اقتصاديات الإدارة المتكاملة لتحلية مياه آبار عالية الملوحة بالأراضي الصحراوية

[١٦]

عبير فرحات على[١]– هشام ابراهيم القصاص[٢]– داليا السيد أبو زيد[٣]
محمد عمر عبد العزيز محمد
١) كلية التجارة، جامعة عين شمس ٢) معهد الدراسات والبحوث البيئية، جامعة عين شمس
٣) وزارة الزراعة واستصلاح الأراضي، مركز بحوث الصحراء

المستخلص

استهدف البحث دراسة اقتصاديات إدارة المحطات المصغرة لتحلية مياه الآبار عالية الملوحة بصورة متكاملة تحقيقاً لأغراض التنمية المستدامة بالأراضي الصحراوية، وذلك من خلال دراسة آليات تطبيق أسلوب الإدارة المتكاملة لمحطات تحلية مياه الآبار عالية الملوحة، وكذلك تقدير تكلفة وحدة المياه المحلاة من محطات التحلية التي تعمل بتقنية التناضح العكسي، بالاعتماد على الطاقة الشمسية كمصدر مستدام للطاقة اللازمة للتشغيل، واعتمد البحث على استخدام كلاً من المنهج الاستقرائي (الاستعراض المرجعي للدراسات السابقة)، المنهج التحليل الوصفي (توصيف للأساليب الفنية المستخدمة في التحلية، استخدامات الطاقة المتجددة في التحلية، نموذج الإدارة المتكاملة لمشروع تحلية مياه الآبار)، المنهج القياسي الكمي (عمل نماذج محاكاة باستخدام البرنامج الاحصائي DEEP لتقدير تكلفة وحدة المياه المحلاة بمعلومية مجموعة المتغيرات المستقلة المؤثرة فيها "درجة ملوحة مياه المصدر، درجة ملوحة المياه المنتجة، درجة حرارة مياه المصدر، السعة الانتاجية لمحطة التحلية"، وتقدير العلاقة الرياضية بالاعتماد على اسلوب الانحدار الخطي البسيط وأخيراً استخدام أسلوب التحليل المالي لنموذج مشروع الإدارة المتكاملة لمحطة تحلية مياه مصغرة تعمل بالطاقة المتجددة بمنطقة الشلاتين، وجاءت النتائج كالتالي:

(١): ارتفاع درجة ملوحة المياه من (٢٠٠٠ ppm) إلى (٤٨٠٠٠ ppm) أدى إلى زيادة تكلفة انتاج وحدة المياه من ٠,٨٣٩ – ١,٢٤٢ $ / م^{٣} على التوالي.

(٢): ارتفاع درجة حرارة المياه من (١٥°) إلى (٣٧°) خفض التكلفة من ١,١١٧–١,٠٣٤$/ م^{٣}.

(٣): زيادة نسبة تركيز الأملاح في المياه المنتجة من ٥٠ – 1000 جزء في المليون أدى إلى انخفاض التكلفة من ١,٠٩٣٥– ١,٠٨١٠ $ / م^{٣} على التوالي.

(٤): زيادة السعة الانتاجية لمحطة تحلية المياه من ١٠م^{٣}/ يوم إلى ١٥٠م^{٣}/ يوم أدى إلى انخفاض تكلفة تحلية المتر المكعب من المياه المحلاة من ١,٥٥١ إلى ١,٠٣٣ $ على التوالي.
(٥): بتقدير الربحية المالية لمشروع الإدارة المتكاملة لمحطة تحلية مصغرة تعمل بالطاقة المتجددة في منطقة الشلاتين اتضح أن فترة الاسترداد كانت (أربع سنوات وخمسة أشهر)، في حين بلغ (NPV) (٤٦٦٥٧,٢١ $) ، كما بلغت نسبة (CBA) (١,٤١)، وأخيراً فان معدل (IRR) قد بلغ ٢٢,٤٥%، الأمر الذي يشير إلى جدوى الاستثمار في هذا المجال، لذا توصي الدراسة بإدارة المشروعات التنموية بصفة عامة ومشروعات الموارد المائية بصفة خاصة بصورة متكاملة يراعى فيها رفع الكفاءة الاقتصادية وتحقيق العدالة الاجتماعية تحت مظلة الاستدامة الايكولوجية لتحيط بمثلث يمثل عناصر التنفيذ، مع التشديد على أهمية ابقائها متحدة في جميع قرارات وطرق التنفيذ، خاصة في ظل أوضاع شح المياه بالمناطق الجافة وشبة الجافة.
الكلمات المفتاحية: اقتصاديات التحلية–التناضح العكسي–الشح المائي– نماذج المحاكاة.

المقدمة

يعد تحدي شح الموارد المائية مشكلة عالمية تواجه الكثير من الدول خصوصاً تلك التي تقع في حزام المناطق الصحراوية الجافة وشديدة الجفاف، لذا فقد أولتها العديد من الدول جانباً كبيراً من عنايتها لتنمية هذه الموارد والمحافظة عليها من عوامل الهدر والتلوث بقدر اهتمامها بتدبير موارد مائية اضافية واتخاذ كافة السبل اللازمة لتعظيم العائد من استخدامات تلك الموارد وتفعيل كافة التدابير الخاصة بإعادة تأهيلها، وذلك نظراً لكونها عنصراً أمنياً في وقت تعتبر فيه مشكلة توفير المياه واحدة من أكثر المشاكل تعقيداً على المستويات الدولية والإقليمية، وذلك لندرة هذا المورد والذى تزداد حدته بسبب الارتفاع الكبير في الطلب عليه، و"تشير الاحصائيات إلى أن كمية المياه الموجودة في العالم تقدر بحوالي ١٤٠٠ مليار م^{٣}، تشكل المياه العذبة منها حوالي ٣% فقط، أما النسبة الغالبة تمثل مياه البحار والمحيطات وتقدر بنحو ٩٧%، مع الأخذ في الاعتبار أن ما يقرب من ٦٩% من المياه العذبة هي مياه متجمدة، لذا فإن المتاح للاستخدام منها يبلغ حوالي ٣١% تقريباً، وحتى هذه الأخيرة فإن حوالي ٣٠% منها مياه جوفية غير متجددة، ونحو ١% فقط مياه متجددة، لذا فإن أكثر من

مليار شخص في الدول النامية يعانون من نقص مياه الشرب وخدمات الصرف الصحي" (برنامج الأمم المتحدة الانمائي، ٢٠٠٦، ص:٢٥) ، وفي مصر تزداد أهمية المياه نتيجة للثبات النسبي في الموارد المائية والذي يتواكب معه الزيادة المضطردة في التعداد السكاني حيث ورد في تقرير مركز المعلومات ودعم القرار أن احتياجات مصر من المياه ستفوق مواردها المائية بحلول عام ٢٠١٨ ونظرا للنمو السكاني السريع ونتيجة للتوسع التنموي فمصر ستحتاج نحو ٨٦,٢ مليار م^{٣}/ سنة في حين أن مواردها الحالية تبلغ حوالي ٧٦ مليار م^{٣}/ سنة ما يعني الدخول في مجموعة الدول الفقيرة مائياً والتي ينخفض فيها نصيب الفرد من المياه عن ١٠٠٠م^{٣} / سنوياً، ولتوفير المياه تتجه مصر إلى صناعة تحلية المياه حيث أصبحت تلك الصناعة أحد البدائل التنموية الهامة لمواجهة بعض مظاهر الندرة المائية في ظل محدودية الموارد التقليدية في العديد من الأراضي الجديدة.

مشكلة البحث

تعد ندرة الموارد المائية أحد أهم المشكلات التي تواجه العديد من الدول التي تقع في حزام المناطق الصحراوية الجافة وشديدة الجفاف، وفي مصر تزداد أهمية المياه نتيجة للثبات النسبي في الموارد المائية، حيث يبلغ الإجمالي المتوافر من الموارد المائية التقليدية للمياه العذبة حالياً حوالي 56.9 مليار م^{٣}سنوياً، ويشمل حصة مصر من مياه النيل (55.5 مليارم^{٣})، ومياه الأمطار والسيول (1.3 مليار م^{٣})، أما الموارد غير التقليدية والتي تشمل تحلية المياه المالحة والمسوس (0.1 مليار م^{٣})، وإعادة استخدام مياه الصرف الزراعي والصحي والصناعي المعالج ومياه الخزان الجوفي الضحل بالوادي والدلتا (19.1 مليار م^{٣}) ، وبالتالي يصل إجمالي المتاح من المياه إلى 76.00 مليار م^{٣} سنوياً (تقرير الجهاز المركزي للتعبئة العامة والاحصاء – وزارة الموارد المائية والري مصر في أرقام ٢٠١٦، ص: ٥-٧)، ويمكن القول بأن أحد الحلول الواعدة في المستقبل القريب لتقليل الفجوة المائية هو الاعتماد على تحلية المياه، خاصة مع التطور المستمر في تكنولوجيات تحلية المياه مما أدى إلى ارتفاع جودة المياه الناتجة وصلاحيتها للشرب، ويساعد الموقع الجغرافي لمصر على توافر مصدر

المياه المالحة حيث يحدها البحر الأحمر بامتداد حدودها شرقاً والبحر الأبيض بامتداد حدودها شمالاً، هذا بالإضافة إلى مصدر آخر هام وهو المياه الجوفية المالحة والمسوس (Brackish water) والتي يمكن أن تساهم كمصدر للتحلية وذلك لسد احتياجات المجتمعات المحلية في المناطق الصحراوية ويكون لها أثر واضح على تنميتها (محمد منير مجاهد وآخرون، ٢٠١٢ ص: ٣٩٥-٤٠٧) ، إلا أن تلك الصناعة تثير العديد من القضايا المرتبطة بحجم اسهاماتها كأحد الموارد غير التقليدية لمواجهة الشح المائي بالأراضي الجديدة، وذلك في ظل التكلفة المرتفعة التي تقوم عليها، خاصة فيما يتعلق بالاستهلاك الكثيف للطاقة والتي تعتبر أحد الموارد الاستراتيجية الناضبة، فضلاً عن الأعباء البيئية المتمثلة في حجم الانبعاثات الغازية وتأثير رد المحلول الملحي المركز الناتج من المحطات (محمود محمد صقر وآخرون ٢٠١١ ص: ١٥-١٨)، لذا تتمثل المشكلة في كيفية الموازنة بين توفير المياه العذبة المحلاة تلبية للاحتياجات التنموية بالأراضي الجديدة وبين الأعباء الاقتصادية والبيئية الناتجة عن تلك الصناعة.

وفي ضوء ما سبق يمكن صياغة مشكلة البحث من خلال التساؤلات التالية:

أسئلة البحث

- ما مجموعة العوامل المؤثرة على تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة من الآبار عالية الملوحة؟
- ما تأثير كل عامل على تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة؟
- ما المقصود بالإدارة المتكاملة لمحطات تحلية مياه الآبار؟
- ما دور الإدارة المتكاملة في تحسين المردود الاقتصادي والبيئي لصناعة التحلية؟

أهمية البحث

ترجع أهمية البحث إلي كونه احد الدراسات التطبيقية التي تُساهم في دعم واتخاذ القرار الخاص بالتنمية المستدامة للعديد من المناطق الصحراوية، وذلك عن طريق تحديد القيم التقريبية المتوقعة لتكلفة وحدة المياه المحلاة تحت ظروف التشغيل المختلفة بالأراضي

الصحراوية، فضلاً عن التقييم الاقتصادي لنموذج الإدارة المتكاملة لمحطة تحلية مياه مصغرة تعمل بالطاقة المتجددة بمنطقة الشلاتين.

أهداف البحث

يستهدف البحث بصورة رئيسية دراسة اقتصاديات إدارة المحطات المصغرة لتحلية مياه الآبار عالية الملوحة بصورة متكاملة تحقيقاً لأغراض التنمية المستدامة بالأراضي الصحراوية، وذلك من خلال تحقيق الأهداف التالية:

١-تحديد مجموعة المتغيرات المستقلة المؤثرة على تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة.

٢- بناء نماذج محاكاة لتقدير تكلفة وحدة المياه المحلاة بمعلومية مجموعة المتغيرات المستقلة المؤثرة فيها.

٣-دراسة الوضع الراهن لتحلية المياه بمصر، والتعرف على الطرق الحديثة لتحلية المياه بالاعتماد على الطاقة الشمسية.

٤-دراسة آليات تطبيق أسلوب الإدارة المتكاملة لمحطات تحلية مياه الآبار عالية الملوحة.

٥- التحليل المالي لنموذج تطبيق الإدارة المتكاملة لمحطة تحلية مياه بمدينة الشلاتين.

فروض البحث

تتمثل فروض البحث في النقاط التالية:

١- توجد علاقة معنوية بين درجة ملوحة مياه المصدر وتكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة.

٢-توجد علاقة معنوية بين درجة حرارة مياه المصدر وتكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة.

٣-توجد علاقة معنوية بين نسبة تركيز الأملاح في المياه المنتجة وتكلفة انتاج وحدة المياه.

٤-توجد علاقة معنوية بين السعة الانتاجية لمحطة التحلية وتكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة.

٥- توفر الإدارة المتكاملة لمحطات تحلية مياه الآبار أسلوباً يمكن معه تحسين الاداء الاقتصادي والبيئي لمشروعات تحلية المياه بالأراضي الصحراوية.

حدود البحث

الحد الزمنى: رصد وحساب التكاليف الرأسمالية والتكاليف المتغيرة كذلك العائد لمشروع الإدارة المتكاملة لمحطة تحلية مياه تعمل بالطاقة المتجددة في الفترة من (٢٠١٥-٢٠١٧) بمنطقة الدراسة.

الحد المكاني: مدينة الشلاتين – محافظة البحر الأحمر – جمهورية مصر العربية

الدراسات السابقة

في دراسة للوكالة الدولية للطاقة الذرية International Atomic Energy Agency عن اقتصاديات تحلية مياه البحر باستخدام برنامج DEEP تبين ما يلي:

- **أهم الأهداف:** اجراء شامل لمقارنة تكاليف التحلية باستخدام مصادر الطاقة النووية والوقود الأحفوري.
- **أهم النتائج:** إن تكاليف عمليات تحلية المياه بالاعتماد على الوقود النووي كانت أقل بصورة ملحوظة عن استخدام الوقود الاحفوري وذلك لأن تكلفة انتاج الطاقة الكهربائية الناتجة من المفاعلات أقل بكثير من نظيرتها المنتجة باستخدام الوقود الأحفوري، وذلك فضلاً عن تجنب الأعباء البيئية الناتجة من انبعاثات الناتجة عن ذلك الوقود وذلك بالرغم من ارتفاع التكلفة الاستثمارية للمفاعلات النووية إلا أنها تتميز بزيادة معدلات العمر الافتراضي بصورة كبيرة عن المولدات المستخدمة في انتاج الكهرباء من الوقود الأحفوري.
- **أهم التوصيات:** التوسع في انتاج المفاعلات صغيرة الحجم والتي تتميز بانخفاض تكلفتها الاستثمارية ومناسبتها لتشغيل محطات التحلية صغيرة الحجم بالعديد من الأماكن النائية.

وفي دراسة لـHafez, S. El-Manharawy عن اقتصاديات تحلية المياه باستخدام تقنية التناضح العكسي في محافظة البحر الأحمر، تبين ما يلي:

- **أهم الأهداف:** تقدير التكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل والصيانة لعمليات تحلية المياه باستخدام تقنية التناضح العكسي.
- **أهم النتائج:** إن تكاليف عمليات تحلية مياه البحر الأحمر تعتمد بصورة أساسية على حجم محطة التحلية المستخدمة، كما أن تكلفة م^{3} من المياه المحلاة كانت حوالي ٢,٧ دولار / م^{3} في حالة انتاج ٢٥٠ م^{3} / يومياً من المحطات التي تعمل بتقنية التناضح العكسي، بينما انخفضت تلك التكلفة إلى حوالي ١,٢٨ دولار لكل م^{3} في حال انتاج ٤٨٠٠ م^{3} / يوم، كما أن معدلات استهلاك الطاقة كانت في حدود ١١ كيلو وات ساعة/ م^{3} للمحطات الأصغر حجماً بينما كانت في حدود ٨ كيلو وات ساعة/ م^{3} للمحطات الأكبر حجماً، كما لوحظ أن تكلفة الإنتاج لوحدة المياه كانت أعلى من الأسعار العالمية.
- **أهم التوصيات:** يجب اعادة النظر بالنسبة لعمليات تشغيل المحطات الصغيرة، مع ضرورة العمل على تنشيط السياحة وذلك لتغطية تكاليف عمليات التحلية بتلك المناطق الحضرية، مع تجنب تحلية للمياه الجوفية التي تزيد نسبة الملوحة فيها عن ٥٠,٠٠٠ ملجم/ لتر، كما يجب الاعتماد على الأغشية النانوية لكفاءتها في التخلص من العناصر الغير مرغوب فيها.

وقد قام كلاً من Asmerom M. Gilau & Mitchell J. Small بتصميم نظام لقياس فاعلية تكلفة انتاج المياه المحلاة في الدول النامية وأوضحت الدراسة ما يلي:

- **أهم الأهداف:** استخدام برنامج ROSA لتصميم مجموعة نماذج لمحطات تحلية ذات سعات انتاجية ٣٠٠٠٠م^{3}/يوم تعمل بتقنية التناضح العكسي، وتقدير تكلفة الطاقة المستخدمة والتكلفة الاجمالية لوحدة المياه بالاعتماد على الطاقة الشمسية وطاقة الرياح.

- **أهم النتائج:** أوضحت نتائج الدراسة أن تكلفة الطاقة اللازمة لإنتاج وحدة المياه المحلاة باستخدام طاقة الرياح والطاقة الفوتو فولطية كانت (٠,١٧، ٠,٤٠٢) على التوالي في حين أن تكلفة انتاج وحدة المياه كانت (٠,٥٢٢، ١,٠٦١).

أما K.V. Reddy, N.Ghaffour, فقد قاما بإجراء دراسة عن طرق تقدير تكاليف تحلية المياه بالاعتماد على التقنيات التجارية لتحلية المياه واتضح ما يلي:

- **أهم الأهداف:** يهدف هذا البحث إلى تقديم نظرة عامة عن التكاليف الخاصة بعمليات التحلية الخاصة بتقنيات التحلية الرئيسية مثل تقنيات (R.O) – (M.E.D) – (M.S.F).
- **أهم النتائج:** تبين من نتيجة الدراسة الخاصة بتقنيات التحلية المتعددة أن التكاليف وأوجه الصرف ليست ثابتة أو محددة، ولكنه من المؤكد أن تكاليف عمليات التحلية قد تناقصت بصورة واضحة خلال العقود الثلاثة السابقة، كما أن تقنيات التحلية وبصفة خاصة تقنية التناضح العكسي (R.O) سوف تنافس المصادر التقليدية في القريب العاجل، كما أن هناك علاقة ارتباط قوية بين تخفيض تكلفة التحلية وزيادة الطاقة الانتاجية من عمليات التحلية.

في حين قامت Dalia E. Abo Zaid بإجراء تحليل اقتصادي لمحطة تحلية مياه مصغرة ومتنقلة تعمل بتقنية التناضح العكسي وتدار بالطاقة الشمسية تحت ظروف الساحل الشمالي الغربي بمصر واتضح من خلال تلك الدراسة ما يلي:

- **أهم الأهداف:** دراسة الآثار الاقتصادية والاجتماعية لمحطة تحلية مياه متنقلة تعمل بتقنية التناضح العكسي اعتماداً على الطاقة الشمسية.
- **أهم النتائج:** تكلفة م^{3} من المياه المحلاة باستخدام نظام التناضح العكسي تراوحت بين ٥,٦ – ٩,٣ جنية/ م^{3}، كما أن التكاليف الاستثمارية مثلت حوالي ٨٧,٩% من التكاليف الاجمالية للمشروع بينما مثلت تكاليف التشغيل والصيانة حوالي ١٢,١% من اجمالي

التكاليف، كما أمكن تخفيض تكلفة وحدة المياه بصورة واضحة بعد استخدام بطارية، وحتى عند هذا المستوى من التكلفة فإن هذا النظام قادر على توفير الكميات الضرورية من المياه الصالحة للشرب للمناطق الصغيرة مثل منطقة الدراسة بالساحل الشمالي الغربي، كما أظهرت النتائج أن حوالي ٨٣% من عينة الدراسة يعانون من الفقر المائي.

وقد استفاد الباحث من تلك الدراسات بمزيد من الاثراء المعرفي بخصوص موضوع الدراسة وعلى سبيل المثال فقد ترسخت فكرة أن تكلفة وحدة المياه المحلاة تتناقص كل فترة وذلك بسبب التطور التقني في عمليات التحلية، كما أن إدارة الموارد المائية يجب أن تتم وفقاً لمبادئ الإدارة المتكاملة سواء بالنسبة للمورد الواحد أو للموارد المتعددة فيما بينها.

ومما سبق يتضح أن موضوع اقتصاديات الإدارة المتكاملة لمحطات تحلية مياه تعمل بالطاقة المتجددة في الأراضي الجديدة هو محل دراسة ويحتاج لمزيد من التحليل للوصول لرأي واضح ونتائج سليمة وهو ما دفع الباحث لإجراء هذه الدراسة استكمالاً لما توصلت إليه الدراسات السابقة من حيث كونها أحد الدراسات التطبيقية، إلا أن تلك الدراسة تختلف عن السابقة فيما يلي:

أولاً في المجال البحثي: حيث تبرز الجوانب الاقتصادية والبيئية لتحلية المياه باستخدام الطاقة المتجددة، وذلك اعتماداً على أسلوب الادارة المتكاملة والذي يمكن من تحقيق أهداف التنمية من خلال وجهة النظر القومية والمتمثلة في توفير المياه اللازمة للشرب والزراعة وتنمية المجتمع الصحراوي مع الالتزام بمبادئ التنمية المستدامة وكذلك تعظيم العائد من وحدة المياه المنتجة والعمل على وضع استراتيجية لتخفيض التكاليف الخاصة بعمليات التحلية، وتدنية الأعباء البيئية الناتجة.

ثانياً: في المجال التطبيقي: حيث أن تلك الدراسة سوف تتم على مشروع تحلية المياه باستخدام محطات تحلية تعمل بتقنية التناضح العكسي (R.O) وذلك اعتماداً على الطاقة الشمسية كمصدر للحصول على الطاقة اللازمة لتشغيل المشروع في منطقة الشلاتين بحيث تتم إدارة هذا المشروع وفقاً لحزمة من الاجراءات المنبثقة من مبادئ الإدارة المتكاملة للموارد المائية.

الاطار النظري

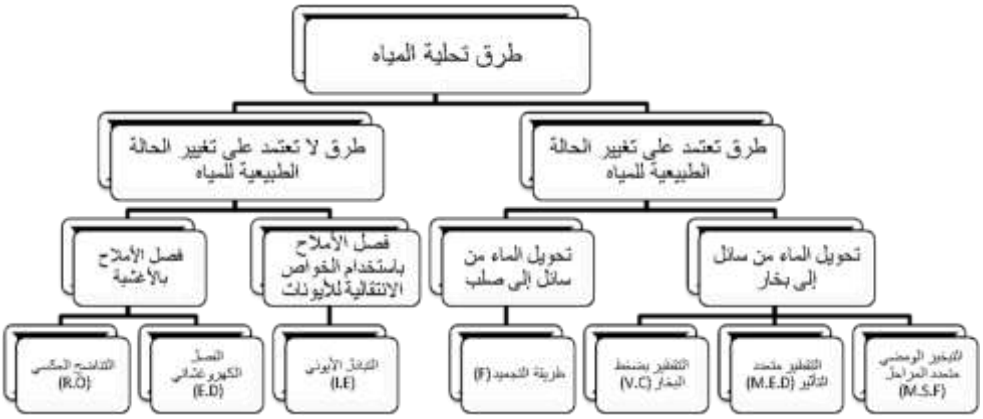
أولاً: الوضع الحالي والاحتياجات المستقبلية من مياه التحلية المياه في مصر:

تبلغ الطاقة الإنتاجية الحالية لمصر من المياه المحلاة حوالي (0.1) مليار م^3 سنوياً (الجهاز المركزي للتعبئة العامة والاحصاء، ٢٠١٧ ص: ١٧٦) ، بالاعتماد على مجموعة من محطات تحلية المياه الموزعة على مستوى الجمهورية، إلا أن الإنتاج الحالي من المياه المحلاة لا يتناسب مع الإمكانيات الهائلة المتوفرة، لذا فقد قامت وزارة الري والموارد المائية بوضع استراتيجية مائية حتى عام ٢٠٥٠ تسهم في تحقيق الأمن المائي لمصر بزيادة انتاج المياه المحلاة إلى ٤ مليار م^3/ سنة.

ثانياً: التقنيات المستخدمة في محطات إنتاج المياه المحلاة:

تهدف تحلية المياه إلى إزالة أو خفض الأملاح الذائبة بمياه البحر أو المياه الجوفية أو السطحية المالحة (محمد المعالج، صالح بوقشة، ٢٠٠٨، ص: ١٥-١٨) ، كما يوضح الشكل رقم (١) الطرق المختلفة للتحلية والتي تتم إما بتغيير الحالة الطبيعية للمياه بتحويلها من سائل إلى بخار يكثف فيما بعد وهو ما يعرف بالطرق الحرارية، والتي تشمل تقنيات التبخير الومضي متعدد المراحل والتقطير متعدد التأثير والتقطير بضغط البخار، أو بتحويلها من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة وهو ما يعرف بطريقة التجميد والتي يتم فيها غسل الأملاح بعد تسييل المياه، وهنالك بعض تقنيات التحلية التي تعمل دون تغيير الحالة الطبيعية للمياه، وذلك بواسطة أغشية ذات نفاذية انتقائية، كما هو الحال في طريقتي التناضح العكسي والفرز الكهربائي، كما يمكن استخدام الخواص الانتقالية للأيونات في إزالة الملوحة كطريقة التبادل الأيوني، وبصفة عامة فإن كافة منظومات التحلية تتضمن ثلاث مراحل رئيسية هي المعالجة المبدئية، وحدة التحلية، والمعالجة النهائية، بحيث تهدف المعالجة المبدئية إلى تهيئة المياه المالحة لعملية التحلية، والتي تتضمن عدداً من عمليات المعالجة الفيزيائية والكيميائية المستخدمة، بينما تهدف المعالجة النهائية إلى جعل المياه المحلاة مناسبة للاستخدامات المقصودة ويتم تحديد المعالجات النهائية المطلوبة وفقاً لذلك، "وتستأثر تكنولوجيا التناضح العكسي بالنصيب الأكبر في السوق المحلي المصري لتحلية المياه بنسبة تبلغ حوالي ٦٨,٥%

من انتاج المياه المحلاة، تليها تقنية التبخر الومضي بنسبة ١٣,٧%" (وحدة البحوث الاستراتيجية، ٢٠١٤، ص: ١٨) ، "ويرجع السبب في ذلك إلى إمكانية إنتاج وحدات كبيرة أو محدودة السعة بهذه التقنية، كما أنها تعد التقنية الأقل استهلاكاً للطاقة، حيث أن أكثر من ثلثي الطاقة الإنتاجية للمياه المحلاة في مصر تستخدم في قطاعات السياحة والصناعة والتجمعات السكانية المحدودة" (محمود محمد صقر، آخرون، ٢٠٠١، ص: ٢٣-٢٥).



شكل رقم (١): شكل توضيحي لطرق تحلية المياه

المصدر: محمد المعالج (دكتور)، صالح بوقشة (دكتور)، ص: ١٧

ثالثاً: استخدامات الطاقة المتجددة في تحلية المياه:

توفر التحلية باستخدام الطاقة المتجددة طريقة مستدامة لإنتاج المياه العذبة وبصفة خاصة في تلك الأماكن النائية بالأرضي الصحراوية والتي تفتقر إلى امدادات المياه والكهرباء عن طريق الشبكات العامة، لذا فإن الاستفادة من المصادر الطبيعية المتاحة بالموقع المراد تنميته قد يكون حلاً فعالاً لتأمين الاحتياجات اللازمة من الطاقة بصفة خاصة في ظل الانخفاض المستمر في تكلفة وحدة الطاقة المنتجة من تلك المصادر، "وبالرغم من تلك المزايا إلا أن نسبة المياه المحلاة باستخدام الطاقة المتجددة لا تتعدى ١% من اجمالي انتاج المياه

المحلاة على مستوى العالم، حيث تستحوذ تقنية (RO) على ما يقرب من ٦٢% من انتاج المياه المحلاة بالاعتماد على الطاقة المتجددة يليها تقنيات (MSF) ، (MED)، في حين تمثل الطاقة الفوتو فولطية (PV) ٤٣% من تلك الامدادات ويتبعها كل من الطاقة الشمسية الحرارية ثم طاقة الرياح بنسب بلغت (٢٧%)، (٢٠%) على التوالي" (M. Shatat, M. Worall and S. Riffat, 2013, pp: 67-80)"، "ولضمان جدوى استخدام مصادر الطاقة المتجددة في تحلية المياه يجب مراعاة مجموعة من العوامل منها مصدر الطاقة المتاح، خصائص الموقع، درجة ملوحة مياه المصدر والسعة الانتاجية لمحطة التحلية، "حيث أن أغلب أنظمة التحلية المعتمدة على استخدام الطاقة المتجددة والمثبت فاعليتها الاقتصادية مخصصة للسعات الانتاجية الصغيرة التي تتراوح ما بين ٥ – ١٥٠ م^{٣}/ يوم" (Mirei Isaka & Giorgio Simbolotti, 2013, pp: 122)، "ويعد النظام المدمج (PV–RO) من أفضل بدائل أنظمة تحلية المياه باستخدام الطاقة المتجددة وأوسعها انتشاراً خاصة في الأماكن البعيدة النائية التي تفتقد إمدادات شبكات المياه والكهرباء وكذلك الأراضي الصحراوية التي تتميز بارتفاع معدلات سطوع الشمس، كما أنه يعد من الأنظمة المجدية اقتصادياً خاصة عند تحلية المياه منخفضة ومتوسطة الملوحة (Brackish Water) المتوفرة بآبار المياه الجوفية بالصحاري، وهو مناسب كذلك للسعات الانتاجية الصغيرة لإمكانية توصيل التيار المباشر (AC) إلى مضخة الضغط العالي الأمر الذي يرفع من كفاءة النظام ذلك لتجنب فقد من ٥–١٠% من التيار في حال التحويل من DC إلى AC" (B. S. Richards and A. I. Schafer, 2010, p: 363).

رابعاً: نموذج الإدارة المتكاملة لمشروع تحلية المياه بالأراضي الجديدة:

يرتكز فكر الإدارة المتكاملة لمشروع تحلية المياه بالأراضي الجديدة على الاستخدام الأمثل للموارد الطبيعية والبشرية المتاحة سعياً لتحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية تحت مظلة الاستدامة الايكولوجية بتلك الأراضي وذلك عن طريق اعتماد مجموعة مقترحة من الحزم التقنية المتكاملة لإنتاج المياه المحلاة، انتاج الأسماك، الانتاج النباتي والانتاج الحيواني كالتالي:

١-انتاج المياه المحلاة لتوفير احتياجات المجتمعات الصحراوية من مياه الشرب باستخدام محطة تحلية مياه متنقلة تعمل بتقنية التناضح العكسي (R.O) لتحلية مياه الآبار، بالاعتماد على الطاقة الشمسية الفوتو فولطية (P.V) كمصدر متجدد لتوفير الكهرباء اللازمة لها.

٢-استخدام المحلول الملحي الناتج من عملية تحلية المياه بعد معالجته لاستزراع بعض أنواع الأسماك التي تعيش في المياه المالحة بالاعتماد على تقنية البيوفلوك (BFT) (Biofloc Technology)، كأحد الطرق غير التقليدية لعمليات الاستزراع السمكي في الأراضي القاحلة وشبه القاحلة في جمهورية مصر العربية.

٣-زراعة المحاصيل العلفية المتحملة للملوحة باستخدام المياه الناتجة من الأحواض السمكية والمشبعة بالأسمدة العضوية اللازمة لتغذية النبات.

٤-تطوير انتاج الثروة الحيوانية بتلك المناطق عن طريق تصنيع الغذاء اللازم لها من المحاصيل العلفية.

الطريقة البحثية ومصادر البيانات:

تم اعداد ما يسمى بدليل المقابلة، واعتمد البحث على المنهج الاستقرائي (الاستعراض المرجعي للدراسات السابقة)، المنهج التحليل الوصفي (توصيف للأساليب الفنية المستخدمة في التحلية، استخدامات الطاقة المتجددة في التحلية، نموذج الإدارة المتكاملة لمشروع تحلية مياه الآبار)، المنهج القياسي الكمي (عمل نماذج محاكاة باستخدام البرنامج الاحصائي DEEP لتقدير تكلفة وحدة المياه المحلاة بمعلومية مجموعة المتغيرات المستقلة المؤثرة فيها "درجة ملوحة مياه المصدر، درجة ملوحة المياه المنتجة، درجة حرارة مياه المصدر، السعة الانتاجية لمحطة التحلية"، وتقدير العلاقة الرياضية بالاعتماد على اسلوب الانحدار الخطي البسيط وأخيراً استخدام أسلوب التحليل المالي لنموذج مشروع الإدارة المتكاملة لمحطة تحلية مياه مصغرة تعمل بالطاقة المتجددة بمنطقة الشلاتين، كما تم الاعتماد على مصادر البيانات الثانوية المنشورة وغير المنشورة التي تصدرها بعض الجهات المعنية مثل الهيئات الحكومية المختلفة – وزارة الزراعة واستصلاح الأراضي – وزارة الري والموارد المائية – وزارة الكهرباء

والطاقة المتجددة – مركز بحوث الصحراء – مركز التميز المصري لأبحاث التحلية (EDRC) – أكاديمية البحث العلمي – منظمة الأغذية والزراعة (FAO) – الوكالة الدولية للطاقة (IEA)– البنك الدولي – الجهاز المركزي للتعبئة العامة والاحصاء – محافظة البحر الأحمر، وكذلك من خلال اجراء المقابلات الشخصية مع المسئولين عن محطات التحلية المصغرة بالأراضي الصحراوية للحصول على البيانات الميدانية الخاصة بالتنفيذ الفعلي لمبادرة حل المشاكل الضاغطة في المجتمعات الصحراوية بالاعتماد على تطوير محطات تحلية مياه تعمل بالطاقة المتجددة وإدارتها بصورة متكاملة من أجل تحقيق التنمية المستدامة في الأراضي الصحراوية.

عينة الدراسة الميدانية: تم عمل ما يسمى بدليل المقابلة وباستخدام أسلوب الحصر الشامل تم دراسة تأثير مجموعة المتغيرات المستقلة ذات الأثر المباشر على تكلفة وحدة المياه المحلاة المنتجة من محطات تحلية مياه الآبار ذات السعات الانتاجية الصغيرة، وذلك من خلال اجراء المقابلات مع المسئولين عن تشغيل محطات التحلية المصغرة بالأراضي الصحراوية كما تم دراسة التطبيق العملي لنموذج الإدارة المتكاملة لمحطة تحلية مصغرة تعمل بالطاقة المتجددة في منطقة الشلاتين.

نتائج البحث ومُناقشتها

أولاً: التحليل الاقتصادي لتكلفة وحدة المياه المحلاة:

١-العوامل المؤثرة على تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة:

١/١ نوع التقنية المستخدمة في عملية التحلية: تتميز بعض التقنيات بالقدرة الانتاجية على المستوى التجاري وهو ما تفتقده بعض التقنيات الأخرى، لذلك فإنه سوف يتم التركيز على دراسة التكاليف الخاصة بالتقنية التجارية الأوسع انتشاراً وهي تقنية التناضح العكسي (RO)، والتي تتميز بإمكانية استخدامها لمحطات تحلية مياه مصغرة تتناسب مع حد السحب الآمن من الآبار، اضافة إلى كونها التقنية الأقل استهلاكاً للطاقة.

٢/١ مصدر الطاقة المستخدم: تتأثر تكلفة التحلية بمصدر الطاقة المستخدم نظراً لكونها من الصناعات ذات الاستهلاك الكثيف للطاقة، لذا فإنه سوف يتم دراسة مدى تأثر تكلفة الوحدة من المياه المحلاة بتغير نوع الوقود المستخدم من المصادر المختلفة (تقليدية – جديدة – متجددة) ويمثلها كل من (السولار– الطاقة النووية – الطاقة الشمسية) على التوالي لتحديد نوع الوقود الأنسب لعملية التحلية من حيث مدى توافره بموقع محطة التحلية وكذا استدامته.

٣/١ نوعية مياه التغذية ودرجة ملوحتها: تعتبر نوعية مياه التغذية عاملاً مؤثراً في تكلفة وحدة المياه ذلك لان انخفاض جودة المياه وارتفاع درجة ملوحتها يتطلب المزيد من الطاقة والمواد الكيميائية المعالجة.

٤/١ جودة المياه المنتجة: حيث أن إنتاج مياه للشرب يختلف نوعاً عن انتاج مياه للزراعة، فكل له المواصفات الخاصة به وذلك وفقاً لنسب الأملاح الذائبة المسموح به في نوعية المياه المنتجة، وبالطبع فإن خفض نسب الأملاح الذائبة في المياه المنتجة يتطلب المزيد من عمليات المعالجة وكذلك الطاقة المستخدمة.

٥/١ درجة حرارة مياه المصدر: تتفاوت درجة حرارة مياه الآبار الأمر الذي قد يؤثر على معدلات استهلاك المواد الكيميائية المستخدمة في عملية معالجة المياه وكذلك معدلات استهلاك الطاقة المستخدمة في التحلية.

٦/١ السعة الانتاجية لمحطة التحلية: تتأثر تكلفة وحدة المياه المحلاة بالقدرة الانتاجية لمحطة التحلية والتي تؤثر بدورها على حجم وحدات المعالجة، المضخات و الخزانات، وبالتالي فإن زيادة الطاقة الانتاجية لمحطات التحلية يتطلب معه المزيد من التكاليف الرأسمالية، وتكاليف العمالة اللازمة للتشغيل وعلى الرغم من ذلك فإنه عند تحليل فاعلية التكلفة فإن تكلفة انتاج الوحدة ينخفض مع زيادة حجم الانتاج.

٢- عناصر التكاليف الخاصة بمحطات تحلية المياه

١/٢ التكاليف الرأسمالية: تشتمل التكاليف الرأسمالية على بعض عناصر التكاليف المباشرة وأخرى غير المباشرة وهي كالتالي:

١/١/٢ التكاليف الرأسمالية المباشرة لمحطة تحلية تعمل بتقنية التناضح العكسي: (أراضي، مباني، وحدة توليد الطاقة، وحدة المعالجة المسبقة، وحدة المعالجة اللاحقة، مضخة الضغط العالي، الأغشية، مضخات، خطوط الأنابيب، محابس، مولدات، محولات، خزانات)

٢/١/٢ التكاليف الرأسمالية غير المباشرة: يتم تقدير التكاليف الرأسمالية غير المباشرة عادة كنسب مئوية من اجمالي التكاليف الرأسمالية المباشرة، وقد تشمل تكاليف شحن وتأمين الأجهزة والمعدات، تكاليف بناء المعامل والمباني الإدارية والمكاتب وأجهزة الأمن الصناعي.

٢/٢ تكاليف التشغيل والصيانة: تنقسم تكاليف التشغيل والصيانة إلى تكاليف ثابتة وأخرى متغيرة كالتالي:

١/٢/٢ التكاليف الثابتة: تشتمل التكاليف الثابتة على تكلفة التأمين، ورواتب الإداريين،...

٢/٢/٢ التكاليف المتغيرة: تشتمل التكاليف المتغيرة على تكلفة العمالة والتي تتناسب بصورة طردية مع حجم الطاقة الانتاجية للمحطة، وكذلك الطاقة حيث تختلف حجم الطاقة المستخدمة باختلاف نوع التقنية المستخدمة في التحلية كما تتأثر تكلفة الطاقة بمصدر الطاقة المستخدم ومدى توافره، وأيضاً الكيماويات والتي تتأثر تكلفتها بدرجة ملوحة مياه المصدر ودرجة حرارتها وكذلك درجة جودة المياه المنتجة وذلك بناءً على كمية ونوعية الكيماويات المستخدمة، وأخيراً الصيانة والتي تتأثر أيضاً بنوعية مياه المصدر ونسب تركيز الأملاح الذائبة بها والتي لها دور رئيسي في معدل تغيير الأغشية.

٣- نموذج تقدير تكلفة وحدة المياه المحلاة: يستهدف هذا الجزء من البحث تقدير تكلفة وحدة المياه المحلاة من محطات التحلية تعمل بتقنية التناضح العكسي (RO)، عن طريق بناء نماذج محاكاة لتقدير تكلفة وحدة المياه المحلاة بمعلومية مجموعة المتغيرات المستقلة المؤثرة فيها باستخدام أحد البرامج الاحصائية المختصة بتقييم وتحليل هيكل التكاليف الخاص بعمليات تحلية المياه (DEEP) لوضع سيناريوهات تهدف إلى:

أ- تقدير قيمة تكلفة الوحدة من المياه المحلاة وفقاً لمجموعة العوامل التي تؤثر فيها.

ب- اجراء مقارنة بين تكلفة وحدة المياه المحلاة بالاعتماد على ثلاثة أنواع مختلفة من الوقود.

جـ – تحديد الصورة الرياضية للعلاقة التي تربط كل متغير مستقل بالمتغير التابع (تكلفة وحدة المياه المحلاة) وذلك في صورة معادلة انحدار خطي بسيط بهدف التعرف على درجة تأثير كل عامل على تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة.

١–قياس تأثير اختلاف درجة ملوحة مياه المصدر على تكلفة وحدة المياه المحلاة:

يعد الاختلاف في درجات ملوحة مياه الآبار أحد أهم العوامل التي تؤثر على تكلفة وحدة المياه المحلاة، وهو ما يتضح من خلال جدول رقم (١) حيث تم تقدير تأثير اختلاف درجة الملوحة على تكلفة انتاج (م^{٣}) مع افتراض ثبات السعة الانتاجية عند ١٠٠م^{٣}/ يوم، درجة حرارة مياه المصدر ١٩°، نسبة تركيز الأملاح TDS 221 وذلك باستخدام ثلاثة أنواع مختلفة من الوقود، بغرض تحليل هيكل التكلفة لوحدة المياه المنتجة وتحديد أثر زيادة درجات ملوحة مياه المصدر على عناصر التكلفة المختلفة.

جدول رقم(١): أثر تغير درجة ملوحة مياه المصدر على تكلفة وحدة المياه المحلاة الوحدة "دولار/ م^{٣}"

درجة ملوحة مياه المصدر (ppm)	التكلفة حسب نوع الوقود المستخدم		
	وقود نووي	سولار	فوتو فولطية
٢٠٠٠	٠,٦٦١	٠,٨٠٥	٠,٨٣٩
٤٠٠٠	٠,٦٦٤	٠,٨٠٨	٠,٨٤٢
٦٠٠٠	٠,٦٨٩	٠,٨٣٣	٠,٨٦٧
٨٠٠٠	٠,٦٩٣	٠,٨٣٨	٠,٨٧٣
١٠٠٠٠	٠,٦٩٧	٠,٨٤٥	٠,٨٨١
١٢٠٠٠	٠,٧٠٢	٠,٨٥٢	٠,٨٨٩
١٤٠٠٠	٠,٧٠٧	٠,٨٥٩	٠,٨٩٦
١٦٠٠٠	٠,٧٧٣	٠,٩٢٩	٠,٩٦٦
١٨٠٠٠	٠,٧٧٧	٠,٩٣٦	٠,٩٧٤
٢٠٠٠٠	٠,٧٨٢	٠,٩٤٤	٠,٩٨٣
٢٢٠٠٠	٠,٧٨٧	٠,٩٥٤	٠,٩٩٢
٢٤٠٠٠	٠,٧٩٢	٠,٩٦٢	١,٠٠٢
٢٦٠٠٠	٠,٧٩٧	٠,٩٧١	١,٠١٢
٢٨٠٠٠	٠,٨٠٢	٠,٩٨٢	١,٠٢٣
٣٠٠٠٠	٠,٨٠٨	٠,٩٩٣	١,٠٣٦
٣٢٠٠٠	٠,٨١٨	١,٠٠٤	١,٠٥٣
٣٤٠٠٠	٠,٨٢٦	١,٠١٨	١,٠٦٨
٣٦٠٠٠	٠,٨٤٢	١,٠٤٠	١,٠٩١
٣٨٠٠٠	٠,٨٥١	١,٠٥٥	١,١٠٨
٤٠٠٠٠	٠,٨٥٩	١,٠٧١	١,١٢٦
٤٢٠٠٠	٠,٨٦٩	١,٠٩٢	١,١٤٧
٤٤٠٠٠	٠,٨٨٢	١,١١٥	١,١٧٣
٤٦٠٠٠	٠,٨٩٥	١,١٤٥	١,٢٠٦
٤٨٠٠٠	٠,٩٠٨	١,١٧٨	١,٢٤٢

المصدر: جمعت من عينة الدراسة الميدانية وحسبت من نتائج تحليل التكاليف باستخدام برنامج (DEEP 5.1)

يتضح من الجدول السابق أن ارتفاع درجة ملوحة المياه من ٢٠٠٠ – ٤٨٠٠٠ (ppm) أدى إلى زيادة تكلفة انتاج وحدة المياه من (٠,٦٦١، ٠,٨٠٥، ٠,٨٣٩) دولار/م^{٣} إلى (٠,٩٠٨، ١,١٧٨، ١,٢٤٢) دولار/م^{٣} بنسبة زيادة قدرها (٣٧%، ٤٦%، ٤٨%) لإنتاج متر مكعب من المياه باستخدام أنواع مختلفة من الوقود (وقود نووي، سولار، فوتو فولطية) على التوالي، وبتحليل هيكل التكاليف الخاص بإنتاج وحدة المياه المحلاة اتضح ما يلي:

أ- ترجع تلك الزيادة إلى تأثير ارتفاع درجة الملوحة على العناصر المختلفة لتكاليف الإنتاج ويأتي في مقدمتها الطاقة حيث أدى ارتفاع درجة الملوحة من ٢٠٠٠ – ٤٨٠٠٠ (ppm) إلى ارتفاع تكلفة الطاقة لإنتاج وحدة المياه من (٠,١٥٠، ٠,٢٩٠، ٠,٣٢٨) دولار/م^{٣} إلى (٠,٢٨٥، ٠,٥٤٥، ٠,٦١٦) دولار/م^{٣} بنسبة زيادة قدرها ٨٨% تقريباً لأنواع الوقود الثلاث.

ب- ارتفاع اجمالي تكاليف استهلاك المواد الكيميائية، الأغشية والصيانة للوحدة المنتجة من (٠,١٦٥، ٠,١٦٩، ٠,١٦٥) دولار/م^{٣} إلى (٠,١٨٦، ٠,١٩٣، ٠,١٨٦) دولار/م^{٣} بنسبة زيادة قدرها (١٢%، ١٤%، ١٢%).

ج- زيادة التكلفة الرأسمالية لمحطات التحلية ما أدى إلى زيادة نصيب وحدة المياه المنتجة من ٠,١٦٦ – ٢٦٠ $ / م^{٣}.

٢-قياس تأثير اختلاف درجة حرارة مياه المصدر على تكلفة وحدة المياه المحلاة: تزيد درجة حرارة مياه الآبار كلما زاد العمق المستخرجة منها وقد تكون باردة نتيجة خروجها من طبقات قريبة من سطح الأرض، وقد تم دراسة تأثير ذلك الاختلاف في درجات الحرارة على تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة، مع افتراض ثبات باقي العوامل المؤثرة على التكلفة، ويوضح الجدول رقم (٢) تقدير ذلك الأثر لمحطة تحلية تنتج ١٠٠م^{٣}/يوم، درجة ملوحة 36000 ppm، وتركيز أملاح TDS٢٢١ في المياه المنتجة.

جدول رقم(٢): أثر تغير درجة حرارة مياه المصدر على تكلفة وحدة المياه المحلاة الوحدة "دولار/ م^{٣}"

درجة حرارة مياه المصدر	التكلفة حسب نوع الوقود المستخدم		
	وقود نووي (Nuclear)	سولار	فوتو فولطية (PV)
١٥°	٠,٨٥٥	١,٠٦٢	١,١١٧
١٦°	٠,٨٥١	١,٠٥٦	١,١١٠
١٧°	٠,٨٤٨	١,٠٥١	١,١٠٤
١٨°	٠,٨٤٥	١,٠٤٥	١,٠٩٧
١٩°	٠,٨٤٢	١,٠٤٠	١,٠٩١
٢٠°	٠,٨٣٩	١,٠٣٥	١,٠٨٥
٢١°	٠,٨٣٧	١,٠٣٠	١,٠٨١
٢٢°	٠,٨٣٤	١,٠٢٦	١,٠٧٥
٢٣°	٠,٨٣٢	١,٠٢١	١,٠٧١
٢٤°	٠,٨٣٠	١,٠١٧	١,٠٦٨
٢٥°	٠,٨٢٨	١,٠١٤	١,٠٦٤
٢٦°	٠,٨٢٦	١,٠١٠	١,٠٦١
٢٧°	٠,٨٢٤	١,٠٠٧	١,٠٥٧
٢٨°	٠,٨٢٢	١,٠٠٣	١,٠٥٤
٢٩°	٠,٨٢٠	١,٠٠٠	١,٠٥١
٣٠°	٠,٨١٨	٠,٩٩٧	١,٠٤٩
٣١°	٠,٨١٦	٠,٩٩٥	١,٠٤٦
٣٢°	٠,٨١٤	٠,٩٩٢	١,٠٤٤
٣٣°	٠,٨١٢	٠,٩٩٠	١,٠٤١
٣٤°	٠,٨١٠	٠,٩٨٧	١,٠٣٩
٣٥°	٠,٨٠٨	٠,٩٨٥	١,٠٣٧
٣٦°	٠,٨٠٧	٠,٩٨٣	١,٠٣٥
٣٧°	٠,٨٠٦	٠,٩٨٢	١,٠٣٤

المصدر: جمعت من عينة الدراسة الميدانية وحسبت من نتائج تحليل هيكل تكاليف تحلية المياه باستخدام برنامج (DEEP 5.1)

بدراسة النتائج الواردة بالجدول السابق تبين أن ارتفاع درجة حرارة مياه المصدر من ١٥° – ٣٧° قد أدى إلى انخفاض تكلفة انتاج وحدة المياه من (٠,٨٥٥، ١,٠٦٢، ١,١١٧) $/م^{٣} باستخدام كل من الوقود النووي، السولار، الطاقة الشمسية على التوالي إلى (٠,٨٠٦، ٠,٩٨٢، ١,٠٣٤) $/م^{٣} وذلك بالمعدلات التالية (٥,٧%، ٧,٥%، ٧,٤%) من تكلفة إنتاج وحدة المياه عند المستوى الأقل من درجة الحرارة، وبتحليل هيكل التكاليف الخاص بإنتاج وحدة المياه المحلاة تحت تأثير درجات الحرارة المختلفة اتضح ما يلي:

أ- تتناقص تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة كلما ارتفعت درجة حرارة مياه المصدر وذلك نتيجة انخفاض كمية الطاقة اللازمة لإنتاج المتر المكعب من المياه المحلاة وبالتالي تنخفض تكلفة تلك الطاقة عندما تكون درجة حرارة مياه المصدر ١٥ من (٠,٤٣٥،٠,٢٣١، ٠,٤٩٣) $/ م^{3} إلى (٠,٢٠٢، ٠,٣٧٥، ٠,٤٣٠) $/ م^{3} عند درجة ٣٧$^{\circ}$ لأنواع الوقود الثلاثة على التوالي مسجلة بذلك معدلات انخفاض في التكلفة اللازمة لإنتاج وحدة المياه قدرها (١٢,٥%، ١٣,٨%، ١٢,٨%).

ب- انخفضت تكلفة استهلاك المواد الكيميائية من ٠,٠٦٨ $/م^{3} إلى ٠,٠٤٨ $ /م^{3} بنسبة قدرها ٢٩,٤%.

٣-**قياس أثر اختلاف نسبة تركيز الأملاح في المياه المنتجة على تكلفة وحدة المياه المحلاة:** تعتمد المعالجة النهائية في تحلية المياه على الغرض من الاستخدام النهائي للمياه المعالجة حيث يلزم ضبط مكوناتها طبقا للمعايير والمواصفات الواجب توافرها للاستخدامات المختلفة (شرب – ري – صناعة)، وبالتالي تختلف درجة المعالجة النهائية وفقاً لتلك المعايير، وبدراسة تأثير اختلاف درجة تركيز الأملاح في المياه المنتجة على تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة، مع افتراض ثبات باقي العوامل المؤثرة على التكلفة، جدول رقم (٣) تقدير ذلك الأثر لمحطة تحلية ذات قدرة انتاجية ١٠٠م^{3}/يوم، ودرجة ملوحة 36000 ppm، ودرجة حرارة مياه المصدر قدرها ١٩$^{\circ}$، أوضحت النتائج أن زيادة درجة تركيز الأملاح في المياه المنتجة من (٥٠) إلى (١٠٠٠) قد أدى إلى انخفاض طفيف في تكلفة انتاج وحدة المياه من (٠,٨٤٢٠، ١,٠٤٠٠، ١,٠٩٣٥) دولار/م^{3} باستخدام كل من أنواع الوقود الثلاث على التوالي إلى (٠,٨٣١٠، ١,٠٢٩٠، ١,٠٨١٠) دولار/م^{3}، نتيجة لانخفاض تكلفة استهلاك الأغشية المستخدمة لإنتاج مياه بتركيز أملاح أعلى.

جدول رقم(٤): أثر تغير نسبة تركيز الأملاح في المياه المنتجة على تكلفة وحدة المياه المحلاة الوحدة "دولار/ م^{٣}"

نسب تركيز الأملاح	التكلفة حسب نوع الوقود المستخدم		
	وقود نووى (Nuclear)	سولار	فوتو فولطية (PV)
٥٠	٠,٨٤٥	١,٠٤٢٥	١,٠٩٣٥
١٠٠	٠,٨٤٤٠	١,٠٤٢٠	١,٠٩٢٠
١٥٠	٠,٨٤٢٥	١,٠٤٠٥	١,٠٩١٥
٢٠٠	٠,٨٤٢٠	١,٠٤٠٠	١,٠٩١٠
٢٥٠	٠,٨٤١٥	١,٠٣٩٥	١,٠٩٠٥
٣٠٠	٠,٨٤١٠	١,٠٣٩٠	١,٠٩٠٠
٣٥٠	٠,٨٤٠٥	١,٠٣٨٥	١,٠٨٩٥
٤٠٠	٠,٨٣٩٠	١,٠٣٧٠	١,٠٨٩٠
٤٥٠	٠,٨٣٨٥	١,٠٣٦٥	١,٠٨٨٥
٥٠٠	٠,٨٣٨٠	١,٠٣٦٠	١,٠٨٧٠
٥٥٠	٠,٨٣٧٥	١,٠٣٥٥	١,٠٨٦٥
٦٠٠	٠,٨٣٧٠	١,٠٣٥٠	١,٠٨٦٠
٦٥٠	٠,٨٣٥٥	١.٠٣٣٥	١,٠٨٥٥
٧٠٠	٠,٨٣٥٠	١,٠٣٣٠	١,٠٨٥٠
٧٥٠	٠,٨٣٤٥	١,٠٣٢٥	١,٠٨٤٥
٨٠٠	٠,٨٣٤٠	١,٠٣٢٠	١,٠٨٤٠
٨٥٠	٠,٨٣٣٥	١,٠٣١٥	١,٠٨٣٥
٩٠٠	٠,٨٣٣٠	١,٠٣١٠	١,٠٨٢٠
٩٥٠	٠,٨٣١٥	١,٠٢٩٥	١,٠٨١٥
١٠٠٠	٠,٨٣١٠	١,٠٢٩٠	١,٠٨١٠

المصدر: جمعت من عينة الدراسة الميدانية وحسبت من نتائج تحليل هيكل تكاليف تحلية المياه باستخدام برنامج (DEEP 5.1)

٤-**تقدير تأثير السعة الإنتاجية لمحطة التحلية على تكلفة وحدة المياه المحلاة:** تتأثر تكلفة وحدة المياه المنتجة بحجم السعة الانتاجية لمحطة التحلية، ووفقاً للمنطق الاقتصادي فإنه كلما زاد حجم الإنتاج انخفضت تكلفة إنتاج الوحدة، ويوضح الجدول رقم (٥) أثر اختلاف السعة الانتاجية لمحطة التحلية على تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة، مع افتراض ثبات باقي العوامل المؤثرة على التكلفة.

جدول رقم(٤): أثر اختلاف السعة الإنتاجية لمحطات التحلية على تكلفة وحدة المياه المحلاة الوحدة "دولار/ م^{٣}"

السعة الانتاجية لمحطة التحلية م^{٣}/يوم	التكلفة حسب نوع الوقود المستخدم		
	وقود نووى (Nuclear)	سولار	فوتو فولطية (PV)
١٠	١,٣٠٢	١,٥٠٠	١,٥٥١
٢٠	١,٢١٤	١,٤١٢	١,٤٦٣
٣٠	١,١٧٢	١,٣٧٠	١,٤٢١
٤٠	١,٠٤٧	١,٢٤٥	١,٢٩٦
٥٠	٠,٩٧٢	١,١٧٠	١,٢٢١
٦٠	٠,٩٦٢	١.١٦٠	١,٢١١
٧٠	٠,٩١٩	١,١١٧	١,١٦٨
٨٠	٠,٨٨٧	١,٠٨٥	١,١٣٦
٩٠	٠,٨٦٢	١,٠٦٠	١,١١١
١٠٠	٠,٨٤٢	١,٠٤٠	١,٠٩١
١١٠	٠,٨٣٢	١,٠٣٠	١,٠٨١
١٢٠	٠,٨١٧	١,٠١٥	١,٠٦٦
١٣٠	٠,٨٠٤	١,٠٠٢	١,٠٥٣
١٤٠	٠,٧٩٣	٠,٩٩١	١,٠٤٢
١٥٠	٠,٧٨٤	٠,٩٨٢	١,٠٣٣

المصدر: جمعت من عينة الدراسة الميدانية وحسبت من نتائج تحليل هيكل التكاليف باستخدام برنامج (DEEP 5.1)

يتضح من نتائج الجدول السابق أن زيادة السعة الانتاجية لمحطات لتحلية من ١٠م^{٣}/يوم إلى ١٥٠ م^{٣}/يوم قد أدى إلى انخفاض تكلفة تحلية المتر المكعب من (١,٣٠٢، ١,٥٠٠،

١,٥٥١) دولار/م^{٣} إلى (٠,٧٨٤، ١,٠٣٣،٠,٩٨٢) دولار/م^{٣} باستخدام كل من الوقود النووي، السولار، الطاقة الشمسية على التوالي، كما اتضح أن سبب ذلك الانخفاض يرجع إلى انخفاض نصيب المتر المكعب المنتج من التكلفة الرأسمالية لمحطة التحلية.

٥- تقدير العلاقة الرياضية بين تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة والعوامل المؤثرة فيها:

يعتبر اختيار النموذج الرياضي المعبر عن العلاقة بين التكاليف الانتاجية ومجموعة العوامل المؤثرة فيها من المشاكل التي تعترض الباحثين عند اجراء الدراسات الاقتصادية القياسية نظراً لتعدد النماذج الرياضية التي يمكن استخدامها لتمثيل تلك العلاقة، وبالنظر إلى نتائج تحليل هيكل تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة فقد وجد أن العناصر الأكثر فاعلية في التأثير عليها هي الأربعة عناصر السابق ذكرها، وبناء على النتائج السابقة اتضح أن الأسلوب الاحصائي الأمثل لتمثيل تلك العلاقة، هو الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression Analysis)، حيث تم دراسة تأثير كل عامل على تكلفة وحدة المياه المحلاة مع افتراض ثبات باقي العوامل الأخرى، ويوضح الجدول رقم (6) نماذج الانحدار التي تم تقديرها لتفسير العلاقة بين المتغير التابع (Y) (التكلفة) والمتغيرات المستقلة (X_1, X_2, X_3, X_4) (درجة ملوحة مياه المصدر، درجة حرارة مياه المصدر، نسبة تركيز الأملاح في المياه المنتجة، السعة الانتاجية)، كل على حدة.

جدول رقم (٥): معادلات نماذج الانحدار الخطي البسيط

المعاملات	نوع الوقود	م	المعادلة	F	R^2	Sig.
درجة ملوحة مياه المصدر	نووى	1	$Y = 0.656 + 0.006\ X_1$ ** (114.962) ** (26.101)	**681.276	0.969	0.000
	سولار	2	$Y = 0.778 + 0.008\ X_1$ ** (114.566) ** (31.995)	**1023.710	0.979	0.000
	طاقة شمسية	3	$Y = 0.806 + 0.008\ X_1$ ** (112.555) ** (32.868)	**1080.287	0.980	0.000
درجة حرارة مياه المصدر	نووى	4	$Y = 0.884 - 0.002\ X_2$ ** (688.778) ** (-45.545)	**2074.38	0.990	0.000
	سولار	5	$Y = 1.108 - 0.004\ X_2$ ** (323.984) ** (-28.404)	**806.784	0.975	0.000
	طاقة شمسية	6	$Y = 1.161 - 0.004\ X_2$ ** (265.26) ** (-22.419)	**502.619	0.960	0.000
نسبة تركيز الأملاح	نووى	7	$Y = 0.845 - 0.001\ X_3$ ** (5864.81) ** (-57.763)	**3336.511	0.995	0.000
	سولار	8	$Y = 1.043 - 0.001\ X_3$ ** (7239.059) ** (-57.763)	**3336.511	0.995	0.000
	طاقة شمسية	9	$Y = 1.094 - 0.001\ X_3$ ** (7418.913) ** (-50.955)	**2596.435	0.993	0.000
السعة الانتاجية	نووى	10	$Y = 1.222 - 0.003\ X_4$ ** (41.676) ** (- 9.174)	**84.165	0.866	0.000
	سولار	11	$Y = 1.420 - 0.003\ X_4$ ** (35.866) ** (- 9.174)	**84.165	0.866	0.000
	طاقة شمسية	12	$Y = 1.471 - 0.003\ X_4$ ** (43.172) ** (- 9.174)	**84.165	0.866	0.000

المصدر: من اعداد الطالب من خلال تحليل الانحدار البسيط باستخدام برنامج SPSS

من نتائج الجدول السابق يتضح لنا ما يلي:

١- نموذج الانحدار لعلاقة اختلاف درجة ملوحة مياه المصدر بتكلفة وحدة المياه المحلاة (اختبار صحة الفرض الأول):

(أ) <u>في حال استخدام الوقود النووي تبين ما يلي:</u>

- وجود علاقة طردية ومعنوية احصائياً عند مستوى أقل من ١% بين درجة ملوحة مياه المصدر وتكلفة انتاج وحدة المياه، كما أن ارتفاع ملوحة مياه المصدر بمقدار 1000ppm يؤدي إلى زيادة تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة بمقدار ٠,٠٠٦ دولار/ م^3.

- قيمة معامل التحديد (R^2) تساوي ٩٦,٩%، بما يعني أن المتغير المستقل (درجة ملوحة مياه المصدر) يفسر ٩٦,٩% من التغيرات التي تحدث في المتغير التابع (تكلفة وحدة المياه المحلاة)، أما الباقي ٣,١% يرجع إلى عوامل أخرى منها الخطأ العشوائي.

(ب) في حالة استخدام السولار تبين ما يلي:

- وجود علاقة طردية معنوية احصائياً عند مستوى أقل من ١% بين درجة ملوحة مياه المصدر وتكلفة انتاج المتر المكعب من المياه المحلاة، كما أن ارتفاع ملوحة مياه المصدر بمقدار 1000ppm يؤدي إلى زيادة تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة بمقدار ٠,٠٠٨ دولار/ م^3.
- تشير قيمة معامل التحديد (R^2) إلى أن ٩٧,٩% من التغيرات في التكلفة تُعزى إلى اختلاف درجة ملوحة مياه المصدر.

(ج) في حالة استخدام الطاقة الفوتو فولطية تبين ما يلي:

- وجود علاقة طردية ومعنوية احصائياً عند مستوى أقل من ١% بين درجة ملوحة مياه المصدر وتكلفة انتاج المتر المكعب من المياه المحلاة، كما أن ارتفاع ملوحة مياه المصدر بمقدار 1000ppm يؤدي إلى زيادة تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة بمقدار ٠,٠٠٨ دولار/ م^3.
- قيمة معامل التحديد (R^2) تساوي ٩٨%، بما يعني أن المتغير المستقل (درجة ملوحة مياه المصدر) يفسر ٩٧,٩% من التغيرات التي تحدث في المتغير التابع (تكلفة وحدة المياه المحلاة)، أما الباقي ٢% يرجع إلى عوامل أخرى منها الخطأ العشوائي.
- في الحلات الثلاث السابقة اتضح أن قيمة (Sig) تساوي صفر وهي أقل من مستوى معنوية ١% وبالتالي نرفض الفرض العدمي القائل بأن نموذج الانحدار غير معنوي ونقبل الفرض البديل.

نموذج الانحدار المقدر لعلاقة اختلاف درجة حرارة مياه المصدر بتكلفة وحدة المياه المحلاة (اختبار صحة الفرض الثاني):

(أ) في حال استخدام الوقود النووي تشير بيانات المعادلة رقم (٤) إلى ما يلي:

- وجود علاقة عكسية ومعنوية احصائياً عند مستوى أقل من ١% بين درجة حرارة مياه المصدر وتكلفة انتاج المتر المكعب من المياه المحلاة، كما أن ارتفاع درجة مياه المصدر بمقدار ١ درجة مئوية يؤدي إلى انخفاض تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة بمقدار ٠,٠٠٢ دولار/ م^{٣}.
- قيمة معامل التحديد (R^2) تساوي ٩٩%، ما يعني أن المتغير المستقل (درجة حرارة مياه المصدر) يفسر ٩٩% من التغيرات التي تحدث في المتغير التابع (تكلفة وحدة المياه المحلاة)، أما الباقي ١% يرجع إلى عوامل أخرى منها الخطأ العشوائي.

(ب) في حالة استخدام السولار تشير بيانات المعادلة رقم (٥) إلى ما يلي:

- وجود علاقة عكسية معنوية احصائياً عند مستوى أقل من ١% بين درجة حرارة مياه المصدر وتكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة، كما أن ارتفاع درجة حرارة مياه المصدر بمقدار ١ درجة مئوية يؤدي إلى انخفاض تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة بمقدار ٠,٠٠٤ دولار/ م^{٣}.
- تشير قيمة معامل التحديد (R^2) إلى أن ٩٧,٥% من التغيرات في التكلفة ترجع إلى اختلاف درجة حرارة مياه المصدر والباقي يعزى إلى عوامل أخرى منها الخطأ العشوائي.

(جـ) في حالة استخدام الطاقة الفوتو فولطية تشير بيانات المعادلة رقم (٦) إلى ما يلي:

- وجود علاقة عكسية معنوية عند مستوى أقل من ١% بين درجة حرارة مياه المصدر وتكلفة انتاج المتر المكعب من المياه المحلاة، كما أن زيادة درجة حرارة مياه المصدر بمقدار درجة حرارة مئوية واحدة يؤدي إلى زيادة تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة بمقدار ٠,٠٠٤ دولار/ م^{٣}.
- قيمة معامل التحديد (R^2) تساوي ٩٦%، الأمر الذي يعني أن درجة ملوحة مياه المصدر تفسر ٩٦% من التغيرات التي تحدث في تكلفة وحدة المياه المحلاة، أما الباقي ٤% يرجع إلى عوامل أخرى منها الخطأ العشوائي.

- في الحلات الثلاث السابقة اتضح أن قيمة (Sig) تساوي صفر وهي أقل من مستوى معنوية ١% وبالتالي نرفض الفرض العدمي القائل بأن نموذج الانحدار غير معنوي ونقبل الفرض البديل.

٢-نموذج الانحدار لعلاقة نسبة تركيز الأملاح في المياه المنتجة بتكلفة وحدة المياه المحلاة (اختبار صحة الفرض الثالث):

تشير بيانات المعادلات أرقام (٧،٨،٩) إلى ما يلي:

- وجود علاقة عكسية معنوية عند مستوى أقل من ١% بين ارتفاع تركيز الأملاح في المياه المنتجة وتكلفة انتاج المتر المكعب من المياه المحلاة، كما أن ارتفاع نسبة تركيز الأملاح 50 ppm يؤدي إلى انخفاض تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة بمقدار ٠,٠٠١ دولار/ م^{٣}، وذلك بالنسبة للثلاثة أنواع المختلفة من الوقود.
- كما بلغت قيمة (R^2) ٩٩% لأنواع الوقود الثلاث، بما يعني أن المتغير المستقل (نسبة تركيز الأملاح في المنتجة) يفسر ٩٩% من التغيرات التي تحدث في المتغير التابع (تكلفة وحدة المياه المحلاة)، كما ثبتت معنوية النماذج عند مستوى أقل ١% وبالتالي نرفض الفرض العدمي القائل بأن نموذج الانحدار غير معنوي ونقبل الفرض البديل.

٣-نموذج الانحدار للعلاقة بين زيادة السعة الانتاجية للمحطة وتكلفة وحدة المياه المحلاة (اختبار صحة الفرض الرابع):

تشير بيانات المعادلات أرقام (١٠،١١،١٢) إلى ما يلي:

- وجود علاقة عكسية معنوية عند مستوى أقل من ١% بين زيادة السعة الانتاجية لمحطة تحلية المياه وتكلفة انتاج الوحدة، وأن زيادة السعة بمقدار ١٠ م^{٣}/ يوم يؤدي إلى انخفاض تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة بمقدار ٠,٠٠٣ دولار/ م^{٣}، وذلك بالنسبة للثلاثة أنواع المختلفة من الوقود.
- تشير قيمة معامل التحديد (R^2) إلى أن ٨٦,٦% من التغيرات في التكلفة تُعزى إلى اختلاف السعة الانتاجية لمحطة التحلية في حين أن ١٣,٤% ترجع إلى عوامل أخرى منها الخطأ العشوائي، كما أن قيمة (Sig) تساوي صفر وهي أقل من مستوى معنوية ١%

وبالتالي نرفض الفرض العدمي القائل بأن نموذج الانحدار غير معنوي ونقبل الفرض البديل.

ومن هنا نخلص إلى أنه لا يمكن تحديد سعر ثابت لتكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة حيث تراوح بين (٠,٦٦١، ١,٥٥١) دولار/ م^{٣} في حالة المحطات ذات السعة الانتاجية الصغيرة المخصصة لتحلية مياه الآبار عالية الملوحة (Brackish Water)، إذ أن الأمر يتوقف على مجموعة العوامل السابق ذكرها، حيث أثبتت النتائج أن استخدام الوقود النووي يعد خياراً استراتيجياً وفعالاً نظراً لانخفاض تكلفته كما يمتاز بانخفاض آثاره السلبية على البيئة المحيطة مقارنة بالوقود التقليدي، وعلى الرغم من أنه لا يعد من البدائل المتاحة للاستخدام في مصر حالياً إلا أنه قد تم تقدير تكلفة وحدة المياه المحلاة باستخدامه نظراً للبدء في اجراءات إنشاء أول محطة وقود نووية بمنطقة الضبعة، وبناءً عليه فإن الخيارات المتاحة حالياً هي الاعتماد على الوقود الأحفوري أو الطاقة الشمسية لتشغيل محطات التحلية، وتمشياً مع تحقيق أهداف التنمية المستدامة بالأراضي الجديدة ونظراً لنقص امدادات الوقود بتلك الأراضي، فقد يكون الاعتماد على المصادر الطبيعية المتوفرة بتلك الأراضي كمصدر للطاقة اللازمة لتشغيل محطات التحلية هو الحل الأمثل لتوفير المياه العذبة للمجتمع الصحراوي وبتكلفة مناسبة.

ثانياً: تقدير الربحية المالية لمشروع الإدارة المتكاملة لمحطة تحلية مصغرة تعمل بالطاقة المتجددة في منطقة الشلاتين (اختبار صحة الفرض الخامس):

في محاولة تحقيق الاستفادة القصوى من مشروعات تحلية المياه بمنطقة الشلاتين والتي تستهدف في المقام الأول تحقيق العدالة الاجتماعية بتوفير مياه نقية صالحة للشرب لمجتمع الدراسة، فإن العمل على رفع الكفاءة الاقتصادية تحت مظلة الاستدامة الإيكولوجية يعد هدفاً آخر لإدارة ذلك المشروع بصورة متكاملة، حيث يتم تلافي الآثار البيئية السالبة لحقن المحلول الملحي الناتج من تلك المحطة والذي تبلغ درجة تركيز الأملاح فيه (37000 ppm) الأمر الذي قد يزيد من تملح الأراضي بالمنطقة، وإعادة استخدامه بعد اجراء عمليات المعالجة اللازمة لاستزراع الجمبري بالاعتماد على تقنية البيوفلوك وبالتالي رفع الكفاءة الاقتصادية للموارد المتاحة بالمنطقة، إلا أن ارتفاع درجة الملوحة لتلك الدرجة قد لا يمكن معه استكمال

باقي النموذج المقترح للإدارة المتكاملة لمحطات تحلية المياه باستزراع المحاصيل العلفية ذلك لتخطي ذلك المحلول للحدود القصوى لتحمل تلك النباتات لنسب الأملاح المركزة في المياه التي يمكن ريها بها، لذا فإنه يكتفي هنا بمرحلة الاستزراع السمكي، ولتقييم ربحية الاستثمار في هذا المجال يتم استخدام المعايير التالية:

الفروض المستخدمة في التحليل المالي للمشروع: اعتمد التحليل على عدة ثوابت فرضية يقوم عليها تحليل الربحية التجارية للمشروع وهي كالتالي:

١-قدرت اجمالي التكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل السنوية والايرادات الكلية لمشروع الإدارة المتكاملة لمحطة تحلية مياه مصغرة تعمل بالطاقة المتجددة وفقاً لمتوسط أسعار عام ٢٠١٦-٢٠١٧، وقد تم تقديرها بالدولار الأمريكي تفادياً لعدم ثبات سعر صرف الجنية المصري، كما افترض ثباتهم خلال العمر الانتاجي والمقدر بعشرون عاماً.

٢-استخدم سعر خصم ١٥% (وهو يمثل نفقة أفضل فرصة بديلة متاحة لاستثمار رأس المال في المجتمع خلال متوسط عامي ٢٠١٦-٢٠١٧) لتقدير القيمة الحالية لصافي التدفقات النقدية.

٣-تم حساب القيمة التخريدية لوحدتي التحلية والطاقة وكذلك الآلات والمعدات على أساس أنها تساوي ١٠% من قيمتها الحالية، تضاف قيمتها ضمن التدفقات النقدية للعام العشرون.

٤-في ضوء المخاطر التي قد يتعرض لها المشروع سواء في مجال الإنتاج أو التسويق مثل انخفاض الإنتاجية وارتفاع أسعار مستلزمات الإنتاج أو انخفاض أسعار المنتج، لذا استخدمت الدراسة أسلوب تحليل الحساسية لمواجهة تلك المخاطر التي قد تنتاب هذا النشاط، حيث افترضت الدراسة حدوث زيادة بواقع ١٠% للتكاليف التي بني عليها التحليل، أو انخفاض العائد بنفس النسبة، وأخيراً احتمال حدوث الاثنين معاً.

وتوضح بيانات الجدول رقم (٦) تقديرات معايير التحليل المالي للمشروع كالتالي:

جدول رقم(٦): نتائج التحليل المالي للمشروع

المعيار	بيان		تحليل الحساسية					
			ارتفاع التكلفة ١٠%		انخفاض الايراد ١٠%		الاثنين معاً	
(P.B.P)	شهر	سنة	شهر	سنة	شهر	سنة	شهر	سنة
	٥	٣	١	٤	٨	٤	١١	٥
(NPV)	$ ٢٨٧٣٠٦		$ ١٨٤١٠٩		$ ١٢١٣١٥		$ ١٨٠٥٦	
(CBA)	١,٨٤		١,٥٣		١,٣٥		١,٠٥	
(IRR)	%٢٩,١٤		%٢٤,٣		%٢١,٣٦		%١٦	

المصدر: نتائج تحليل بيانات الدراسة الميدانية باستخدام برنامج *Cost Benefit Analysis*.

ومما سبق يتضح امكانية استرداد رأس المال المستثمر خلال ثلاث سنوات وخمسة أشهر، كما بلغت صافي القيمة الحالية للتدفقات النقدية ٢٨٧٣٠٦ $، وأشار تقدير معيار نسبة العائد إلى التكلفة ١,٨٤، أما معدل العائد الداخلي فقد سجل نسبة ٢٩,١٤% وهو أعلى من تكلفة الفرصة البديلة المتاحة في مجتمع استثمار رأس المال والتي يمثلها متوسط سعر الفائدة التجاري السائد في الوقت الحالي والبالغ ١٥% الأمر الذي يشير إلى جدوى التوسع في اقامة تلك الأنشطة، في حين تشير تقديرات معايير التقييم المالي وفقاً لتحليل الحساسية (زيادة التكاليف بواقع ١٠%)، (انخفاض العائد بمقدار ١٠%)، (الاثنين معا)إلى أن المشروع لا يزال يحقق معدلات مرضية حيث أشارت إلى امكانية استرداد رأس المال المستثمر خلال فترات (أربع سنوات وشهر، أربع سنوات وثمانية أشهر، خمس سنوات واحدى عشر شهراً)، كما بلغ صافي القيمة الحالية للتدفقات النقدية (١٨٤١٠٩، ١٢١٣١٥، ١٨٠٥٦)، وكانت تقديرات معيار نسبة العائد إلى التكلفة (١,٥٣، ١,٣٥، ١,٠٥)، كماد سجلت معدلات العائد الداخلي نسباً قدرها (٢٤,٣%، ٢١,٣٦%، ١٦%) وذلك للاحتمالات الثلاثة السابقة على التوالي، ومما سبق أنه بقياس أثر التغيرات المحتملة في المتغيرات الاقتصادية على كفاءة الاستثمار في ذلك النشاط فإنه لا يزال يحقق معدلات مرضية بالنسبة لمؤشرات التقييم المستخدمة الأمر الذي يؤكد على سلامة الاستثمار في الوحدات الانتاجية محل الدراسة.

ملخص النتائج:

استهدف البحث دراسة اقتصاديات إدارة المحطات المصغرة لتحلية مياه الآبار عالية الملوحة بصورة متكاملة تحقيقاً لأغراض التنمية المستدامة بالأراضي الصحراوية، وذلك من خلال بناء نماذج محاكاة (Simulation Models) لتقدير تكلفة وحدة المياه المحلاة بمعلومية مجموعة المتغيرات المستقلة المؤثرة فيها (درجة ملوحة مياه المصدر، درجة ملوحة المياه المنتجة، درجة حرارة مياه المصدر، السعة الانتاجية لمحطة التحلية، موقع المحطة، نوع الوقود المستخدم كمصدر للطاقة) باستخدام البرنامج الاحصائي (DEEP) لتقييم وتحليل هيكل تكلفة وحدة المياه المحلاة، مع تحديد صورة الرياضية للعلاقة التي تربط كل متغير مستقل بالمتغير التابع (تكلفة وحدة المياه المحلاة) في صورة معادلة انحدار خطي بسيط (Simple Linear Regression Equation) بهدف التعرف على درجة تأثير كل عامل على تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة، اخيراً تم استخدام أسلوب التحليل المالي لتقدير الربحية التجارية لنموذج مشروع الإدارة المتكاملة لمحطة تحلية مياه تعمل بالطاقة المتجددة بمنطقة الشلاتين وكانت النتائج كالتالي :

١-**<u>بالنسبة للتحليل الاقتصادي لتكلفة وحدة المياه المحلاة</u>** تبين أن هنالك مجموعة من العوامل أثرت على تكلفة انتاج وحدة المياه المحلاة على النحو التالي:

<u>١/١ درجة ملوحة مياه المصدر:</u> أظهرت النتائج أن ارتفاع درجة ملوحة المياه من (ppm ٢٠٠٠) إلى (ppm ٤٨٠٠٠) أدى إلى زيادة تكلفة انتاج وحدة المياه من (٠,٦٦١، ٠,٨٠٥، ٠,٨٣٩) دولار/م^{٣} إلى (٠,٩٠٨، ١,١٧٨، ١,٢٤٢) دولار/م^{٣} بنسبة زيادة قدرها (٣٧%، ٤٦%، ٤٨%) لإنتاج متر مكعب من المياه باستخدام أنواع مختلفة من الوقود (وقود نووي، سولار، فوتو فولطية)، وذلك نتيجة ارتفاع تكلفة الطاقة اللازمة لإنتاج وحدة المياه (٠,١٥٠، ٠,٢٩٠، ٠,٣٢٨) دولار/م^{٣} إلى (٠,٢٨٥، ٠,٥٤٥، ٠,٦١٦) دولار/م^{٣}، كذلك ارتفاع اجمالي تكاليف استهلاك المواد الكيميائية، الأغشية والصيانة للوحدة المنتجة من (٠,١٦٥، ٠,١٦٩، ٠,١٦٥) دولار/م^{٣} إلى (٠,١٨٦، ٠,١٩٣، ٠,١٨٦) دولار/م^{٣}، كما تأثر نصيب وحدة المياه من التكلفة الرأسمالية وسجل ارتفاعاً من ٠,١٦٦ إلى ٠,٢٦٠ دولار/م^{٣}.

وبتقدير نماذج الانحدار لتلك العلاقة تبين وجود علاقة طردية ومعنوية احصائياً عند مستوى ١%، وكانت قيمة (R^2) (٩٦,٩%، ٩٧,٩%، ٩٨%) لنماذج الانحدار لأنواع الوقود (النووي، السولار، الفوتو فولطية) على التوالي.

<u>١/٢ درجة حرارة مياه المصدر:</u> اتضح أن ارتفاع درجة حرارة مياه المصدر من(١٥°) إلى(٣٧°) قد أدى إلى انخفاض تكلفة انتاج وحدة المياه من (٠,٨٥٥، ١,٠٦٢، ١,١١٧) $/م^3 باستخدام كل من الوقود النووي، السولار، الطاقة الشمسية على التوالي إلى (٠,٨٠٦، ٠,٩٨٢، ١,٠٣٤) $/م^3، نتيجة لانخفاض كمية الطاقة اللازمة لإنتاج وحدة المياه المحلاة وبالتالي انخفضت تكلفة من (٠,٤٣٥،٠,٢٣١، ٠,٤٩٣) $/ م^3 إلى (٠,٢٠٢، ٠,٣٧٥، ٠,٤٣٠) $/ م^3، وانخفضت تكلفة استهلاك المواد الكيميائية من ٠,٠٦٨ $/م^3 إلى ٠,٠٤٨ دولار/م^3، وعند تقدير نماذج الانحدار لتلك العلاقة تبين وجود علاقة عكسية ومعنوية احصائياً عند مستوى ١%، وكانت قيمة (R^2) (٩٩%، ٩٧,٥%، 96%) للثلاثة أنواع من الوقود على التوالي.

<u>١/٣ نسب تركيز الأملاح في المياه المنتجة:</u> اتضح أن زيادة درجة تركيز الأملاح في المياه المنتجة من (٥٠) إلى (١٠٠٠) قد أدى إلى انخفاض تكلفة انتاج وحدة المياه من (٠,٨٤٢٠، ١,٠٤٠٠، ١,٠٩٣٥) دولار/م^3 باستخدام الوقود النووي، السولار، الطاقة الشمسية على التوالي إلى (٠,٨٣١٠، ١,٠٢٩٠، ١,٠٨١٠) دولار/م^3 نتيجة انخفاض تكلفة استهلاك الأغشية المستخدمة في حال انتاج مياه بتركيز أملاح أعلى، بالإضافة إلى انخفاض في كمية الطاقة المستهلكة، وأظهرت نماذج الانحدار وجود علاقة عكسية ومعنوية احصائياً عند مستوى ١%، وسجلت قيم (R^2) (٩٩%) لنماذج الانحدار لأنواع الوقود الثلاث.

<u>١/٤ السعة الانتاجية لمحطة التحلية:</u> تبين زيادة السعة الانتاجية لمحطات التحلية من ١٠-١٥٠ م^3/يوم قد أدى إلى انخفاض تكلفة تحلية المتر المكعب من (١,٣٠٢، ١,٥٠٠، ١,٥٥١) دولار/م^3 إلى (٠,٧٨٤، ٠,٩٨٢،١,٠٣٣) دولار/م^3 باستخدام كل من الوقود النووي، السولار، الطاقة الشمسية على التوالي، نتيجة لانخفاض نصيب وحدة المياه من التكلفة الرأسمالية لمحطة التحلية، وقد أكدت نماذج الانحدار على وجود علاقة عكسية معنوية

احصائياً عند مستوى ١%، بينما كانت قيمة (R^2) (٨٦,٦%) لنماذج الانحدار للثلاثة أنواع من الوقود.

٢-<u>تقدير الربحية المالية لمشروع الإدارة المتكاملة لمحطة تحلية مصغرة تعمل بالطاقة المتجددة في منطقة الشلاتين</u>

أظهرت نتائج التحليل المالي أن فترة استرداد رأس المال كانت ثلاث سنوات وخمسة أشهر، كما بلغت القيمة الحالية للتدفقات النقدية (NPV) (٢٨٧٣٠٦ $)، بينما كانت نسبة المنفعة إلى التكلفة (CBA) (١,٨٤)، أما معدل العائد الداخلي (IRR) فكانت نسبته (٢٩,١٤)%، وبقياس أثر التغيرات المحتملة في المتغيرات الاقتصادية على كفاءة الاستثمار في ذلك النشاط فإنه لا يزال يحقق معدلات مرضية بالنسبة لمؤشرات التقييم المستخدمة الأمر الذي يؤكد على سلامة الاستثمار في الوحدات الانتاجية محل الدراسة.

التوصيات

في ضوء ما توصل إليه البحث من نتائج بشكل عام، وبخصوص تنمية العديد من الأراضي الصحراوية بصورة مستدامة، فإنه يمكن التوصية ببعض المقترحات من اجل زيادة كفاءة استخدام الموارد الطبيعية المتاحة بتلك الأراضي علي النحو التالي:

١- إدارة المشروعات التنموية بصفة عامة ومشروعات الموارد المائية بصفة خاصة بصورة متكاملة يراعى فيها رفع الكفاءة الاقتصادية وتحقيق العدالة الاجتماعية تحت مظلة الاستدامة الايكولوجية لتحيط بمثلث يمثل عناصر التنفيذ، مع التشديد على أهمية ابقائها متحدة في جميع قرارات وطرق التنفيذ، خاصة في ظل أوضاع شح المياه بالمناطق الجافة وشبة الجافة.

٢-وضع استراتيجية قومية لتحلية المياه في مصر تلبى احتياجات الدولة حتى ٢٠٣٠ – ٢٠٥٠ تمشيا مع استراتيجيات الدولة لسد العجز في الموارد المائية تنبثق عنها سياسات تنفيذية وأطر مؤسسية وتمويلية ويتم على أساسها وضع الخطط والمشروعات.

٣-تكاتف جهود كل الجهات والهيئات المعنية بتحلية المياه في مصر لوضع خريطة تحلية المياه بمصر وتحديد مناطق مآخذ المياه المستوفاة للشروط البيئية والصحية، مع التحديد الدقيق للخصائص الطبيعية لتلك المياه.

٤-التوسع في استغلال الطاقات الجديدة والمتجددة في تشغيل محطات التحلية.

٥-عمل دراسات لآليات تطوير قرارات التصنيع المحلي لمكونات محطات التحلية.

٦-توسيع الاستفادة من ناتج محطات التحلية من المياه عالية الملوحة لزيادة إنتاجية المحطة وتعظيم العائد الاقتصادي، مع حماية البيئة من التلوث الناتج من صرف المياه المركزة، وذلك بإنشاء مجموعة من المشروعات ذات الصلة الأمامية والخلفية بصناعة التحلية.

المراجع

أويس عطوه الزنط(١٩٩٢): مناهج استخدام التقنية الحديثة في التحليل الاقتصادي لأسس تقييم المشروعات ودراسات الجدوى، المكتبة الأكاديمية

سمير محمد عبد العزيز(٢٠٠٠): الجدوى الاقتصادية للمشروعات الاستثمارية وقياس الربحية التجارية والقومية،مكتبة الإشعاع، الإسكندرية

محمد المعالج(٢٠٠٨): صالح بوقشة (دكتور)، واقع وآفاق تحلية المياه في الوطن العربية ومدى إمكانية استخدام الطاقات المتجددة، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، إدارة برامج العلوم والبحث العلمي

محمد منير مجاهد(٢٠١٢): وآخرون، مصادر المياه في مصر وآفاق تنميتها، المكتبة الأكاديمية القومية

أحمد محمد على يوسف(٢٠١٧): وآخرون خارطة طريق مستقبل التحلية في مصر، تقرير غير منشور، مركز بحوث الصحراء

برنامج الأمم المتحدة الانمائي(٢٠٠٦): "أبعد من الندرة: القوة والفقر وأزمة المياه العالمية"، تقرير التنمية الإنسانية ٢٠٠٦، نيويورك، منشورات الأمم المتحدة

كريستوف براشيه، دانيال فالنسويلا، الإدارة المتكاملة للموارد المائية في أحواض الأنهار والبحيرات وطبقات المياه الجوفية العابرة للحدود، ٢٠١٢

محمود محمد صقر وآخرون(٢٠١١): خارطة طريق تحلية المياه، تقرير غير منشورة، وزارة البحث العلمي والتكنولوجيا، أكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا، مجلس علوم المياه

Agarwal et al. Integrated Water Resource Management, Global water partnerships, Technical Advisory Committee, 2000.

Asmerom M. Gilau & Mitchell J. Small, Designing Cost Effective Sea Water Reverse Osmosis System Under Optimal Energy Options for Developing Countries, Carnegie Mellon University, Civil & Environmental Engineering and public Policy, Proceeding of the International Conference of Renewable Energy of Developing Countries,2006.

B. S. Richards and A. I. Schafer, Renewable Energy Powered Water Treatment Systems, Sustainability Science and Engineering, vol. 2, no. Sustainable Water for the Future: Water Recycling Versus Desalination, 2010.

C. Li, Y. Goswami and E. Stefanakos, Solar assisted sea water desalination: Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 19, pp. 136-163, December 2013.

Dalia E. Abo Zaid, Economic analysis of a stand-alone reverse osmosis desalination unit powered by photovoltaic for possible application in the northwest coast of Egypt, Desalination and Water Treatment, DOI, 10.1080/19443994.2014.911704,April 2014.

Hisham T. El-Dessouky, Hisham M. Ettouney, Fundamentals of Salt water Desalination.

Hafez, S. El-Manharawy, Economics of seawater RO desalination in the Red Sea region, Egypt, Part 1.A case study, Desalination 153, pp. 335–347, (2002).

International Atomic Energy Agency, Examining the economics of seawater desalination using the DEEP Code, Nuclear power Technology Development Section, Vienna, Austria, November, 2000.

Mirei Isaka & Giorgio Simbolotti, Water Desalination Using Renewable Energy, IEA, ETSAP and IRENA, Technology Policy Brief I 12 January, 2013.
M. Shatat, M. Worall and S. Riffat, Opportunities for Solar Water Desalination World Wide Review, Sustainable Cities and Society, Vol.9, 2013.

INTEGRATED MANAGEMENT ECONOMIES OF HIGH SALINITY WATER WELLS DESALINATION IN DESERT LANDS.

[16]

Aly, Abeer, F.(1); EL.kassas, H. I.(2); Abo Zaid, Dalia. E.(3) and Abd Alaziz, M. O.(3)
1) Faculty of Commerce , Ain Shams Unevirsty. 2) Institute of Environmental Studies and Research , Ain Shams University 3) Desert Research Center.

ABSTRACT

The research aims to reach for integrated management economies of small water desalination plants, to achieve sustainable development in the desert lands, by studying how to apply integrated management methods of high-salinity wells desalination plants, also estimate the cost of desalinated water unit produced from reverse osmosis desalination plants powered by solar energy by changing of independent variables that effect on cost finally, a financial analysis of the model of the integrated management project of a desalination plant powered by renewable energy in Al Shalatin area has been done, The main results were as follows:

(1): Increasing the salinity of water from (ppm 2000) to (ppm 48000) led to an increase in the cost of water unit production from $ 0.839 - $ 1.242 / m^3.

(2): Increasing water temperature from (15) to (37) reduced the cost from $ 1.117-1.034 / m3.
(3): Increased salinity concentration in water produced from 50 to 1000 ppm resulted in a lower cost of 1.0935 - 1.0810 $ / m3.
(4): Increasing the production capacity of the desalination plant from 10 m3 / day to 150 m3 / day led to a decrease in desalination cost of cubic meter of desalinated water from 1.551 to 1.033 $.
(5): The financial profitability of the project shows that the payback period was (four years and five months), (NPV) was (46657.21 $), the proportion of (CBA) (1.41), and (IRR) was 22.45%, which indicates the profitability of investment in such projects.
Keywords: economics of desalination - reverse osmosis - water scarcity - simulation models.