & Al-Ghawi, 2019) ، وكذلك تم استخدامها بنجاح في في مخيمات اللاجئين في الأردن، حيث تم استخدام أنظمة الحمأة النشطة. حيث تم تركيب وحدات صغيرة لمعالجة مياه الصرف

الصحي، مما أدى إلى تحسين جودة المياه وتوفير 60% من تكاليف التشغيل مقارنةً بالأنظمة التقليدية (UN-Habitat، 2020). واستفاد اللاجئون من تحسن الظروف الصحية، وتم توفير فرص عمل للشباب في صيانة وتشغيل هذه الأنظمة.

2. **المغرب:** حيث تعتبر منطقة الرحامنة في المغرب، تم تطبيق أنظمة معالجة لامركزية تعتمد على تقنيات الترشيح البيولوجي والمصافي النباتية. ويسهم هذا النظام في معالجة مياه الصرف الصحي واستخدامها في الري، مما يقلل من استخدام المياه العذبة ويوفر حلاً بيئيًا واقتصاديًا مستدامًا(UNDP, 2023) .

ومن خلال كل هذه التجارب الدولية تظهر أهمية وفاعلية أنظمة المعالجة اللامركزية في مواجهة التحديات المرتبطة بإدارة مياه الصرف الصحي. ويمكن أن تسهم هذه الأنظمة في تحسين الظروف الصحية والبيئية، وتعزيز الاستدامة في إدارة الموارد المائية. اضافة الي تحليل هذه الأنظمة وتطبيقها في السياق الليبي، يمكن أن نكون قد وضعنا خطوات ملموسة نحو مستقبل أفضل للأجيال القادمة. حيث إن الاستفادة من هذه الأمثلة الدولية يمكن أن يوفر لليبيا حلولاً عملية تتناسب مع احتياجاتها الخاصة وتحدياتها الفريدة. ويتضح ان المعالجة اللامركزية لمياه الصرف الصحي وادارتها بشكل فعال تساهم إلى حد كبير في التخفيف من حدة شح المياه، حيث تساهم بدعم المصادر المائية حوالي 64 مليون متر مكعب في السنة. بالإضافة الى حماية مصادر المياه الجوفية وترسيخ التحسن المعيشي للمجتمعات التي لا يمكن أن تخدمها نظم معالجة مياه الصرف الصحي المركزية بسبب القيود الفنية والمالية.

6.3 الوضع الحالي لشبكات الصرف الصحي في ليبيا:

تعاني ليبيا من عدم كفاية البنية التحتية المركزية حيث تملك ببنية تحتية متواضعة لشبكات الصرف الصحي، خصوصاً في المدن الكبرى مثل طرابلس وبنغازي. غير أن هذه الشبكات تواجه ضغوطًا كبيرة بسبب التزايد السكاني وتدهور الشبكات بسبب النزاعات السياسية وانعدام الاستثمارات في قطاع البنية التحتية. بحسب تقارير البنك الدولي، وتعتمد حوالي 30% فقط من المدن الكبيرة في ليبيا على أنظمة الصرف الصحي المركزية والجدول (2) يبين ذلك ، بينما يعتمد باقي المناطق الحضرية والريفية على أنظمة غير رسمية أو بدائية ، مع العلم ان معظم الشبكات الحالية تعاني من الإهمال وعدم الصيانة، مما يؤدي إلى تدهور الخدمة وانبعاث الروائح الكريهة وتلوث البيئة المحيطة (البنك الدولي، 2021)، أما المناطق الثانوية فتشير التقارير إلى أن 40% من

الأسر في هذه المدن تواجه مشكلات تتعلق بالصحة العامة بسبب عدم كفاءة أنظمة الصرف الصحي (UN-Habitat، 2020).

الجدول (2) يبين نسب التغطية منظومة الصحي لبعض المدن الليبية ونسب التلوث.

المدينة	نسبة تغطية الصرف الصحي	نسبة التلوث في المياه الجوفية	التعليقات
طرابلس	35%	60%	تغطية جيدة ولكن بحاجة للصيانة
بنغازي	25%	75%	نسبة تغطية منخفضة
الزاوية	20%	70%	نقص في البنية التحتية
مصراتة	%30	65%	مشاكل في إدارة الشبكة

المصدر: مؤسسة المياه والبيئة الليبية .(2021) .تقرير حالة البنية التحتية للصرف الصحي والمياه الجوفية في المدن الليبية .الهيئة العامة للمياه، ليبيا.

6.4 طرق المعالجة الحالية لمياه الصرف الصحي في ليبيا:

تستخدم ليبيا في كافة مدنها أنظمة المعالجة التقليدية وأنظمة الحفر الامتصاصية والجدول رقم (3) يوضح مقارنة بينهما.

الجدول (3) يبين المقارنة بين انظمة المعالجة التقليدية وأنظمة الحفر الامتصاصية.

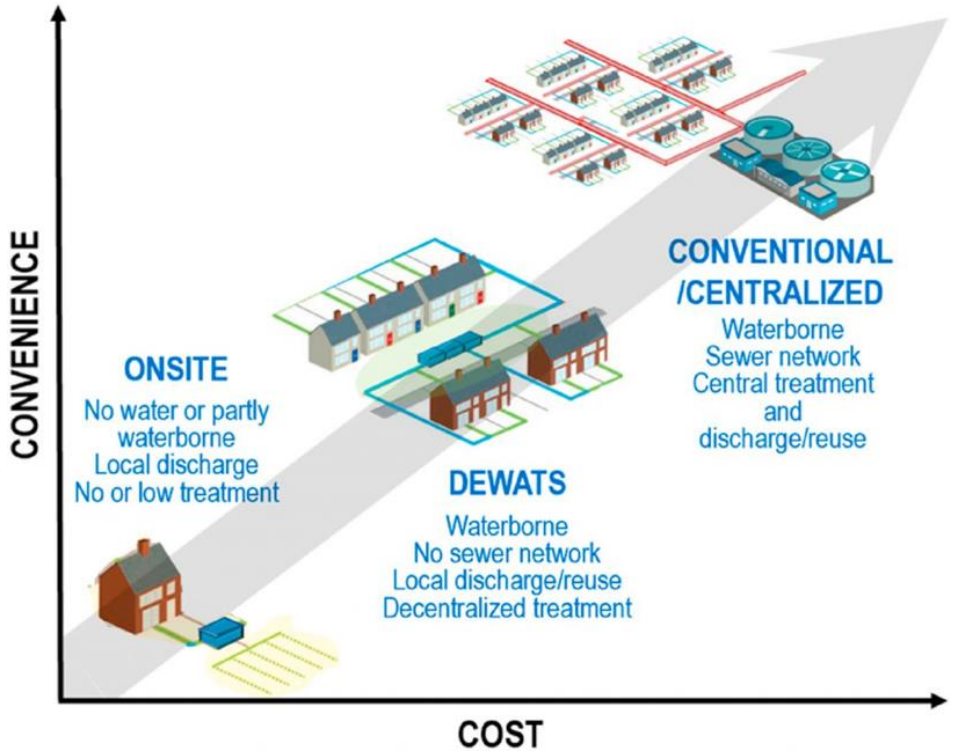
	أنظمة المعالجة التقليدية	أنظمة الحفر الامتصاصية
خطوات المعالجة	• التصفية الأولية: يتم فيها إزالة المواد الصلبة العالقة باستخدام الشباك والمصافي. • المعالجة البيولوجية: يتم فيها استخدام البكتيريا لتحليل المواد العضوية. • التصفية النهائية: يتم فيها إزالة المواد الصلبة المتبقية.	• حيث يتم حفر حفرة لاستيعاب مياه الصرف
المشاكل والصعوبات	• فقدان الكفاءة: إذ تشير الدراسات إلى أن كفاءة معالجة المواد العضوية لا تتجاوز 60% في بعض المحطات (البنك الدولي، 2021).	• التسرب: يؤدي تسرب المياه من هذه الحفر إلى تلوث المياه الجوفية بنسبة تصل إلى 70% (وزارة التخطيط، 2022). • عدم القدرة على التعامل مع الأحمال الزائدة: في فترات

	أنظمة المعالجة التقليدية	أنظمة الحفر الامتصاصية
	• الاعتماد على مصادر الطاقة: تحتاج هذه الأنظمة إلى كميات كبيرة من الطاقة، مما يزيد من تكاليف التشغيل. • تأثيرات بيئية سلبية: تؤدي الانبعاثات الناتجة عن عمليات المعالجة إلى تلوث الهواء والمياه.	الأمطار الغزيرة، يمكن أن تتجاوز الأحمال قدرة النظام، مما يؤدي إلى فيضانات وتلوث.

6.4 جدوى استخدام المعالجة اللامركزية في ليبيا:

تعتبر المعالجة اللامركزية حل فعال للمناطق الريفية والنائية حيث تعد خيارًا مثاليًا للمناطق الريفية التي تفتقر إلى بنية تحتية مركزية فتوفر حلولاً مرنة يمكن تطبيقها على مستوى محلي دون الحاجة إلى استثمارات ضخمة في إنشاء بنية تحتية جديدة. كما أن هذه الأنظمة يمكن أن تُدار بشكل مستقل في القرى الصغيرة أو المجتمعات المحلية، مما يخفف العبء عن الحكومات المحلية التي تعاني من نقص التمويل (Tilley et al., 2014) ، بالإضافة لأنها تدعم الاستدامة البيئية والاقتصادية والشكل (3) يبين العلاقة بين النظام و التكلفة ، ونجد ايضا ان المعالجة اللامركزية تتيح فرصة لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الري والزراعة، مما يقلل من استهلاك المياه العذبة ويعزز الاستدامة الزراعية. اضافة لأنها تحسن الكفاءة وتقلل التكاليف وتتوائم مع الظروف المحلية فيمكنها ان تعمل بشكل جيد في المناطق ذات الكثافة السكانية المنخفضة، حيث يمكن تصميمها لتلبية الاحتياجات المحلية بالإضافة لأنها تعمل بشكل أقل على استهلاك الطاقة، مما يقلل من التكاليف البيئية والمالية. اضافة لذلك يمكن أن يؤدي ذلك إلى تعزيز الاستدامة بأهمية إدارة مياه الصرف، و تشير الدراسات إلى أن إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة يمكن أن يغطي حوالي 30% من احتياجات الزراعة في المناطق الجافة مثل ليبيا(World Bank, 2021). وهذا يمكن أن يخفف من ضغوط ندرة المياه ويقلل من الاعتماد على الموارد المائية الجوفية. ويجب ايضا التنويه لأنها تقليل التلوث فهي تعتمد على تقنيات متعددة مثل الترشيح النباتي وأنظمة الحمأة النشطة، التي أثبتت كفاءتها في إزالة الملوثات الكيميائية والبيولوجية. حيث يمكن لهذه الأنظمة أن تحد من تلوث المياه الجوفية والبيئة المحيطة في المناطق التي تعتمد على الحفر الامتصاصية. وقد أثبتت تجارب في دول مثل الأردن

والهند أن هذه الأنظمة فعالة في تقليل التلوث بنسبة تصل إلى 70-90% من الملوثات البيئية الخطرة(Vymazal, 2011) .



الشكل (3) يبين العلاقة بين نظام الصرف والتكلفة.

7. النتائج:

1. تشير هذه الدراسة إلى أن ليبيا تعاني من بنية تحتية متواضعة لشبكات الصرف الصحي، حيث أن حوالي 30% فقط من المدن الكبرى مثل طرابلس وبنغازي تعتمد على أنظمة صرف صحي مركزية. اما باقي المناطق الحضرية والريفية تعتمد بشكل كبير على أنظمة غير رسمية أو بدائية. كما تواجه الشبكات الحالية ضغوطًا كبيرة نتيجة للتزايد السكاني والتدهور الناجم عن النزاعات السياسية، مع انعدام الاستثمارات اللازمة في قطاع البنية التحتية.
2. أظهرت الدراسة أن معظم الشبكات الحالية تعاني من الإهمال وعدم الصيانة، مما يؤدي إلى تدهور الخدمة وانبعاث الروائح الكريهة وتلوث البيئة المحيطة. كما تشير البيانات إلى أن نسبة التغطية في بعض المدن مثل بنغازي (25%) والزاوية

(20%) منخفضة بشكل كبير مقارنة بالمعايير الدولية هذه المشكلات أدت إلى تدهور نوعية الخدمة وزيادة نسبة التلوث البيئي في المناطق الحضرية.

3. كشفت الدراسة عن تلوث كبير في المياه الجوفية بسبب عدم كفاءة أنظمة الصرف الصحي، حيث أن نسبة التلوث في المياه الجوفية في طرابلس تصل إلى 60%، بينما تصل في بنغازي إلى 75%. كما تؤكد على أن شبكة الصرف الصحي الحالية تساهم بشكل كبير في تلوث المياه الجوفية، مما يشكل تهديدًا لصحة السكان والمجتمعات المحلية.
4. تشير البيانات إلى أن حوالي 40% من الأسر في المناطق الثانوية تواجه مشكلات صحية مرتبطة بعدم كفاءة أنظمة الصرف الصحي، بما في ذلك أمراض الجهاز الهضمي والتلوث البيئي. هذه النتائج تشير إلى الحاجة الملحة لتحسين شبكة الصرف الصحي في هذه المناطق لتقليل الأعباء الصحية.
5. أظهرت الدراسة أن أنظمة المعالجة التقليدية تواجه العديد من التحديات مثل انخفاض كفاءتها في معالجة المواد العضوية (أقل من 60% في بعض المحطات) واعتمادها على مصادر طاقة كبيرة، مما يرفع التكاليف التشغيلية. أما أنظمة الحفر الامتصاصية فتواجه مشكلة تسرب المياه إلى المياه الجوفية بنسبة تصل إلى 70%، مما يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية ويشكل خطرًا بيئيًا وصحيًا. يسلط الضوء على ضرورة تحديث هذه الأنظمة للحد من تأثيراتها البيئية.
6. أظهرت الدراسة أن المعالجة اللامركزية تشكل حلًا مثاليًا للمناطق الريفية والنائية التي تفتقر إلى بنية تحتية مركزية. حيث يمكن لهذه الأنظمة توفير حلول مرنة ومناسبة للظروف المحلية دون الحاجة إلى استثمارات ضخمة. وتعزز هذه الأنظمة الاستدامة البيئية والاقتصادية عن طريق إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة، مما يقلل من استهلاك المياه العذبة ويعزز الاستدامة الزراعية. علاوة على ذلك، يمكن للأنظمة اللامركزية أن تساهم في تقليل التلوث البيئي، حيث أثبتت الدراسات في دول مثل الأردن والهند فعالية هذه الأنظمة في تقليل التلوث بنسبة تصل إلى 70-90%.
7. تؤكد الدراسة على أن الأنظمة اللامركزية تتيح فرصًا لتحسين الكفاءة وتقليل التكاليف. من خلال تقليل استهلاك الطاقة وتقليل تكاليف التشغيل، وتساهم هذه الأنظمة في تقليل الضغط المالي على الحكومات المحلية. كما توفر هذه الأنظمة فرصًا لتوظيف العمالة المحلية في إنشاء وتشغيل وصيانة المحطات الصغيرة. كما

سيسهم هذا في تحسين المستوى المعيشي في المناطق الريفية وتعزيز التنمية الاقتصادية.

8. تشير الدراسة إلى أن إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة يمكن أن يغطي حوالي 30% من احتياجات الزراعة في المناطق الجافة. يمكن أن يسهم هذا في تخفيف ضغوط ندرة المياه ويقلل من الاعتماد على الموارد المائية الجوفية، مما يعزز الاستدامة في قطاع الزراعة.

8. التوصيات:

1. **إعداد وتنفيذ استراتيجية وطنية متكاملة** لتطبيق أنظمة المعالجة اللامركزية في المناطق الريفية والنائية، مع مراعاة الخصائص الجغرافية والديموغرافية لكل منطقة، وضمان استدامتها من خلال الدعم التشريعي والمالي والفني.
2. **إطلاق مشروعات تجريبية بالتعاون بين القطاعين العام والخاص**، مع التركيز على المناطق الأكثر احتياجًا مثل الجنوب الليبي والشمال الشرقي، بهدف تقييم فعالية التقنيات المستخدمة وإمكانية تعميمها على نطاق أوسع.
3. **تطوير خطة وطنية شاملة لتطبيق أنظمة المعالجة اللامركزية**، تشمل تحديد الأولويات وفقًا لمستوى العجز في البنية التحتية، وكذلك إجراء دراسات جدوى تفصيلية، ووضع معايير لتقييم الأداء البيئي والاقتصادي لهذه الأنظمة.
4. **تعزيز الشراكات بين الجهات الحكومية والمنظمات الدولية والقطاع الخاص** لدعم الابتكار في تقنيات المعالجة اللامركزية، وذلك لضمان نقل المعرفة والتدريب المستمر للكوادر المحلية، بما يساهم في تحسين استدامة المشاريع وكفاءتها التشغيلية.
5. العمل علي دمج الأنظمة اللامركزية في استراتيجية إدارة الموارد المائية الوطنية حيث انه يمكن أن يساعد في تحسين توزيع الموارد المائية.

6. المراجع:

1) **منظمة الصحة العالمية، &اليونيسيف** .(2015) *تقرير متابعة خدمات مياه الشرب والصرف الصحي والنظافة الصحية* (التحديث 2015). منظمة الصحة العالمية .
https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2020/04/WHOUNICEF-Joint-Monitoring-Program-for-Water-Supply-and-Sanitation-JMP-%E2%80%93-2015-Update_AR.pdf

2) **مؤسسة المياه والبيئة الليبية** .(2021) *تقرير حالة البنية التحتية للصرف الصحي والمياه الجوفية في المدن الليبية* .الهيئة العامة للمياه، ليبيا.

3) **مصلحة الإحصاء والتعداد في ليبيا** .(2020) *.التقرير السنوي للبنية التحتية في ليبيا* .مصلحة الإحصاء والتعداد الليبي-https://water.fanack.com/ar/libya/water-quality-in-libya .

4) WHO (World Health Organization). (2018). Water, Sanitation and Hygiene in Health Care Facilities: Status in Low- and Middle-Income Countries.
5) Alemayehu, T., H. S., & Abebe, S. (2020). Challenges and Opportunities in Urban Wastewater Management in Ethiopia. Water Research, 172, 115560.
6) UNESCO. (2020). Water and Sanitation in Developing Countries. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
7) UN-HABITAT. (2020). The Role of Water and Sanitation in the Sustainable Development Goals.
8) WHO (World Health Organization). (2020). Water, Sanitation and Health: Challenges and Opportunities.
9) EPA (Environmental Protection Agency). (2019). Water Quality Standards Handbook. United States Environmental Protection Agency.
10) Government of India. (2019). Decentralized Wastewater Treatment in Rural Areas: A Case Study. Ministry of Water Resources.
11) Gupta, S., Arora, D., & Bhatt, R. (2019). Decentralized Wastewater Treatment in Rural India: Opportunities and Challenges. Water Science & Technology, 80(2), 298-305.
12) Otoo, M., et al. (2019). Decentralized Wastewater Treatment Systems for Resource Recovery: A Review. Resources, Conservation and Recycling, 147, 121-132.
13) Graham, J. P., et al. (2021). Community Participation in Water and Sanitation Programs. Journal of Environmental Management, 276, 111392.
14) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press.

15) EPA (Environmental Protection Agency). (2021). Decentralized Wastewater Treatment Systems: A Green Infrastructure Approach. United States Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov
16) Müller, M., et al. (2021). The Role of Water Efficiency in Urban Water Management. Sustainable Cities and Society, 74, 103194.
17) UNEP (United Nations Environment Programme). (2021). Sustainable Wastewater Management in Rural Areas.
18) World Bank. (2021). Water Resources and Management in Libya: Addressing the Challenges of Scarcity.
19) Kumar, S., et al. (2022). Public-Private Partnerships in Urban Water Supply: An Analysis of Policy and Practice. Water Resources Management, 36(1), 15-30.
20) Libralato, G., Ghirardini, A. V., & Avezzù, F. (2022). Decentralized Wastewater Treatment Systems: Environmental Sustainability and Technological Advancements. Journal of Environmental Management, 303, 114120.
21) Ministry of Planning (Libya). (2022). National Report on Water Resources and Sanitation Infrastructure in Libya.
22) World Bank. (2022). Water Security and Climate Resilience in the Middle East and North Africa.