جامعة القصيم
Qassim University
مركز التنمية المستدامة

العرض الفني والمالي

لدراسة تقييم الاستخدام المستدام للحمأة المعالجة كسماد عضوي للنباتات في المتنزهات الطبيعية: دراسة متكاملة للخصائص الكيميائية والفيزيائية والميكروبية والتطبيقات الحقلية والأثر البيئي

Integrated Assessment of Treated Sewage Sludge for Sustainable Fertilization of Vegetation in Natural Parks: Chemical, Physical, Microbial, Environmental and Field Evaluation

المقدم لشركة المياه الوطنية

إعداد وتقديم

مركز التنمية المستدامة بجامعة القصيم أحد الجهات المرخصة من ncec
فئة (مراكز الأبحاث الحكومية)
مركز بحثي رائد في التنمية المحلية المستدامة
sdc@qu.edu.sa

حاصل على جائزة القصيم للتميز والابداع
فرع التميز البيئي

جائزة القصيم للتميز والإبداع
Qassim Award For Excellence and Creativity

ESEL - 2024 - 000296

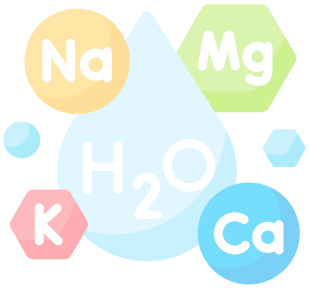
أولًا : العرض الفني

مقدمة الدراسة

تمثل الإدارة المستدامة للحمأة الناتجة عن محطات معالجة مياه الصرف الصحي أحد أهم التحديات البيئية التي تواجه العديد من دول العالم، وذلك نتيجة للزيادة المستمرة في كميات مياه الصرف الصحي المعالجة وما يصاحبها من ارتفاع في كميات الحمأة الناتجة. ومع التوسع الحضري والنمو السكاني، أصبح البحث عن حلول مستدامة لإعادة استخدام الحمأة بدلًا من التخلص منها بالردم أو الحرق ضرورة بيئية واقتصادية تتماشى مع مبادئ الاقتصاد الدائري والاستخدام الأمثل للموارد الطبيعية.

وتتميز الحمأة المعالجة باحتوائها على نسب مرتفعة من المادة العضوية والعناصر الغذائية الأساسية اللازمة لنمو النباتات، مثل النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم، إضافة إلى العديد من العناصر الصغرى الضرورية للنباتات. ولذلك أصبحت في العديد من الدول مورداً يمكن الاستفادة منه لتحسين خصوبة التربة وزيادة محتواها من المادة العضوية وتحسين خواصها الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، خاصة في الأراضي الفقيرة بالمادة العضوية.

وتشير الدراسات الحديثة إلى أن استخدام الحمأة المعالجة يساهم في تحسين بناء التربة، وزيادة السعة الحقلية للماء، وتقليل الكثافة الظاهرية، ورفع السعة التبادلية الكاتيونية، وتعزيز النشاط الميكروبي داخل التربة، الأمر الذي ينعكس بصورة إيجابية على نمو النباتات واستدامة النظام البيئي. كما أن إضافة المادة العضوية إلى التربة تؤدي إلى زيادة قدرة التربة على الاحتفاظ بالرطوبة، وهي خاصية ذات أهمية كبيرة في البيئات الجافة وشبه الجافة التي تعاني من محدودية الموارد المائية.





مقدمة الدراسة

وقد أدى التوسع العمراني والنمو السكاني المتسارع خلال العقود الأخيرة إلى زيادة كميات مياه الصرف الصحي المعالجة، مما نتج عنه ارتفاع ملحوظ في كميات الحمأة (Sewage Sludge) المنتجة من محطات المعالجة. وقد أصبحت إدارة هذه الحمأة تمثل أحد أبرز التحديات البيئية التي تواجه العديد من الدول، نظراً لما تتطلبه من وسائل آمنة ومستدامة للتخلص منها أو إعادة استخدامها. وفي المقابل، برزت إعادة استخدام الحمأة المعالجة كأحد الحلول الواعدة ضمن مفهوم الاقتصاد الدائري، لما تحتويه من نسب مرتفعة من المادة العضوية والعناصر الغذائية الأساسية للنباتات، مما يجعلها مورداً يمكن الاستفادة منه بدلًا من التخلص منه بطرق تقليدية قد تترتب عليها آثار بيئية واقتصادية سلبية (Siddiqui et al., 2023).

وتتميز الحمأة المعالجة باحتوائها على كميات كبيرة من النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم إضافة إلى العناصر الصغرى والمادة العضوية، الأمر الذي يسهم في تحسين خصوبة التربة، وزيادة قدرتها على الاحتفاظ بالمياه، وتحسين بنية التربة وخواصها الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية. وقد أظهرت المراجعة المنهجية والتحليل التلوي الذي أجراه Paganini وآخرون (2024)، والذي شمل 37 دراسة و355 مقارنة، أن إضافة الحمأة إلى التربة أدت إلى زيادة معنوية في محتوى المادة العضوية والنيتروجين والفوسفور وتحسين خصوبة التربة، مع اختلاف التأثير تبعاً لمعدلات الإضافة وظروف الموقع.

٦-٢

وعلى الرغم من هذه المزايا، فإن إعادة استخدام الحمأة لا تزال تواجه تحديات بيئية تتعلق باحتمالية احتوائها على المعادن الثقيلة والمركبات العضوية الثابتة والملوثات الناشئة، إضافة إلى احتمالية وجود مسببات الأمراض والجينات المقاومة للمضادات الحيوية، مما يستدعي إجراء تقييم شامل قبل استخدامها في التطبيقات البيئية. وفي هذا السياق، أوضح Feng وآخرون (2023) أن تقييم مخاطر المعادن الثقيلة يجب ألا يعتمد فقط على تراكيزها الكلية، بل يجب أن يشمل دراسة صورها الكيميائية (Metal Speciation) والإتاحة الحيوية للعناصر، نظراً لأن قابلية انتقالها إلى التربة والنباتات تختلف باختلاف صورتها الكيميائية.

مقدمة الدراسة

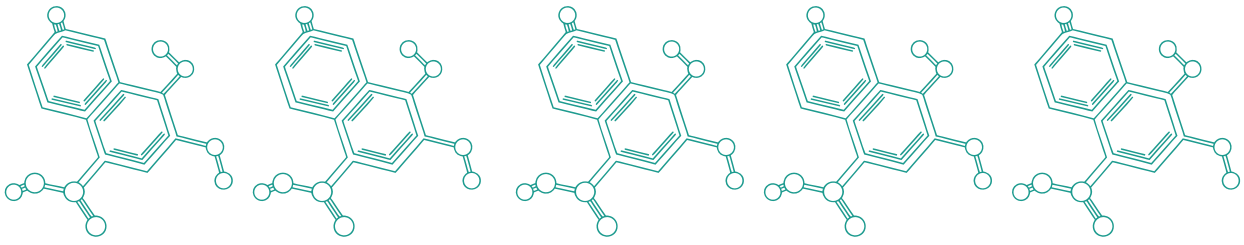
كما أظهرت الدراسات الحديثة أن مفهوم سلامة الحمأة لم يعد يقتصر على تقييم المعادن الثقيلة، وإنما أصبح يشمل الملوثات الناشئة مثل بقايا الأدوية والهرمونات، والمواد الكيميائية الصناعية، ومركبات البيرفلورو ألكيل (PFAS)، والميكروبلاستيك، والتي قد تمثل مخاطر بيئية عند الاستخدام طويل الأمد. وأكدت دراسة Pozzebon و(2023) Seifert ضرورة تضمين هذه الملوثات ضمن برامج تقييم الحمأة قبل إعادة استخدامها، خاصة في النظم البيئية الحساسة.

ومن الجوانب التي حظيت باهتمام متزايد خلال السنوات الأخيرة دراسة المحتوى الميكروبي للحمأة، إذ بينت مراجعة منشورة في مجلة(Wang et al., 2023) أن الحمأة قد تشكل خزانا للجينات المقاومة للمضادات الحيوية (Antibiotic Resistance Genes)، وهو ما يستوجب استخدام تقنيات الأحياء الجزيئية الحديثة مثل qPCR وتقنيات التسلسل الجيني (Metagenomics) للكشف عن هذه الجينات وتقييم مخاطرها البيئية قبل الاستخدام.

٦ - ٣

كما أن جودة الحمأة تعتمد بصورة كبيرة على نوع ودرجة المعالجة التي تخضع لها، حيث أوضح Ćwiertniewicz-Wojciechowska وآخرون (2023) أن طرق المعالجة المختلفة تؤثر بصورة مباشرة في استقرار الحمأة، وخفض الحمل الميكروبي، وتقليل تركيز الملوثات، الأمر الذي ينعكس على مدى ملاءمتها للاستخدام البيئي، وأوصت الدراسة بضرورة توصيف الحمأة بعد المعالجة وقبل استخدامها في أي تطبيقات حقلية.

وفي المقابل، أشارت دراسات أخرى إلى ضرورة توسيع نطاق التحاليل الكيميائية لتشمل المركبات العضوية الدقيقة، حيث أوضح (Santana-Viera et al., 2023) إمكانية وجود بقايا لبعض المركبات الدوائية في الحمأة، وأوصت باستخدام تقنيات تحليل متقدمة مثل LC-MS/MS للكشف عن هذه المركبات قبل التطبيق الحقلي، لما لها من دور في تقييم المخاطر البيئية طويلة الأمد.



مقدمة الدراسة

ورغم التقدم الكبير في مجال إعادة استخدام الحمأة في الأراضي الزراعية، إلا أن معظم الدراسات ركزت على المحاصيل الزراعية وإنتاج الغذاء، بينما لا تزال الدراسات المتعلقة باستخدام الحمأة في المتنزهات الطبيعية وبرامج استعادة الغطاء النباتي محدودة، خصوصاً في البيئات الجافة وشبه الجافة. وتتميز هذه البيئات بأن الهدف من إضافة الحمأة لا يقتصر على التسميد، وإنما يشمل تحسين خصائص التربة، وزيادة المادة العضوية، وتعزيز نمو النباتات الطبيعية، والحد من تدهور التربة والتصحر، مع المحافظة على سلامة النظام البيئي.

وانطلاقاً من ذلك، تبرز الحاجة إلى إجراء دراسة متكاملة تبدأ بالتوصيف الكيميائي والفيزيائي والميكروبي للحمأة باستخدام أحدث التقنيات التحليلية، يعقبها تقييم ميداني لتأثير استخدام الحمأة في المتنزهات الطبيعية من خلال مقارنة طرق ومعدلات الإضافة المختلفة، ودراسة انعكاس ذلك على خصائص التربة، ونمو النباتات، والتنوع الميكروبي، وانتقال العناصر الغذائية والملوثات داخل النظام البيئي. ٤ - ٦

وتتمثل الفجوة البحثية في أن معظم الدراسات السابقة تناولت أحد الجوانب بصورة منفصلة، سواء توصيف الحمأة أو تقييم استخدامها الزراعي أو دراسة المخاطر البيئية، في حين لا توجد دراسات متكاملة تربط نتائج التحاليل الكيميائية والفيزيائية والميكروبية المتقدمة بالتطبيق الحقلي داخل المتنزهات الطبيعية، بهدف وضع إطار علمي يحدد مدى ملاءمة الحمأة للاستخدام البيئي ويقترح أفضل الممارسات لتحقيق الاستفادة القصوى مع تقليل المخاطر البيئية. ومن المتوقع أن تسهم نتائج هذه الدراسة في دعم برامج إعادة تأهيل الغطاء النباتي، وتعزيز مبادئ الاقتصاد الدائري، وتوفير أسس علمية لتطوير اللوائح المنظمة لإعادة استخدام الحمأة في البيئات الطبيعية.

ورغم هذه الفوائد، فإن إعادة استخدام الحمأة لا تزال تثير العديد من المخاوف البيئية والصحية نتيجة احتمالية احتوائها على تراكيز متفاوتة من المعادن الثقيلة، والمركبات العضوية الثابتة، والملوثات الناشئة مثل بقايا الأدوية والهرمونات ومنتجات العناية الشخصية، إضافة إلى احتمالية وجود مسببات الأمراض أو الجينات المقاومة للمضادات الحيوية. وتختلف هذه التراكيز تبعاً لمصدر مياه الصرف، وتقنيات المعالجة المستخدمة، ودرجة استقرار الحمأة، الأمر الذي يجعل إجراء تقييم علمي شامل قبل استخدامها أمراً ضرورياً.

مقدمة الدراسة

وفي السنوات الأخيرة، شهدت تقنيات توصيف الحمأة تطوراً كبيراً بفضل استخدام أجهزة تحليل متقدمة وتقنيات الأحياء الجزيئية، مما أتاح فهماً أكثر دقة لخواص الحمأة ومكوناتها. فأصبحت تقنيات مثل ICP-MS وICP-OES قادرة على قياس العناصر المعدنية بتراكيز دقيقة جداً، بينما تتيح تقنيات XRD وFTIR وSEM-EDS دراسة البنية المعدنية والخصائص السطحية والتركيب الكيميائي للحمأة. كما أسهمت تقنيات التسلسل الجيني عالي الإنتاجية (Next Generation Sequencing) في توصيف المجتمعات الميكروبية والكشف عن الكائنات الدقيقة غير القابلة للزراعة مخبرياً، إضافة إلى تحديد الجينات المقاومة للمضادات الحيوية بدقة عالية.

ورغم وفرة الدراسات المتعلقة باستخدام الحمأة في المحاصيل الزراعية، فإن الدراسات الخاصة باستخدامها في المتنزهات الطبيعية وبرامج إعادة تأهيل الغطاء النباتي لا تزال محدودة، خاصة في البيئات الصحراوية وشبه الصحراوية. ويعد هذا الجانب ذا أهمية كبيرة، لأن الهدف من استخدام الحمأة في هذه البيئات لا يتمثل في إنتاج غذاء للإنسان، وإنما في تحسين نمو النباتات الطبيعية، وزيادة الغطاء النباتي، وتحسين خصائص التربة، والحد من الانجراف، ورفع كفاءة استعادة النظم البيئية المتدهورة.

٦-٥

وتتميز المتنزهات الطبيعية بكونها أنظمة بيئية حساسة تتطلب موازنة دقيقة بين تحقيق الفائدة البيئية والحفاظ على التنوع الحيوي ومنع انتقال الملوثات إلى مكونات النظام البيئي المختلفة. ولذلك فإن أي برنامج لاستخدام الحمأة داخل هذه البيئات يجب أن يسبقه تقييم شامل يشمل الخصائص الكيميائية والفيزيائية والميكروبية للحمأة، بالإضافة إلى دراسة تأثيرها المحتمل على التربة والنباتات والكائنات الحية الدقيقة والمياه السطحية والجوفية.

وانطلاقاً من ذلك، يقترح هذا المشروع البحثي تنفيذ دراسة متكاملة تتكون من مرحلتين مترابطتين. تتمثل المرحلة الأولى في إجراء توصيف مخبري شامل للحمأة باستخدام أحدث التقنيات التحليلية بهدف تحديد خصائصها الكيميائية والفيزيائية والميكروبية وتقييم مدى ملاءمتها للاستخدام البيئي. أما المرحلة الثانية فتتمثل في تنفيذ تجارب حقلية داخل متنزه طبيعي باستخدام طرق مختلفة لإضافة الحمأة إلى التربة، بهدف تقييم استجابة النباتات الطبيعية، ودراسة التغيرات في خصائص التربة، وتحديد أفضل أساليب الاستخدام الآمن والمستدام

مقدمة الدراسة

وتتميز هذه الدراسة بأنها لا تقتصر على تقييم القيمة السمادية للحمأة، وإنما تسعى إلى بناء إطار علمي متكامل يربط نتائج التحاليل المخبرية بالتطبيقات الحقلية، بما يتيح وضع معايير علمية واضحة لاستخدام الحمأة في المتنزهات الطبيعية، مع تقييم شامل للمخاطر البيئية المحتملة. كما ستوفر الدراسة قاعدة بيانات علمية يمكن الاستفادة منها في تطوير السياسات الوطنية المتعلقة بإعادة استخدام الحمأة، ودعم برامج الاقتصاد الدائري، وتحقيق مستهدفات الاستدامة البيئية، وتعزيز استعادة النظم البيئية المتدهورة.



١-١

أهداف الدراسة

الهدف الرئيس

تقييم إمكانية الاستخدام الآمن والمستدام للحمأة المعالجة كمحسن للتربة ومصدر للعناصر الغذائية للنباتات في المتنزهات الطبيعية من خلال دراسة متكاملة تشمل التوصيف الكيميائي والفيزيائي والميكروبي للحمأة، وتقييم تأثيرها البيئي، واختبار كفاءتها ميدانياً في تحسين نمو النباتات الطبيعية وخصائص التربة.



الأهداف التفصيلية

a. التوصيف المتكامل للحمأة المعالجة من خلال دراسة خصائصها الكيميائية والفيزيائية والميكروبية باستخدام أحدث التقنيات التحليلية، لتحديد محتواها من العناصر الغذائية، والمعادن الثقيلة، والملوثات المحتملة، والمجتمعات الميكروبية.

b. تقييم ملاءمة الحمأة للاستخدام البيئي من خلال مقارنة نتائج التحاليل بالمعايير واللوائح البيئية المعتمدة، وتقدير المخاطر المحتملة المرتبطة باستخدامها في المتنزهات الطبيعية.

c. دراسة تأثير الحمأة على خصائص التربة الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية، وتقييم دورها في تحسين جودة التربة وزيادة محتواها من المادة العضوية والعناصر الغذائية.

d. تقييم الاستجابة النباتية للتطبيق الحقلي للحمأة من خلال دراسة تأثير معدلات وطرق الإضافة المختلفة على نمو النباتات الطبيعية، وحالتها الفسيولوجية، وإنتاجها الحيوي.

e. تقييم الأثر البيئي لاستخدام الحمأة من خلال دراسة انتقال العناصر الغذائية والمعادن الثقيلة والملوثات المحتملة إلى التربة والنباتات، ورصد تأثيرها في التنوع الميكروبي للنظام البيئي.

f. تطوير إطار علمي وإرشادات تطبيقية لتحديد أفضل الطرق والجرعات الآمنة لاستخدام الحمأة في المتنزهات الطبيعية، بما يدعم الإدارة المستدامة للغطاء النباتي واستعادة النظم البيئية.

الفجوة البحثية



تشير الدراسات السابقة إلى وجود تقدم كبير في توصيف الحمأة وتقييم استخدامها في الأراضي الزراعية، إلا أن معظمها ركز على المحاصيل الزراعية أو على جانب واحد من التقييم، مثل الخصائص الكيميائية أو المخاطر الصحية. في المقابل، لا تزال الدراسات التي تجمع بين التوصيف الكيميائي والفيزيائي والميكروبي المتقدم للحمأة والتطبيق الحقلي داخل المتنزهات الطبيعية لتقييم تأثيرها على التربة والنباتات والنظام البيئي محدودة للغاية. ومن هنا تأتي أهمية المقترح الحالي، الذي يعتمد على منهجية متكاملة تبدأ بالتوصيف المخبري باستخدام أحدث التقنيات، ثم تنتقل إلى التقييم الحقلي لتحديد أفضل الممارسات للاستخدام الآمن والمستدام للحمأة في المتنزهات الطبيعية



منهجية البحث

يعتمد المشروع على **مرحلتين متكاملتين**، تبدأ الأولى بالتوصيف المخبري الشامل للحمأة لتقييم خصائصها ومدى ملاءمتها للاستخدام البيئي، ثم تُستخدم نتائج هذه المرحلة كأساس لتصميم وتنفيذ المرحلة الثانية المتمثلة في التجارب الحقلية داخل المتنزه الطبيعي.

المرحلة الأولى: التوصيف المخبري للحمأة

تهدف هذه المرحلة إلى إجراء تقييم شامل للحمأة المعالجة من خلال تحليل خصائصها الكيميائية والفيزيائية والميكروبية، وذلك باستخدام أحدث الأجهزة والتقنيات المخبرية، بما يوفر قاعدة علمية لتحديد مدى صلاحيتها للتطبيق الحقلي.

أولًا: جمع العينات

- **جمع عينات** ممثلة من الحمأة المعالجة من محطة أو أكثر لمعالجة مياه الصرف الصحي.
- **جمع العينات وفق بروتوكولات قياسية** لضمان تمثيل جميع مكونات الحمأة.
- **حفظ العينات ونقلها** وفق الإجراءات القياسية لمنع حدوث تغيرات في خصائصها.



ثانياً: التحاليل الكيميائية

تشمل دراسة:

- الرقم الهيدروجيني (pH).
- التوصيل الكهربائي (EC).
- المادة العضوية والكربون العضوي.
- النيتروجين الكلي.
- الفوسفور الكلي والمتاح.
- البوتاسيوم.
- الكالسيوم والمغنيسيوم والكبريت.
- العناصر الصغرى Fe ، Zn، Mn، Cu، B وغيرها
- المعادن الثقيلة Cd، Pb، Cr، Hg، As، Ni وغيرها
- الملوثات العضوية والملوثات الناشئة (عند الإمكانية).

وتستخدم أجهزة مثل:

- ICP-MS أو ICP-OES.
- XRF.
- XRD.

ثالثاً: التحاليل الفيزيائية

تشمل:

- المحتوى الرطوبي.
- الكثافة الظاهرية.
- توزيع حجم الجسيمات.
- المسامية.
- السعة الحقلية.
- السعة المائية.
- قدرة الاحتفاظ بالماء.
- ثبات البنية.
- اللون والصفات المورفولوجية.



٢-١

منهجية البحث

يعتمد المشروع على **مرحلتين متكاملتين**، تبدأ الأولى بالتوصيف المخبري الشامل للحمأة لتقييم خصائصها ومدى ملاءمتها للاستخدام البيئي، ثم تُستخدم نتائج هذه المرحلة كأساس لتصميم وتنفيذ المرحلة الثانية المتمثلة في التجارب الحقلية داخل المتنزه الطبيعي.

المرحلة الأولى: التوصيف المخبري للحمأة

تهدف هذه المرحلة إلى إجراء تقييم شامل للحمأة المعالجة من خلال تحليل خصائصها الكيميائية والفيزيائية والميكروبية، وذلك باستخدام أحدث الأجهزة والتقنيات المخبرية، بما يوفر قاعدة علمية لتحديد مدى صلاحيتها للتطبيق الحقلي.

رابعاً: التحاليل الميكروبية تهدف إلى توصيف المجتمع الميكروبي وتقييم السلامة الحيوية من خلال:

- العد الكلي للأحياء الدقيقة.
- الكشف عن البكتيريا الممرضة.
- الكشف عن الفطريات.
- تحليل التنوع الميكروبي باستخدام تقنية 16S rRNA.
- التحليل الميتاجينومي (Metagenomics).

خامساً: تقييم صلاحية الحمأة بعد انتهاء التحاليل، تتم مقارنة النتائج بالمعايير الوطنية والدولية لتحديد:

- مدى صلاحية الحمأة للاستخدام.
- الجرعات المقترحة.
- الاحتياطات البيئية الواجب اتباعها.
- اختيار أفضل أسلوب للتطبيق الحقلي.





منهجية البحث

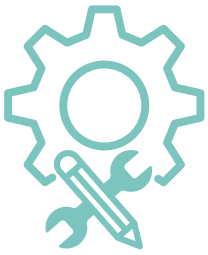
المرحلة الثانية: التجارب الحقلية

تُنفذ هذه المرحلة في متنزه طبيعي بهدف تقييم تأثير الحمأة تحت الظروف البيئية الحقيقية.



أولًا: اختيار الموقع

- اختيار موقع يمثل الظروف البيئية للمتنزه.
- توصيف التربة قبل بدء التجربة.
- تحديد النباتات الطبيعية المستهدفة.



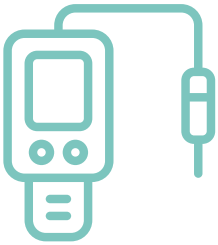
ثانياً: تصميم التجربة

يتم تصميم التجربة وفق تصميم إحصائي مناسب مثل

(Randomized Complete Block Design)،

مع تضمين:

- معاملة شاهد (بدون حمأة).
- عدة معدلات مختلفة لإضافة الحمأة.
- أكثر من طريقة للإضافة (سطحية، خلط بالتربة، حمأة مكومبة أو مجففة).
- عدد كافٍ من المكررات لضمان دقة النتائج.



ثالثاً: متابعة التربة

يتم قياس:

- (خصوبة التربة، المادة العضوية، الرطوبة، الكثافة الظاهرية، السعة المائية، النشاط الميكروبي، تغير تراكيز العناصر الغذائية،تراكم المعادن الثقيلة والملوثات المحتملة)

٢-١

منهجية البحث

المرحلة الثانية: التجارب الحقلية

تُنفذ هذه المرحلة في متنزه طبيعي بهدف تقييم تأثير الحمأة تحت الظروف البيئية الحقيقية.

رابعاً: متابعة النباتات

تشمل:

- نسبة البقاء.
- معدل النمو.
- الارتفاع.
- عدد الأوراق أو الأفرع.
- الكتلة الحيوية.
- محتوى الكلوروفيل.
- امتصاص العناصر الغذائية.
- أعراض السمية إن وجدت.



خامساً: تقييم الأثر البيئي

يشمل:

- انتقال العناصر الغذائية والمعادن إلى التربة والنباتات.
- تأثير الحمأة على المجتمع الميكروبي للتربة.
- رصد أي مؤشرات لتلوث المياه السطحية أو الجوفية (عند الحاجة).
- تقييم مدى استدامة استخدام الحمأة في البيئة الطبيعية.



سادساً: التحليل الإحصائي

تحلل البيانات باستخدام البرامج الإحصائية

مع تطبيق اختبارات تحليل التباين، والمقارنات البعدية، وتحليل (SPSS أو SAS أو R) المناسبة عند الحاجة، لتحديد أفضل المعاملات وأكثرها كفاءة وأمانًا (PCA) الارتباط، وتحليل المكونات الرئيسية

٢ - ٢

المخرجات المتوقعة

١ - إعداد قاعدة بيانات علمية متكاملة
للخصائص الكيميائية والفيزيائية والميكروبية للحمأة المعالجة، وتقييم مدى مطابقتها للمعايير البيئية المعتمدة.

٢ - تحديد أفضل طرق ومعدلات استخدام الحمأة في المتنزهات الطبيعية،
بما يحقق تحسين خصائص التربة وتعزيز نمو النباتات الطبيعية مع تقليل المخاطر البيئية.



٣ - تقييم الأثر البيئي لاستخدام الحمأة
من خلال دراسة تأثيرها على التربة والنباتات والتنوع الميكروبي، ورصد انتقال العناصر الغذائية والملوثات المحتملة.



٤ - تطوير دليل إرشادي علمي وفني
يتضمن الاشتراطات والمعايير اللازمة للاستخدام الآمن والمستدام للحمأة في برامج استعادة الغطاء النباتي والمتنزهات الطبيعية.



٥ - إعداد إطار علمي لاتخاذ القرار
يساعد الجهات المختصة على تقييم صلاحية الحمأة قبل استخدامها، استنادًا إلى نتائج التحاليل المخبرية والتجارب الحقلية.



٦ - تطوير "مؤشر جودة الحمأة للاستخدام البيئي
- Environmental Sludge Quality Index) (ESQI"، وهو مؤشر يجمع نتائج التحاليل الكيميائية والفيزيائية والميكروبية في قيمة واحدة تُستخدم لتصنيف الحمأة إلى فئات (صالحة للاستخدام، صالحة بشروط، أو غير صالحة).



٧ - نشر مخرجات المشروع علميًا وتطبيقها
عمليًا من خلال نشر أبحاث في مجلات علمية محكمة، وتقديم توصيات تسهم في دعم السياسات الوطنية لإعادة استخدام الحمأة وتحقيق مبادئ الاقتصاد الدائري والاستدامة البيئية.



الجدول الزمني للمشروع (١٨ شهرًا)

النشاط	١ - ٢	٣ - ٥	٦ - ٧	٨ - ١٠
مراجعة الأدبيات وإعداد الخطة البحثية	✓			
اختيار موقع الدراسة وجمع عينات الحمأة والتربة	✓	✓		
المرحلة الأولى التوصيف المخبري للحمأة				
التحاليل الكيميائية (ICP-MS، XRF، ICP-XRD)		✓	✓	
التحاليل الفيزيائية للحمأة والتربة		✓	✓	
التحاليل الميكروبية (qPCR، 16S rRNA، Metagenomics)			✓	✓
تحليل النتائج وتقييم صلاحية الحمأة				✓

المرحلة الأولى

الجدول الزمني للمشروع (١٨ شهرًا)

النشاط	٨ - ١٠	١١ - ١٣	١٤ - ١٥	١٦ - ١٧	١٨
المرحلة الثانية: التطبيق الحقلي في المتنزه الطبيعي					
تصميم التجارب الحقلية وتحديد المعاملات		✓	✓		
تطبيق الحمأة ومتابعة النباتات والتربة		✓	✓	✓	
جمع العينات الدورية وإجراء التحاليل		✓	✓	✓	
تقييم الأثر البيئي وتحليل البيانات			✓	✓	
إعداد الدليل الإرشادي والتوصيات				✓	✓
كتابة التقارير العلمية ونشر النتائج				✓	✓
إعداد التقرير النهائي وتسليم المشروع					✓

المعالم الرئيسة

الشهر	المعلم
٢	اعتماد خطة البحث
٤	الانتهاء من جمع العينات
٩	الانتهاء من جميع التحاليل المخبرية
١١	بدء التجارب الحقلية
١٥	الانتهاء من التجارب الحقلية
١٦	الانتهاء من التحليل الإحصائي
١٧	إعداد الدليل الإرشادي
١٨	تسليم التقرير النهائي ونشر النتائج

ثانياً : العرض المالي

المبلغ رقماً	المبلغ كتابة	الوصف
١٤٤,٥٠٠	فقط مائة وأربعة وأربعون ألف وخمسمائة ريال لاغير	صافي المقابل المالي لتقديم الخدمة
٢١,٤٥٠	فقط واحد وعشرون ألف وستمائة وخمسة وسبعون ريال لاغير	ضريبة القيمة المضافة ١٥ ٪
١٦٤,٤٥٠	فقط مائة وستة وستون ألف ريال وأربعمائة وخمسون ريال لاغير	المقابل المالي لتقديم الخدمة شاملًا الضريبة ١٥ ٪

- يتم دفع المبلغ على دفعتين متساويتين .
- الدفعة الأولى عند البدء بالمشروع .
- والدفعة الثانية عند التسليم والانتهاء من المشروع .
- للاستفسار : sdc@qu.edu.sa

المراجع

Ćwiertniewicz-Wojciechowska, M., Cema, G., & Ziembińska-Buczyńska, A. (2023). Sewage sludge pretreatment: Current status and future prospects. Environmental Science and Pollution Research.
Feng, J., Burke, I. T., Chen, X., et al. (2023). Assessing metal contamination and speciation in sewage sludge: Implications for soil application and environmental risk. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 22, 1037–1058.
Paganini, E. A. L., et al. (2024). A Systematic Review and Meta-Analysis of the Sustainable Impact of Sewage Sludge Application on Soil Organic Matter and Nutrient Content. Sustainability, 16(22), 9865.
Pozzebon, E. A., & Seifert, L. (2023). Emerging environmental health risks associated with the land application of biosolids: A scoping review. Environmental Health.
Risk control of antibiotics, antibiotic resistance genes (ARGs) and antibiotic resistant bacteria (ARB) during sewage sludge treatment and disposal: A review. (2023). Science of the Total Environment.
Siddiqui, M. I., et al. (2023). Recent Advancement in Commercial and Other Sustainable Techniques for Energy and Material Recovery from Sewage Sludge. Water, 15, 948.
Santana-Viera, S., Pintado-Herrera, M. G., Sosa-Ferrera, Z., & Santana-Rodríguez, J. J. (2023). Analysis of psychoactive substances and metabolites in sludges, soils, sediments and biota: A review. Environmental Chemistry Letters, 21, 2311–2335. https://doi.org/10.1007/s10311-023-01586-2
Feng, J., Burke, I. T., Chen, X., et al. (2023). Assessing metal contamination and speciation in sewage sludge: Implications for soil application and environmental risk. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, 22, 1037–1058.
Pozzebon, E. A., & Seifert, L. (2023). Emerging environmental health risks associated with the land application of biosolids: A scoping review. Environmental Health, 22, 57.
Paganini, E. A. L., Barroca Silva, R., Roder, L. R., et al. (2024). A Systematic Review and Meta-Analysis of the Sustainable Impact of Sewage Sludge Application on Soil Organic Matter and Nutrient Content. Sustainability, 16(22), 9865.
Marchuk, S., Tait, S., Sinha, P., et al. (2023). Biosolids-derived fertilisers: A review of challenges and opportunities. Science of the Total Environment, 875, 162555.
Siddiqui, M. I., et al. (2023). Recent Advancement in Commercial and Other Sustainable Techniques for Energy and Material Recovery from Sewage Sludge. Water, 15, 948.
Ćwiertniewicz-Wojciechowska, M., Cema, G., & Ziembińska-Buczyńska, A. (2023). Sewage sludge pretreatment: Current status and future prospects. Environmental Science and Pollution Research.
Gutiérrez-Ginés, M. J., Lehto, N. J., Madejón, E., et al. (2023). The effect of contrasting biosolids application strategies on soil quality. Plant and Soil, 489, 423–438.
Sugurbekova, G., Nagyzbekkyzy, E., Sarsenova, A., et al. (2023). Sewage Sludge Management and Application in the Form of Sustainable Fertilizer. Sustainability, 15(7), 6112.
Wang, J., Xu, S., Zhao, K., Song, G., Zhao, S., & Liu, R. (2023). Risk control of antibiotics, antibiotic resistance genes (ARGs) and antibiotic resistant bacteria (ARB) during sewage sludge treatment and disposal: A review. Science of the Total Environment, 877, 162772. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162772 (PubMed)