# إطار مقترح لاستخدام محطات القوى النووية في تحلية مياه البحر وإنتاج الهيدروجين في تحقيق الاستدامة البيئية

**سامح على الخولي [1]– نهى سمير دنيا [1]– هدى إبراهيم هلال [1]– أبو بكر عنتر بخيت [2]**
**محمد موسى عمران [3]**
1) كلية الدراسات العليا والبحوث البيئية، جامعة عين شمس 2) هيئة المواد النووية 3) جهاز تنظيم مرفق الكهرباء وحماية المستهلك

## المستخلص

تهدف هذه الدراسة الى تعزيز مبدأ الاستدامة البيئية من خلال تطبيقات الطاقة النووية في تحلية مياه البحر وإنتاج الهيدروجين. تأتي أهمية تحلية مياه البحر في المساهمة في سد فجوة العجز المائي حيث إن مصر تعاني من تزايد في فجوة العجز المائي، وقد أوضحت الدراسات أن نصيب الفرد من المياه قد يصل إلى الربع من القيمة الموصي بها عالميا حتى عام 2050. يؤثر ثاني أكسيد الكربون المنبعث من استخدام الوقود الأحفوري على تغير المناخ سلبا والذي يعد أحد أكبر تحديات القرن الحادي والعشرين، وحيث أن استخدام الطاقة النووية في إنتاج الهيدروجين سيؤدى إلى تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون مما ينعكس بشكل إيجابي على تغير المناخ، ومن هنا تأتي أهمية إنتاج الهيدروجين من الطاقة النووية. تم في هذا البحث إبراز دور الطاقة النووية في الاستدامة البيئية من خلال استخداماتها المتنوعة في قطاعات مختلفة مثل (الصناعي – الطبي – الزراعي – النقل ...الخ) وتم التركيز على تقنية تحلية مياه البحر وإنتاج الهيدروجين بالطاقة النووية. وقد أدت الدراسة إلى توضيح دور الطاقة النووية في المساهمة في الحد من تغير المناخ من خلال خفض الغازات الدفيئة وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري ومساهمتها في سد فجوة العجز المائي، وتقليل الطلب على الوقود الأحفوري بتأمين متطلباتنا من وقود خالي من الانبعاثات الكربونية مثل الهيدروجين من خلال إمداد (محطات تحلية مياه البحر / المحللات الكهربية) بالطاقة الكهربية أو الحرارية المتولدة من محطات الطاقة النووية، كذلك قدمت هذه الدراسة مقارنة بين طرق تحلية المياه المختلفة باستخدام مصادر طاقة متنوعة. أوضحت نتائج هذه المقارنة أن اقل الطرق المستخدمة سعرا طريقة التناضح العكسي المغذاة كهربيا من محطة نووية.
**الكلمات المفتاحية:** الطاقة النووية، الاستدامة البيئية، تحلية المياه، إنتاج الهيدروجين.

## مقدمة البحث

تعتبر المياه العذبة الصالحة للاستخدام الأدمي وتوفير مصادر للطاقة بديلة للوقود الأحفوري من اهم المسائل التي تمس الأمن القومي لأي دولة، حيث تؤدى ندرة الموارد الطبيعية للمياه العذبة ونقص الوقود الأحفوري في العالم إلى نشوب الحروب بين الدول. إن من أهداف الاستدامة البيئية حصول جميع البشر بشكل منصف على مياه الشرب المأمونة والصالحة للاستخدام سواء في الشرب أو الزراعة أو الاستخدامات الأخرى والميسورة التكلفة، كما أفادت منظمة الصحة العالمية أن عدد الأشخاص الذين يستخدمون مصادر المياه المحسنة المتوافرة في أماكن استخدامها وغير الملوثة حوالي 6 مليارات شخص في عام 2022 بينما هناك عدد 2,2 مليار شخص مفتقرين إلى الحصول على المياه المؤمنة بشكل مستدام وبطريقة مأمونة. تعاني مصر من الشح المائي حسب تقرير التنمية البشرية الصادر من وزارة التخطيط 2021، حيث تم التنبؤ في هذا التقرير بهبوط نصيب الفرد من المياه العذبة الصالحة للاستخدام من عام 2018 الى عام 2050 من 585 م$^3$ إلى 303 م $^3$ .


الترقيم الدولي الموحد للطباعة ISSN 1110-0826
الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني 2636-3178

وتعد صناعة إنتاج الهيدروجين النظيف والخالي من الانبعاثات الكربونية في مصر متفقا مع توجهات مصر من أجل تحقيق رؤية مصر 2030 (التنمية المستدامة والاستدامة البيئية) والتي تركز على أن الطاقة عنصر اقتصادي وبيئي أساسي لتحقيق مبدأ المحافظة على تغير المناخ، كما أن إقامة هذه المشروعات التنموية تتفق مع تصديق مصر على اتفاقية باريس لمواجهة تغير المناخ والتي تهدف بشكل أساسي إلى إزالة الكربون من الأنشطة المختلفة سواء الاقتصادية أو الصناعية، ومن هذا المنطلق يتضح أن هناك حاجة ماسة وملحة لإقامة هذه المشروعات التي تعمل على تعزيز مكانة مصر أمنيا وإقليميا كمركز رئيسي في قارتي أسيا وأفريقيا، كما تعزز موقف مصر أيضا اتجاه صادراتها من المنتجات الصناعية المختلفة إلى دول الاتحاد الأوروبي، حيث أن هذه الدول تعتزم تطبيق نظام شهادات المنشأ الكربونية بالإضافة الى الضريبة الكربونية والتي تتزايد على الواردات وذلك نتيجة لتوقيعها والتزامها بتطبيق اتفاقية باريس.

## مشكلة البحث

تعد ندرة الموارد المائية من أهم العوامل المؤثرة في تحقيق الاستدامة البيئية، 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$^3$ سنويا( مياه النيل55,5 مليار م$^3$ ، ومياه الأمطار والسيول 1,33 مليار م$^3$ ) أما الموارد غير التقليدية (19,17 مليار م$^3$) وبالتالي يصل إجمالي المتاح من المياه إلى (76,00 مليار م$^3$) سنويا، وتتمثل مشكلة الدراسة أيضا في أن مصر ليست دولة غنية بمصادر الطاقة الأحفورية (ليست دولة بترولية)، كما أن الطاقة الأحفورية هي طاقة ناضبة بطبيعتها وتتسبب في الانبعاثات المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري. من أجل الاستدامة وترشيد الاستهلاك للأجيال القادمة كان لابد من البحث عن تقنيات جديدة ومستدامة لتحلية مياه البحر، حيث إنها أحد الحلول الواعدة في المستقبل القريب لتقليل الفجوة المائية المتوقعة في الأعوام القادمة لمصر.

يعد إنتاج وقود الهيدروجين الذى تتجه له أنظار كل دول العالم في هذه الأيام من الحلول الواعدة لتقليل الانبعاثات الكربونية نظرا لحفاظة على البيئة وذلك باستخدام الحرارة الكامنة والخارجة من محطات القوى النووية وتعتبر مكان إقامة المحطة النووية المصرية الأولى بمدينة الضبعة إحدى مدن محافظة مطروح من الأماكن الصحراوية التي تحتاج إلى توافر المياه العذبة الصالحة للشرب والزراعة وتوفير مصدر وقود نظيف وذلك نظرا لزيادة الأعداد السكانية والمشاريع الاقتصادية المتوقع إنشائها في هذه المنطقة على أثر إنشاء المشروع النووي المصري.

## فروض البحث

استناداً إلى مشكلة الدراسة فقد قام الباحثون بصياغة الفروض التالية بهدف اختبارها والتأكد من صحتها:

**الفرض الأول:** هناك علاقة جوهرية ذات دلالة معنوية بين تحلية مياه البحر وتقليل فجوة العجز المائي بمصر وزيادة نصيب الفرد من المياه.

**الفرض الثاني:** هناك علاقة جوهرية ذات دلالة معنوية بين تحلية مياه البحر بمحطات القوى الكهربية (النووية) والعائد الاقتصادي منه – ويمكن إثبات صحة هذا الفرض باستخدام العديد من النتائج المتحصل عليها من البرنامج باستخدام البرنامج الإحصائي الاقتصادي DEEP .

**الفرض الثالث:** هناك علاقة جوهرية ذات دلالة معنوية بين إنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقة المتولدة من محطات القوى النووية والأثر الإيجابي على البيئة والتكلفة الاقتصادية لإنتاجه.

## متغيرات الدراسة

- **المتغير المستقل:** تعظيم دور الطاقة النووية من خلال تنافسية تكلفة إنتاج كيلو وات من الكهرباء من محطات القوى النووية لتوليد الكهرباء.
- **المتغير التابع:** 1- التكلفة الاقتصادية لتحلية المياه. 2- التكلفة الاقتصادية لإنتاج الهيدروجين.

## أسباب اختيار البحث

يرجع اختيار موضوع التحلية وإنتاج الهيدروجين كأحد التطبيقات الحديثة للاستفادة من الطاقة النووية للأسباب التالية:

1- توضيح مصطلح التنمية المستديمة وأثرة على الاستدامة البيئية الذي أصبح العالم بأسره ينادي بضرورة تحقيقها

2-معرفة العلاقة الموجودة بين الطاقة النووية والتنمية المستدامة كمصطلح جديد يلقى القبول من كافة أطراف المجتمع الدولي وذلك من خلال ادخال تقنيات حديثة مثل تحلية المياه وانتاج الهيدروجين.

3-دراسة وتعظيم الأهداف الاقتصادية والاجتماعية والبيئية لتأثير الطاقة النووية على حياة الأفراد من خلال سد فجوة العجز المائي المتوقعة في مصر وكذلك إنتاج وقود غير ملوث للبيئة.

## أهداف البحث

يهدف البحث بصورة رئيسية الى وضع إطار مقترح من خلال إلقاء الضوء على اقتصاديات إدارة المحطات النووية في التطبيقات التي تهدف إلى التنمية المستدامة. يتحقق ذلك عن طريق تحلية مياه البحر وكذلك إنتاج الهيدروجين. تبدأ هذه العملية بدراسة الوضع الراهن لتحلية المياه بمصر وتحليل آليات تطبيق أسلوب الإدارة المتكاملة للمحطة النووية في تحلية المياه وإنتاج الهيدروجين. بالإضافة إلى بناء نماذج محاكاة لتقدير تكلفة إنتاج وحدة المياه المحلاة ووحدة الهيدروجين بمعلومية المتغير المستقل المؤثر فيها.

## أهمية البحث

تتمثل أهمية هذا البحث في أنه تناول موضوعا يرتبط بتأمين إمدادات مصر من المياه العذبة والطاقة النظيفة على المدى المتوسط والبعيد في إطار خريطة الطاقة المتجددة والتنمية المستدامة وتحقيق رؤية مصر 2030، وسيتم فيها تسليط الضوء على الأثر الاقتصادي والبيئي للطاقة النووية ودورها في استخدام تطبيقات تكنولوجية غير كهربية. ترجع أهمية هذا البحث أيضا إلى كونه أحد الدارسات التطبيقية التي تُساهم في دعم واتخاذ القرار الخاص بالتنمية المستدامة للعديد من المناطق الصحراوية ومن هنا تأتى أهمية الدراسة الحالية في محورين رئيسين:

**الأول: الأهمية العلمية للدراسة:** تهدف هذه الدراسة الى تقديم إضافة علمية من خلال دراسة خصائص المحطات النووية ومعرفة الطاقات الكهربية والحرارية الخارجة منها وذلك بإعادة توجيها مرة ثانية للاستفادة منها في تحلية مياه البحر وتوفير المياه العذبة الصالحة للشرب وكذلك إنتاج الهيدروجين حيث من المتوقع أن يكون طاقة المستقبل.

**الثاني: الأهمية التطبيقية:** تتمثل فيما يمكن أن تتوصل إليه الدراسة من نتائج تؤدى إلي تأمين الإمدادات بالمياه العذبة خلال الفترة القادمة، والتي سيكون لها بالغ الأثر في المساهمة في سد فجوة العجز المائي بمصر، وكذلك تطوير الاستراتيجية القومية للطاقة من خلال استخلاص الهيدروجين الذى سيتم استخدامه في نواحي صناعية مختلفة كوقود


الترقيم الدولي الموحد للطباعة ISSN 1110-0826
الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني 2636-3178

نظيف للسيارات أو مجال توليد الكهرباء، حيث سيتم مزجة مع الوقود المستخدم في محطات الطاقة التقليدية مما يحسن أداء المحطات الكهربية.

## مصطلحات البحث

**الطاقة النووية:** شكل من أشكال الطاقة الناتجة من تفاعل ذري يحدث خلال عملية تسمى الانشطار النووي والتي ينتج عنها طاقة حرارية من خلال انقسام ذرات اليورانيوم، وبالتالي فإن محطة الطاقة النووية تستخدم الحرارة التي يتم إنتاجها أثناء عملية الانشطار لتوليد البخار من أجل تشغيل التوربينات التي تولد الكهرباء. (**الوكالة الدولية للطاقة الذرية – https://www.iaea.org/ar**).

**التنمية المستدامة:** هي التنمية التي تلبي احتياجات الحاضر، دون المساس بحق الأجيال القادمة عن طريق تلبية احتياجاتهم الخاصة (تقرير براند تلاند 1987) وأبعادها ما يلي:

1- **البعد البيئي:** القدرة على الاستمرار في الحفاظ على الموارد الطبيعية والعمل على تطويرها مما يساهم في الحفاظ على البيئة من ظواهر تغير المناخ والعمل على زيادة المساحات الخضراء.

2- **البعد الاقتصادي:** خفض الاستهلاك من الطاقة الأحفورية والموارد البترولية والتحول كليا إلى أنماط في الحياة تعتمد على الطاقات الجديدة والمتجددة والطاقة النظيفة.

3- **البعد الاجتماعي:** تطوير مستوى الخدمات الصحية والتعليمية والسعي من أجل استقرار النمو السكاني ووقف تدفق الأفراد على المدن وذلك لتحقيق أكبر قدر ممكن من المشاركة الشعبية في التخطيط للتنمية المستدامة.

ونستطيع أن نستخلص من تقرير براند تلاند أن الاستدامة البيئية هي تحقيق التوازن البيئي بين المجتمع والبيئة والاقتصاد، وتهدف الاستدامة البيئية إلى المحافظة على النظم البيولوجية بما يضمن تحقيق التنمية الاقتصادية بطرق تحافظ على البيئة وتحقق العدالة الاجتماعية بين جميع أفراد المجتمع.

## منهج البحث

يعتمد الباحثون في هذه الدراسة على منهجين متكاملين هما:

**المنهج النظري:** دراسة وتحليل واستقراء الدراسات والأدبيات والتجارب السابقة للدول في مجال الاستدامة البيئة بشكل عام وفى مجال الطاقة النظيفة المتعلقة بالطاقة النووية بشكل خاص، وكذلك المعرفة والإلمام بالبرامج التي قامت الوكالة الدولية للطاقة الذرية بتحديثها وتطويرها مثل برنامج DEEPالخاص بتحلية المياه وكذلك برنامج HEEP الخاص بإنتاج الهيدروجين.

- **برنامج DEEP**:(Desalination Economic Evaluation Program ) برنامج تم اعتماده من الوكالة الدولية للطاقة الذرية للتقييم الاقتصادي للتوليد المشترك وتحلية مياه البحر ويحتوى على نماذج مبسطة لعدة أنواع من محطات الطاقة الأحفورية والطاقة النووية مع محطات التحلية المختلفة ويهدف هذا البرنامج الى إبراز القيمة الاقتصادية للمشروع من خلال إتاحة المقارنة بين البدائل التصميمية المختلفة مع ثبات الافتراضات كذلك تحديد التكلفة التقديرية لكمية المياه المحلاة بدلالة كمية المياه المطلوبة ودرجة الحرارة ودرجة ملوحة البحر.

- **برنامج HEEP**:(Hydrogen Economic Evaluation Program ) برنامج تم تطويره من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية ويعمل البرنامج على حساب اقتصاديات إنتاج الهيدروجين من المصادر المختلفة للطاقة سواء التي تعمل بالوقود الأحفوري أو النووي ويتضمن أيضا بجانب حساب تكلفة الإنتاج حساب تكلفة التخزين والنقل والتسليم وذلك عن طريق خوارزميات وعلاقات رياضيه يستخدمها البرنامج، وتشتمل عناصر التكلفة على اقتراض الفوائد والضرائب ويستطيع البرنامج أيضا حساب تكلفة وحدة الطاقة الكهربية أو الحرارية مع تكلفة إنتاج الهيدروجين.

**المنهج الوصفي:** يعتمد الباحثون أيضا على الدراسة الوصفية التحليلية التي يستعين بها الباحث كمنهج أساسي في تشخيص ووصف موضوع الدراسة من مختلف جوانبه وكافة أبعاده الاقتصادية والبيئية.

## الدراسات السابقة

**1- Rautenbach et al 1987(دراسة استخدام الحرارة المهدرة من التوربينات الغازية لتحلية المياه مقارنة بالمصادر الأخرى)**

هدفت هذه الدراسة الى توضيح مدى الحاجة الى ضرورة الاستفادة من الطاقة المهدرة الناتجة من تبريد المحطات الغازية والتي تحتوى على كمية كبيرة من الطاقة الحرارية في تحلية مياه البحر ومقارنتها بمصدر أخر للطاقة الحرارية مثل الطاقة الشمسية، ومن اهم النتائج إن تحلية مياه البحر باستخدام نظام MED باستخدام الطاقة الحرارية المهدرة من تبريد المحطات الغازية أفضل اقتصاديا من الطرق الحرارية الأخرى وتم تطبيق هذه الدراسة على مشروع تحلية مياه إيباباي في جزيرة مارشال باستخدام حرارة نفايات الديزل والتي ينتج عنها 1100 متر$^3$ في اليوم من الماء المقطر النقي باستخدام الحرارة المهدرة المفرغة من محطة توليد ديزل مجاورة ، تعمل بحمل متوسط قدره 3,2 ميجا وات وكانت اهم توصيات الدراسة قيام الدول المعتمدة على استخدام المحطات الغازية في توليد الكهرباء على الاستفادة من الحرارة المهدرة من مياه التبريد في تحلية المياه وتقليل الانبعاثات الكربونية للمساهمة في الاستدامة البيئية.

**2- على احمد 2017 (دراسة أيهما الأقل تكلفة في تحلية المياه الطاقة النووية أم الطاقة الشمسية)**

هدفت هذه الدراسة إلى إلقاء الضوء على ضرورة الاستغناء عن الوقود الأحفوري في تحلية المياه من خلال استخدام الطاقة الشمسية أو الطاقة النووية، حيث تعتمد اقتصاديات تكلفة تحلية المياه بواسطة الطاقتين المشار اليهم على التكلفة الكلية لإنتاج الكهرباء ، حيث قامت الدراسة بعمل مقارنة بين أنواع التحلية المختلفة باستخدام مصادر طاقة مختلفة، ومن أهم النتائج التي توصل إليها الباحث إن الطاقة النووية هي أقل تكلفة من الطاقة الشمسية ، حيث تبلغ تكلفة تحلية متر مكعب من المياه متعددة التأثيرات بواسطة الطاقة النووية 22,1 دولار أمريكي ، وبالطاقة الشمسية الى 52,1 دولار أمريكي للمتر المكعب على التوالي، وكانت اهم توصيات الدراسة قيام الدول المعتمدة على استخدام الوقود الأحفوري بشكل أساسي الى وضع خطط طموحة للاستثمار في مجالي الطاقة النووية والشمسية لتلبية الطلب المتزايد على الكهرباء والمياه المحلاة وذلك لتقليل الانبعاثات الكربونية عن طريق الاستغناء التدريجي عن حرق الوقود الأحفوري .

**3- نسرين احمد 2021 (الآزمة المائية في مصر وسبل المواجهة المجتمعية لها)**

هدفت هذه الدراسة الى توضيح مقدار الأزمة المائية في مصر ومدى تأثيرها على أفراد المجتمع والتنمية المستدامة ، ومن اهم نتائج الدراسة ضرورة الاتفاق بين الجهات الرسمية المعنية بالدولة بأزمة المياه (وزارة الموارد المائية والري– المجلس العربي للمياه) على ضرورة إيجاد بدائل لحل أزمة نقص المياه بمصر لما لها من أضرار


الترقيم الدولي الموحد للطباعة ISSN 1110-0826
الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني 2636-3178

جسيمة على الاستدامة البيئية والتنمية المستدامة وكانت اهم توصيات الدراسة ضرورة وجود خطة قومية تشترك فيها غالبية الجهات المعنية بالشأن المائي ومناقشة البدائل التي تضعها الدولة لحل أزمة ندرة المياه للحفاظ على الموارد المائية التقليدية داخل الدولة كذلك محاولة جذب الاستثمار في مجال تحلية المياه بالاعتماد على الطاقات النظيفة والمتجددة لتقليل الانبعاثات والمساهمة بشكل جذري وفعال في تقليل الانبعاثات الضارة والتي تؤثر على تغير المناخ .

**4-منى مصطفى العزب وأخرين 2022 (التخطيط الاستراتيجي المستدام للموارد المائية في مصر)**

هدفت هذه الدارسة إلى التعريف بالتخطيط الاستراتيجي المستدام والإدارة الاستراتيجية المستدامة من خلال تحليل نقاط القوة والضعف والفرص والمخاطر بمنظومة إدارة الموارد المائية بمصر، ومن اهم نتائج الدراسة أن المتغيرات الاجتماعية تؤثر في الإدارة الاستراتيجية المستدامة لموارد مصر المائية، ومن أهم توصيات الدارسة تطوير الإدارة الاستراتيجية للموارد المائية الحالية ورفع كفاءة استخدام المياه ، ودعم البحوث في إعادة الاستخدام الآمن للمياه المعالجة والمياه المالحة، والبدء في استخدام أساليب تعتمد على مصادر الطاقة الجديدة كالطاقة الشمسية، والطاقة النظيفة المستدامة مثل الطاقة النووية، بالإضافة لتوسيع قاعدة مشاركة القطاع الخاص في تنمية الموارد المائية لتصبح صناعة تنافسية لها سوقها الخاص بما يدعم زيادة الكفاءة الاقتصادية وتخفيض التكلفة .

**5-ولاء حسين عبد الله 2022 (العلاقة الترابطية بين امن المياه والطاقة والغذاء وتغير المناخ في مصر)**

هدفت هذه الدراسة الى توضيح اهم العلاقات الترابطية التي تساهم في تعزيز امن المياه والطاقة والغذاء واثر ذلك على تغير المناخ في مصر ببيان التطور التاريخي لمفهوم العلاقة بين المياه والطاقة والأثار المتعلقة بهذه الترابطات على تغير المناخ في مصر وعلى مستوى العالم، وتم الاعتماد في هذه الدراسة على قياس الانخفاض في الانبعاثات المعتمدة على استخدام الوقود و من اهم نتائج هذه الدراسة وجود علاقة ترابطية بين المياه والطاقة والغذاء وبيان اثر هذه العلاقة الترابطية على تغير المناخ في مصر وكانت توصيات الدراسة بانه يجب تعزيز وتفعيل العلاقة الترابطية بين المياه والطاقة حيث إن لها اثر كبير وواضح في تغير المناخ وأن التخفيف من أثار تغير المناخ والتكيف معه يعد مسئولية الجميع كما أنه يجب أن تتخذ سياسات المناخ الوطنية وتطبيقها بشكل فعال لخلق مستقبل مستدام .

## الإطار النظري للبحث

**أولا: الطاقة النووية ومدى مساهمتها في الاستدامة البيئة:** تعتبر الطاقة هي المفتاح الرئيسي لنمو حضارة الإنسان على مر العصور لذا لجأ العلماء إلى استخدام الطاقة النووية نظرا لدورها الكبير في التنمية المستدامة من خلال ضمان الاستخدام الأمثل والتوزيع العادل للموارد بين الجيل الحالي والأجيال اللاحقة ونستطيع إلقاء الضوء على دور الطاقة النووية في المجالات المختلفة:

**1-الطاقة النووية والتطبيقات العملية الحديثة:** بدأت العديد من الدول والمنظمات الدولية منذ انطلاق قمة الأرض (ريو دي جانيرو1992) تخطو خطواتٍ واسعة نحو إقامة وتطوير مصادر الطاقة المتجددة والطاقة النووية حيث يمكن للطاقة النووية أن تضمن أمن الطاقة وأمن المياه في جميع أنحاء العالم من خلال التطبيقات المتعلقة بالتنمية المستدامة، حيث اذا اعتمدت الدول على الطاقة النووية فسيمنحها هذا أريحية مالية يجعل لديها القدرة على تنمية البنى التحتية لديها مما ينعكس بالإيجاب على الطبقات الاجتماعية وتؤدى إلى خلق فرص عمل للطبقات الكادحة فمثلا في أوروبا وفر قطاع الطاقة النووية 400 الف فرصة عمل.


الترقيم الدولي الموحد للطباعة ISSN 1110-0826
الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني 2636-3178

2-**الطاقة النووية والتنمية المستدامة:** تتبنى العديد من الدول المتقدمة الطاقة النووية كمصدر نظيف وموثوق به لتوليد الكهرباء حيث إنها تعتمد على عنصر اليورانيوم (اليورانيوم معدن يمكن العثور عليه في الصخور في كثير من أنحاء العالم ويحتوي على العديد من النظائر الطبيعية التي تختلف في كتلتها وخواصها الفيزيائية، ولكن لها نفس الخصائص الكيميائية). من اجل استخدام اليورانيوم كوقود في معظم المفاعلات النووية من الضروري زيادة كمية اليورانيوم-235 عن الكمية الطبيعية فيما يعرف بعملية تخصيب اليورانيوم عملية تُعرف بإثراء اليورانيوم وبمجرد إثرائه يمكن استخدامه بشكل فعال كوقود نووي في محطات القوى لمدة ثلاث إلى خمس سنوات وبذلك توفر الطاقة النووية المواد الأحفورية لتحويلها إلى سلع وخدمات مما يزيد من فرص استغلالها في زيادة التنمية المستدامة.

3-**الطاقة النووية والتنمية الاقتصادية:** تعتبر الطاقة النووية من اهم أعمدة الاقتصاد العالمي في المستقبل لكونها تعتبر بديل حقيقي عن الوقود الأحفوري باهظ التكلفة (حيث تم نشر مقارنة عن الوقود بموقع الوكالة الدولية للطاقة الذرية يفيد انه باستخدام (1) كجم من الفحم يعادل توليد طاقة كهربية مقدارها (8) كيلو وات ساعة ، بينما باستخدام(1) كجم من الغاز الطبيعي يعادل طاقة كهربية متولدة مقدارها (12) كيلو وات ساعة ، أما (1) كجم من اليورانيوم **235** يعادل طاقة كهربية متولدة (2,4) مليون كيلو وات ساعة أي أن 1 كجم من اليورانيوم يعادل ما يقرب من مليوني الى ثلاث ملايين مرة من الطاقة المكافئة للنفط أو الفحم) وعلى حسب تقديرات وزارة التجارة والصناعة الأمريكية انه بحلول العام 2050 سيزيد الطلب على توليد الكهرباء من الطاقة النووية بنسبة 70% .

4-**الطاقة النووية والتنمية البيئية من خلال مكافحة تغير المناخ:** أكدت منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية وهى منظمة اقتصادية حكومية تضم 38 دولة وتم إنشائها بفرنسا أن الطاقة النووية تحارب التغيرات المناخية وارتفاع حرارة الأرض كما تعتبر الطاقة النووية صديقة للبيئة لاعتبارها طاقة تنافسية ونظيفة وأوصت المنظمة بضرورة التوسع في البرامج النووية التي تحمى البيئة ، ولتحقيق اتفاق باريس وأهداف التنمية المستدامة والوصول إلى صافي انبعاثات صفرية بحلول عام 2050 فإنه لابد لجميع الدول من اعتماد خطط تنفيذ ملموسة وواقعية تتوافق مع هذه الأهداف لان حوالي 70٪ من الكهرباء في العالم تأتي حاليًا من حرق الوقود الأحفوري.

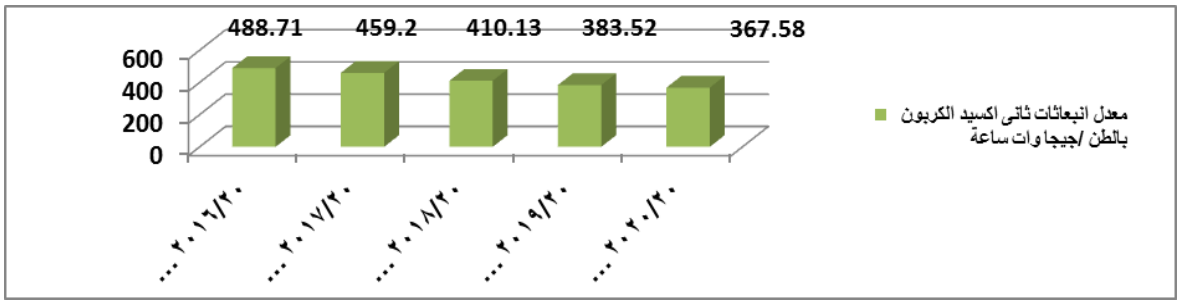
## ثانيا: التطورات التاريخية للطاقة الكهربية والنووية في مصر ودورها في الاستدامة البيئية

(أ) **الطاقة الكهربية التقليدية في مصر:** يعد قطاع الكهرباء في مصر من القطاعات الأساسية في تنمية العديد من المجالات الحيوية حيث بدأ استخدام الطاقة الكهربائية في مصر عام ١٨٩٣ عن طريق استخدام وحدات ديزل صغيرة في القاهرة والإسكندرية وفى مايو 1895 بدء دخول الكهرباء في مصر، وحدث تطور سريع في القدرات الاسمية المركبة بالشبكة الكهربية المصرية خلال الفترة من 1936 م الى 2022م حيث ارتفعت الطاقة الكهربية المولدة من (195 ميجا وات) الى (58818 ميجا وات) أي بزيادة تعادل حوالى 300% خلال الفترة المشار إليها.

قامت مصر بوضع خطط مستقبلية للطاقات المتجددة والنظيفة ضمن برنامج استراتيجية الطاقة لعام 2030 لمواكبة التغير الذي يحدث في العالم والعمل على انخفاض نسبة الغازات المنبعثة من حرق الوقود الأحفوري والعمل على استخدامه في بعض الصناعات الأخرى التي لها مردود اقتصادي وبيئي وتفيد مؤشرات الأداء البيئي في قطاع الكهرباء لعام2020 باحتلال مصر المرتبة 94 من 180 دولة على المستوى العالمي، ويعود ارتفاع مؤشر الأداء البيئي في مصر بسبب ارتفاع نسبة مشاركة الطاقات الجديدة والمتجددة (رياح/شمسي/مائي) لتصل إلى12٪ من


الترقيم الدولي الموحد للطباعة ISSN 1110-0826
الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني 3178-2636

إجمالي الطاقة المولدة عام ٢٠٢٠/٢٠٢١ ، كذلك ارتفاع نسبة مشاركة الغاز الطبيعي إلى 98,2 ٪ من إجمالي الوقود المستهلك كما هو موضح في الشكل رقم (1) .




**شكل رقم (1)** يوضح معدل تطور انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بالطن /جيجا وات ساعة في الشبكة الكهربية بمصر خلال الفترة من 2017 الى2021

**المصدر**/ التقرير الإحصائي السنوي للشركة القابضة لكهرباء مصر 2021/2020

**(ب) الطاقة النووية في مصر:** كانت مصر من أوائل الدول في الشرق الأوسط التي أدركت منذ أوائل الخمسينيات من القرن الماضي أهمية استخدام الطاقة النووية في توليد الكهرباء وإزالة ملوحة مياه البحر للمساهمة في تعويض نقص موارد مصر من الطاقة الأولية والمياه العذبة على حد سواء حيث قامت بإنشاء لجنة الطاقة الذرية عام ١٩٥٥ برئاسة الرئيس الراحل جمال عبد الناصر ثم أنشئت مؤسسة الطاقة الذرية عام ١٩٥٧م وتم تشغيل مفاعل الأبحاث الأول بقدرة ٢ ميجا وات حراري بأنشاص عام 1961م ثم إنشاء قسم الهندسة النووية بجامعة الإسكندرية عام 1963م ومر مشروع البدء في إنشاء أول محطة نووية مصرية بمحاولات متعددة نبينها كما يلى :

**المحاولة الأولى:** في عام ١٩٦٤ طرحت مناقصة عالمية لإنشاء محطة نووية لتوليد الكهرباء بقدرة ١٥٠ ميجا وات وتحلية مياه البحر بطاقة ٢٠ ألف م$^3$/ اليوم في موقع برج العرب بالإسكندرية وقد تقدمت شركتان أمريكيتان وشركتان ألمانيتان للمناقصة إلا أن حدث العدوان الإسرائيلي على مصر وتوقف المشروع مع مشاريع أخرى عام ١٩٦٧.

**المحاولة الثانية:** عندما ارتفعت أسعار البترول بصورة عالية بعد حرب ١٩٧٣ أعيد التفكير في موضوع إنشاء المحطة النووية وذلك بعد زيارة الرئيس الأمريكي نيكسون لمصر حيث طرحت مناقصة بين الشركات الأمريكية لإنشاء محطة نووية لتوليد الكهرباء بقدرة ٦٠٠ ميجا وات في موقع سيدي كرير وتم التعاقد مع هيئة الطاقة الذرية الأمريكية في يونيو ١٩٧٤ على تزويد مصر بخدمات الوقود النووي اللازمة للمحطة وتم توقف المشروع مرة ثانية.

**المحاولة الثالثة:** تم التعاقد مع هيئة فرنسية (هيئة سوفرا توم) لدراسة واختيار مواقع لإنشاء المحطات النووية بمصر وبعد دراسة ١١ موقعا على مختلف السواحل المصرية، تم اختيار مدينة الضبعة وصدر القرار الجمهوري رقم ٣٠٩ لسنة ١٩٨١م بتخصيص موقع الضبعة بمحافظة مطروح ليكون هو أول مكان لإنشاء محطة نووية لتوليد الكهرباء بمصر، وفي عام 1986 أدت حادثة تشيرنوبيل إلى إرجاء الحكومة النظر في البدء في تنفيذ مشروع المحطات النووية وتم تشغيل مفاعل الأبحاث الثاني بقدرة 22 ميجا وات حراري بأنشاص عام 1998م.

**المحاولة الرابعة:** في عام 2015 أعلنت مصر قرارها الاستراتيجي ببدء برنامج لبناء عدد من المحطات النووية لتوليد الكهرباء وتم دعوة الشركات الاستشارية العالمية للتقدم لمناقصة لإنشاء المحطة النووية الأولى وتم توقيع عدد من الاتفاقيات بين الحكومتين المصرية والروسية تضمنت على التعاون في تصميم وبناء وتشغيل محطة الضبعة النووية

لتوليد الكهرباء ومازال العمل جارى بموقع الضبعة لإنشاء عدد اربع مفاعلات من الطراز VVER 1200 الروسية وهى من نوعية مفاعلات الماء المضغوط PWR بقدرة إجمالية 4800 ميجا وات ويطلق على هذا النوع من المفاعلات الجيل الثالث المطور ويعتبر أحدث تكنولوجيا نووية في العالم تمتلكها روساتوم الروسية وتتوافق تلك المفاعلات مع جميع معايير السلامة المعتمدة من الوكالة الدولية للطاقة الذرية فى مرحلة ما بعد كارثة فوكوشيما حيث تعتبر مفاعلات VVER1200 هي مزيج فريد من أنظمة السلامة والأمان النووي النشطة وغير النشطة ، مما يمنح المحطة القدرة القصوى على مقاومة التأثيرات الخارجية والداخلية، وتتطلب أنظمة الأمان النشطة مصدرا للطاقة ، بينما لا تحتاج أنظمة الأمان غير النشطة إلى مصدر للطاقة، وتمتاز بوجود مبني الاحتواء التي تمنع تسرب المواد المشعة خارج مبني المفاعل إذا حدث انصهار لقلب المفاعل، فأنظمة الأمان تشمل مبني الاحتواء الداخلي المصنوع من الخرسانة المسلحة لكى تبقى كل المواد المشعة داخل غلاف المفاعل المغلق بإحكام دون التسرب إلى الخارج ، وفى حالة الخطر من الخارج فإن الوعاء الخارجي لمبنى المفاعل قادر على تحمل المخاطر الناجمة عن الأعاصير والانفجارات وكذلك الاصطدام بطائرة تجارية تزن 400 طن، ومتوقع دخول الوحدات النووية بمصر حيز التشغيل طبقا للبرنامج الزمنى المعلن على موقع الوكالة الدولية للطاقة الذرية كما هو موضح بالجدول (1).

**جدول (1)** الجدول الزمنى الخاص بدخول وحدات المحطة النووية المصرية حيز الإنشاء والتشغيل التجريبي

| الموقع | نوع المفاعل | السعة ميجا فولت أمبير | بداية الإنشاء | التشغيل التجريبي المتوقع |
|---|---|---|---|---|
| الوحدة الأولى بالضبعة | VVER | 1200 | 2022/7/20 | 2028 |
| الوحدة الثانية بالضبعة | VVER | 1200 | 2022/11/20 | 2028 |
| الوحدة الثالثة بالضبعة | VVER | 1200 | 2023/5/3 | 2029 |
| الوحدة الرابعة بالضبعة | VVER | 1200 | 2024/1/23 | 2030 |

**المصدر**/ الموقع الإلكتروني التابع للوكالة الدولية للطاقة الذرية
(https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/egypt)

**أهمية البرنامج النووي المصري:** يعد إنشاء مشروع المحطات النووية من أهم المشروعات التي تعمل على تنمية المناطق المجاورة لها وزيادة الحركة التجارية بها، وكذلك القضاء على البطالة والمساهمة في تدعيم التنمية المستدامة، وذلك بمشاركة حوالى ٦٠٠٠ شخص في الإنشاء ولمدة 7 سنوات متصلة ، كما يشارك في تشغيل المحطة النووية حوالي ٤٠٠٠ شخص، إنشاء (مدارس صناعية / معاهد فنية / إنشاء المدرسة الفنية النووية بالضبعة) للالتحاق والعمل مباشرة بالمحطة النووية ويتضح تأثير إنشاء المحطات النووية في الاستدامة البيئية في العديد من النواحي كما يلى :

1- **الناحية الاجتماعية والاقتصادية:** سد الاحتياجات المتزايدة من الطاقة اللازمة لخطط التنمية الاقتصادية والاجتماعية في مصر، كما يساعد زيادة تطوير الصناعة المصرية في تصاعد نسب مشاركة التصنيع المحلي في كل محطة نووية جديدة مما سيحدث نقلة ضخمة في جودة الصناعة المصرية وإمكاناتها ويزيد من قدرتها التنافسية في الأسواق.

2- **الناحية العلمية والبيئية:** تضييق الفجوة العلمية والتكنولوجية المتعاظمة بين مصر والدول المتقدمة في مجال القوى النووية كذلك العمل على حماية البيئة من الانبعاثات الغازية الكربونية الملوثة للبيئة والحد من حدوث الاحتباس الحراري سواء في المنطقة المحيطة أو على مستوى الكرة الأرضية.


الترقيم الدولي الموحد للطباعة ISSN 1110-0826
الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني 2636-3178

**(ت) بيان مدى مساهمة الانشطار النووي الناتج من الطاقة النووية في مجالات الاستخدامات السلمية:** يسهم استخدام نواتج الانشطار النووي من المفاعلات النووية كما ورد بالموقع الإلكتروني ( Power Reactor Information system )التابع للوكالة الدولية للطاقة الذرية (**pris.iaea.org**) ما يلي:

1- **توليد الكهرباء:** تمَّ إنشاء أوّل مفاعل نووي لإنتاج الطاقة الكهربائية في الاتحاد السوفيتي سابقًا عام 1954، وخلال العقود الثلاثة الأخيرة من القرن العشرين، اتسع نطاق استخدام الطاقة النووية وأصبحت تزوّد دول العالم بأكثر من 16% من الطاقة الكهربائيّة كما هو موضح بالجدول (2).

**جدول (2):** عدد المفاعلات من حيث (التشغيل– الإنشاء – الإغلاق) والقدرة الاسمية لها على مستوى العالم

| موقف المفاعلات | عدد المفاعلات | القدرة الاسمية جيجا وات ساعة |
|---|---|---|
| قيد التشغيل | 412 | 370,170 |
| تحت الإنشاء | 58 | 60,207 |
| مغلق | 25 | 21,228 |

المصدر/ الموقع الإلكتروني التابع للوكالة الدولية للطاقة الذرية (www.pris.iaea.org)

2- **التحلية باستخدام الطاقة النووية:** تعرف أنها إنتاج مياه الشرب من مياه البحر في منشأة يستخدم فيها مفاعل نووي كمصدر للطاقة سواء الكهربائية/ الحرارية، وتحلية المياه عملية كثيفة الطاقة على المدى الطويل ولن تكون تحلية المياه باستخدام مصادر الطاقة الأحفورية متوافقة مع التنمية المستدامة لذلك لابد من اعتماد الطاقة النووية كمصدر نظيف للطاقة.

3- **إنتاج الهيدروجين:** حدث تطور في مجال إنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقة النووية، حيث ركزت العديد من الدول على استخدام الطاقة المنتجة من مفاعلات الماء الخفيف لإنتاج الهيدروجين مثل تعاقد وزارة الطاقة الأمريكية لإنتاج الهيدروجين في ثلاث محطات نووية في عام 2021، وإذا تحقق إنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقة النووية يمكن أن يزيل هذا حوالي 500 مليون طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون سنويا.

## إجراءات البحث

### أولاً: الدراسة الاقتصادية لتحلية المياه باستخدام كلا من محطات الطاقة النووية ومحطات الطاقة التقليدية:

بمقارنة اقتصاديات أشكال التوليد المختلفة، في عام 2017 نشرت إدارة معلومات الطاقة الأمريكية أرقاما لمتوسط تكاليف وحدة إنتاج الطاقة من المحطات المختلفة من حيث البناء والتشغيل على مدى عمر المحطة فكانت تكلفة الطاقة النووية المتولدة تعادل 9,9 سنت /كيلو وات ساعة، والغاز الطبيعي من 7,7 الى 10,9 سنت /كيلو وات ساعة (حسب التكنولوجيا المستخدمة في عزل الكربون ) والفحم مع عزل الكربون 12,3 سنت/كيلو وات ساعة أما بدون عزل الكربون 14 سنت / كيلو وات ساعة، كما أظهرت نتائج دراسة منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية عام 2020 حول التكاليف المتوقعة لتوليد الكهرباء( دولار/ميجا وات ساعة) بمعدلات خصم مختلفة إن الطاقة النووية أرخصهم سعرا كما هو موضح بالجدول (3) .

**جدول (3)** التكاليف المتوقعة لتوليد الكهرباء (دولار/ ميجا وات ساعة) بمعدلات خصم مختلفة من الطاقة (النووية – الفحم – دورة مركبة)

| الدولة | معدل الخصم 3%- | | | معدل الخصم 10%- | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | نووي | فحم | دورة مركبة | نووي | فحم | دورة مركبة |
| فرنسا | 45,3 | – | – | 96,9 | – | – |
| اليابان | 61,2 | 87,6 | 87,6 | 112,1 | 111,3 | 97,1 |
| كوريا | 39,4 | 69,8 | 83 | 67,2 | 81,1 | 95 |
| سولوفاكيا | 57,6 | – | – | 146,1 | – | – |
| الولايات المتحدة | 43,9 | 75 | 40 | 98,6 | 100 | 49 |
| الصين | 49,9 | 70,1 | 81,5 | 82,1 | 78,5 | 86,3 |
| روسيا | 27,4 | – | – | 56,6 | – | – |
| الهند | 48,2 | 64,7 | – | 83,9 | 70 | – |

**المصدر**/ تقرير إدارة معلومات الطاقة الأمريكية سنة 2017 (https://world-nuclear.org/information-comparing-economics of different forms of electricity generation)

يتضح من الجدول السابق انه بمعدل خصم 3%، تكون الطاقة النووية أرخص من الفحم والغاز في جميع البلدان، وبمعدل خصم 10% لا تزال الطاقة النووية أرخص من الفحم في كوريا الجنوبية والولايات المتحدة الأمريكية، ولكنها أكثر تكلفة في اليابان والصين والهند، الطاقة النووية أرخص من الغاز في كوريا والصين، ولكنها أكثر تكلفة في اليابان والولايات المتحدة الأمريكية

كما أظهر تقرير تم نشرة من قبل معهد الطاقة النووية في ديسمبر 2023 لمقارنة المحددات المختلفة للمحطة النووية من حيث تكاليف ( الوقود –البناء – التشغيل ) خلال الفترة من 2002 الى 2022 كما هو موضح بالجدول رقم (4) انه حدث تغير في أسعار الوقود بنسبة (-9,7% ) وفى البناء بنسبة (16,8%) والتشغيل (-3,4%) في حين أن التغير الكلي في تكلفة التوليد تعادل (-0,8%) مما يعني أن تكلفة إنتاج الكهرباء من الطاقة النووية في تناقص مستمر مما جعل الكثير من الدول تسعي لاستبدال المحطات الحرارية بالمحطات النووية نظرا لصغر تكلفة الإنتاج بالإضافة إلى انعدام الانبعاثات الكربونية.

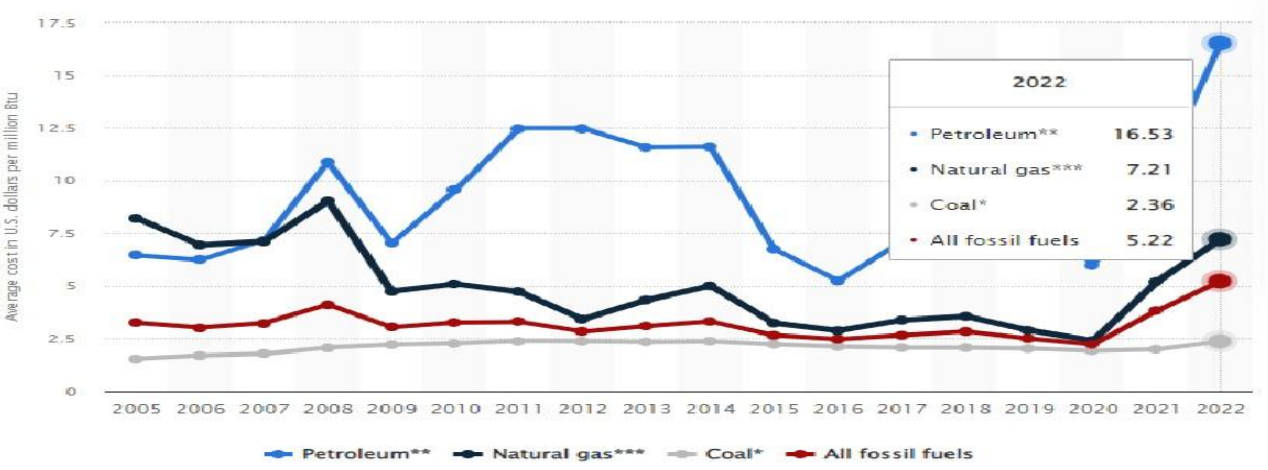
**جدول (4)** مقارنة المحددات المختلفة للمحطة النووية من حيث تكاليف (الوقود – البناء – التشغيل) خلال الفترة من 2002 الى 2022

| Year | Fuel | Capital | Operating | Total Generating |
|---|---|---|---|---|
| 2002 | 6.83 | 4.68 | 22.18 | 33.69 |
| 2004 | 6.32 | 6.76 | 22.18 | 35.26 |
| 2007 | 6.17 | 7.36 | 22.93 | 36.46 |
| 2010 | 8.22 | 11.39 | 25.34 | 44.95 |
| 2011 | 8.72 | 12.57 | 27.14 | 48.43 |
| 2012 | 9.15 | 14.01 | 28.05 | 51.22 |
| 2015 | 8.30 | 9.68 | 25.33 | 43.32 |
| 2016 | 8.09 | 8.11 | 24.58 | 40.78 |
| 2017 | 7.60 | 7.84 | 24.21 | 39.65 |
| 2018 | 7.33 | 7.16 | 22.78 | 37.27 |
| 2019 | 6.97 | 6.47 | 21.01 | 34.45 |
| 2020 | 6.44 | 5.97 | 20.43 | 32.84 |
| 2021 | 5.94 | 5.89 | 19.34 | 31.17 |
| 2022 | 5.37 | 6.88 | 18.68 | 30.92 |
| 2021-2022 Change | -9.7% | 16.8% | -3.4% | -0.8% |

**المصدر**/ تقرير (nuclear costs in context December 2023 pdf) تم نشرة على موقع معهد الطاقة النووية

أما بخصوص الوقود الأحفوري فقد تم نشر تقرير في عام 2024 على الموقع الإلكتروني(www.statista.com) عن متوسط تكاليف الوقود الأحفوري لصناعة الطاقة الكهربائية في الولايات المتحدة خلال الفترة من 2005 الى 2022 حيث اظهر التقرير أن التغير في أسعار الوقود الأحفوري دائما تكون بالزيادة والنقصان وفى نسب متقاربة وقد تلاحظ انه من عام 2020 فان التغير في الوقود الأحفوري في زيادة مستمرة وهذا يعنى إن التكلفة الكلية للطاقة الكهربية المتولدة من المحطات التقليدية ستكون في تزايد مستمر أيضا كما هو موضح بالشكل رقم (2).

**شكل رقم (2)** متوسط تكاليف الوقود الأحفوري لصناعة الطاقة الكهربائية في الولايات المتحدة خلال الفترة من 2005 الى 2022




المصدر/(https://www.statista.com/statistics/average-costs-of-fossil-fuels-for-us-electricitygeneration-from-2005)

**مقارنة بين معدل تكلفة تشغيل محطات التحلية باستخدام محطة الطاقة النووية ومحطات الطاقة التقليدية:**

تم اختيار محافظه مطروح لإعداد هذه الدراسة، بفرض تشغيل محطة لتحلية المياه بقدرة إنتاجية (100) الف م$^3$ يوميا، ومن المستهدف أن يبلغ عدد المستفيدين من محطة التحلية حوالى نصف مليون نسمة وذلك لان متوسط استهلاك الفرد من المياه حوالى 200 لتر يوميا (طبقا للبيانات المنشورة على الموقع الإلكتروني للشركة القابضة لمياه الشرب والصرف الصحي بمصر)، حيث تقاس نسبة ملوحة مياه الشرب بوحدة ملجم/لتر وتقسم كالآتي (أقل من 300 مياه شرب ممتازة ) أو ( من 300–600 مياه شرب جيدة ) أو (من 900– 1200 مياه شرب غير مرغوب فيها وهذه من الممكن أن تستخدم في الزراعة ) أو (اكثر من 1200 مياه شرب غير مقبولة تماما ولكن من الممكن إن تستخدم لبعض النباتات المهجنة لاستخدام هذه المياه ) ، ويتم استخدام تقنيات مختلفة لمحطات التحلية وهى (RO – MSF – MED ):

- **(Reverse Osmosis) RO:** هو عملية تنقية المياه التي تستخدم غشاء شبه منفذ لفصل جزيئات الماء عن المواد الأخرى. نستخدم نظام الضغط للتغلب على الضغط الأسموزي حيث يمكن للتناضح العكسي إزالة الأنواع الكيميائية الذائبة أو العالقة وكذلك المواد البيولوجية (البكتيريا بشكل رئيسي)، ويستخدم في العمليات الصناعية وإنتاج المياه الصالحة للشرب.
- **(Multi–Effect Distillation) MED:** يعد التقطير متعدد التأثيرات نوعًا أكثر تقدمًا من محطات التحلية التي تستخدم سلسلة من المرشحات لفصل بخار الماء إلى الأجزاء المكونة له. يتم استخدام تقطير MED عادةً عند

الحاجة إلى إنتاج مياه عالية النقاء، على سبيل المثال للأغراض الطبية. تتطلب مصانع MED مساحة أكبر من محطات ال MSF وهي أكثر تكلفة في البناء، لكنها توفر مرونة أكبر من حيث المكان الذي يمكن أن تتواجد فيه.

- **MSF (Multi– Stage Flash Distillation):** يعد التقطير متعدد المراحل أكثر أنواع محطات التحلية شيوعًا المستخدمة اليوم. وهو عبارة عن غليان الماء ثم تبخيره عند ضغط عالٍ لفصل بخار الماء إلى أجزائه المكونة، ثم يتم تكثيف بخار الماء مرة أخرى في شكل سائل وإرساله عبر مكثف إلى أنبوب تصريف المياه. ويمكن تنفيذ هذه العملية في البر والبحر.

وسيتم الاستعانة ببرنامج DEEP لإجراء التقييم الاقتصادي لمحطات تحلية المياه إلى جانب مصادر الطاقة المختلفة والذي قامت بتطويره الوكالة الدولية للطاقة الذرية وتم تحديد المدخلات الفنية المتغيرة الواردة بدليل استخدام البرنامج لمحطة الطاقة النووية ومحطة الطاقة التقليدية ومحطات التحلية المختلفة كما هو موضح بالجدول رقم (5).

**جدول رقم (5)** المدخلات الفنية المطلوبة لبرنامج DEEP لمحطة الطاقة النووية ومحطة الطاقة التقليدية ومحطات التحلية

| **المدخلات الفنية المطلوبة لبرنامج DEEP لمحطة الطاقة النووية ومحطة الطاقة التقليدية** | | | |
|---|---|---|---|
| البيانات الفنية | محطة الطاقة النووية ( VVER1200 ) | | محطة الطاقة التقليدية |
| الطاقة الكهربية المتولدة ($MW_e$) | 1170 | | 750 |
| الطاقة الحرارية المكافئة ($MW_{th}$) | 3200 | | 2200 |
| كفاءة التشغيل (%) | 38 | | 34 |
| العمر الاقتصادي للتشغيل | 60عام | | 25 عام |
| **المدخلات الفنية المطلوبة لبرنامج DEEP لمحطات التحلية المختلفة بالبرنامج** | | | |
| البيانات الفنية | MED | RO | MSF |
| القدرة الإنتاجية المستهدفة للمحطة (الف م3/يوم) | 100 | 100 | 100 |
| العمر الاقتصادي للتشغيل | 25 عام | 25 عام | 25 عام |
| متوسط درجة حرارة البحر (مئوية) | 21 | 21 | 21 |
| المواد المالحة الذائبة TDS (ملجم /لتر) | 3500 | 3500 | 3500 |

**المصدر**/ (DEEP 5 user manual 2013)

يتم اختيار نوع التقنية المستخدمة في التحلية من الناحية الاقتصادية بناءً على كمية المياه المحلاة وتكاليف الصيانة وقطع الغيار الخاصة بها وأيضا معدلات استهلاكها للطاقة.

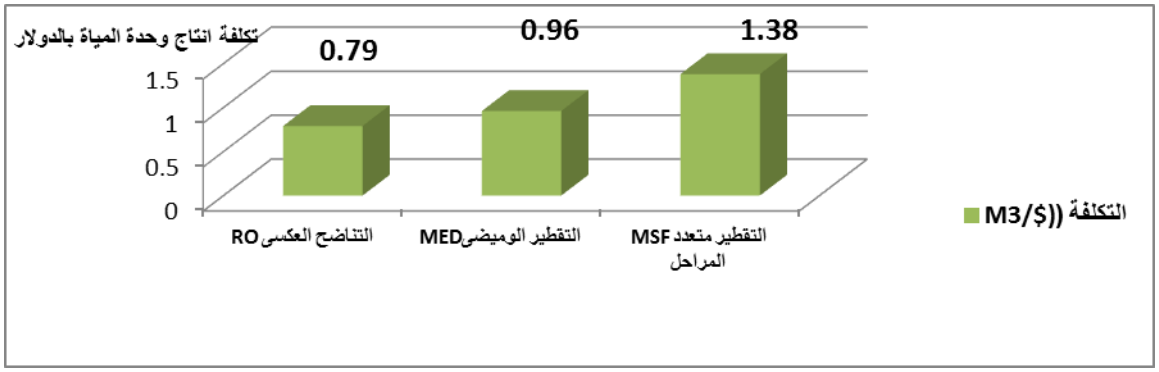
**السيناريو الأول: مقارنة نتائج ربط محطات التحلية المختلفة (RO – MED – MSF ) سعة (100) الف متر $^3$ /اليوم بالمحطة النووية من لنوع المفاعل (VVER 1200) باستخدام برنامج DEEP.**

**جدول (6):** يوضح نتائج ربط محطات التحلية المختلفة (RO – MED – MSF) سعة (100) الف متر 3 /اليوم بالمحطة النووية من النوع المفاعل (VVER 1200) باستخدام برنامج DEEP.

| **طريقة التحلية** | **كمية الطاقة المستهلكة** | | **تكلفة إنتاج الكهرباء** | **تكلفة تحلية المياه** | **STAGE** |
|---|---|---|---|---|---|
| | $MW_e$ | $MW_{th}$ | **دولار/ميجا وات ساعة** | **دولار/ م$^3$** | |
| RO | 14 | 0 | 67,4 | 0,79 | – |
| MED | 6,8 | 241 | 67,4 | 0,96 | 14 |
| MSF | 8,8 | 532 | 67,4 | 1,38 | 14 |

**المصدر** / من إعداد الباحث من خلال النتائج المتحصل عيها من برنامج DEEP


الترقيم الدولي الموحد للطباعة ISSN 1110-0826
الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني 3178-2636




**شكل رقم (3):** رسم بياني من إعداد الباحثين يوضح نتائج تكلفة ربط محطة للتحلية سعة (100) الف متر 3 /اليوم بالطرق التقنية المختلفة بالمحطة النووية من النوع المفاعل (VVER 1200) .

**المصدر** / من إعداد الباحث من خلال النتائج المتحصل عيها من برنامج DEEP

يتضح من نتائج ربط محطات التحلية المختلفة (MSF – MED – RO ) سعة (100) الف متر$^3$ /اليوم بالمحطة النووية من النوع المفاعل (VVER 1200) باستخدام برنامج DEEP إن أقلهم تكلفة التحلية باستخدام التناضح العكسي وتقدر بحوالي 0,79 دولار للمتر مكعب من المياه العذبة الصالحة للشرب .

**السيناريو الثاني: مقارنة نتائج ربط محطات التحلية المختلفة (MSF – MED – RO ) سعة (100) الف م 3 /اليوم بالمحطات التقليدية المختلفة باستخدام برنامج DEEP**

**جدول** (7) يوضح نتائج ربط محطات التحلية المختلفة (MSF – MED – RO ) سعة (100) الف متر3 /اليوم بالمحطات التقليدية المختلفة باستخدام برنامج DEEP.

| م | المحطة التقليدية | طريقة التحلية المستخدمة | كمية الطاقة المستهلكة $MW_e$ | كمية الطاقة المستهلكة $MW_{th}$ | تكلفة إنتاج الكهرباء دولار/ميجا وات ساعة | تكلفة تحلية المياه دولار/ م$^3$ | STAGE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | STEAM CYCLE (S–C) | R.O | 14 | 0 | 235,8 | 1,27 | – |
| 2 | | M.E.D | 6,8 | 241 | 235,8 | 2,06 | 14 |
| 3 | | M.S.F | 8,8 | 532 | 235,8 | 3,52 | 14 |
| 4 | GAS CYCLE )C–G( | R.O | 14 | 0 | 127,6 | 0,96 | – |
| 5 | | M.E.D | 6,8 | 241 | 127,6 | 0,81 | 14 |
| 6 | | M.S.F | 8,8 | 532 | 127,6 | 0,83 | 14 |
| 7 | COMBINED CYCLE ) C–C( | R.O | 14 | 0 | 89,7 | 0,85 | – |
| 8 | | M.E.D | 6,8 | 241 | 89,7 | 1,13 | 14 |
| 9 | | M.S.F | 8,8 | 532 | 89,7 | 1,69 | 14 |

**المصدر** / من إعداد الباحث من خلال النتائج المتحصل عيها من برنامج **DEEP**

**دراسة فروض التقييم الاقتصادي لبدائل إنشاء محطات التحلية المختلفة باستخدام مصادر الطاقة النووية ومصادر الطاقة التقليدية المختلفة.**

**الفرض الأول: هناك علاقة جوهرية ذات دلالة معنوية بين تحلية مياه البحر وتقليل فجوة العجز المائي بمصر وزيادة نصيب الفرد من المياه.**

أوضح تقرير التنمية البشرية في مصر لعام 2021 الصادر عن وزارة التخطيط أن مصر تقع حاليا تحت خط الفقر المائي العالمي المقدر من الأمم المتحدة بنحو 1000 م$^3$ من المياه سنويا للفرد في جميع مناحي الحياة، حيث يتوقع بحلول عام 2030 أن يصل نصيب الفرد من المياه إلى 444 م $^3$ سنويا للفرد، وبحلول عام 2050 من المتوقع أن يصل إلى 303 م$^3$ يعنى هذا أنا نصيب الفرد من المياه أصبح يعادل ثلث خط الفقر المائي العالمي.

ونظرا لاحتياج مصر لتعزيز متطلباتها من المياه العذبة بسبب الزيادة السكانية وقلة الموارد المختلفة من المياه مع ثبات حصتها من مياه النيل، وهو ما يجبر الحكومة المصرية على التفكير في موارد بديلة للمياه العذبة الصالحة للشرب والزراعة قبل الدخول في مرحلة العجز المائي.

وكذلك نظرا لتميز موقع مصر الجغرافي كدوله ساحلية ، كذلك قيامها حاليا بإنشاء محطة طاقة نووية يمكن ان تستغل في المساهمة في حل مشكلة العجز المائي عن طريق توجيه كمية من الطاقة الكهربية المنتجة منها الى محطات التحلية مما يساهم وبشكل رئيسي في تقليل فجوة العجز المائي ، حيث أشارت الاستراتيجية العالمية للشراكة الدولية للمياه إلى أن العالم الآمن للمياه سوف يحقق التنمية المستدامة، وإن أمن المياه يعني أن كل شخص لديه ما يكفي من المياه الأمنة وبأسعار معقولة ليعيش حياة نظيفة وصحية، ولذلك **مما سبق يتضح لنا جليا صحة الفرض الأول من الدراسة وهى ان هناك علاقة جوهرية ذات دلالة معنوية بين تحلية مياه البحر وتقليل الفجوة في العجز المائي ونصيب الفرد من المياه.**

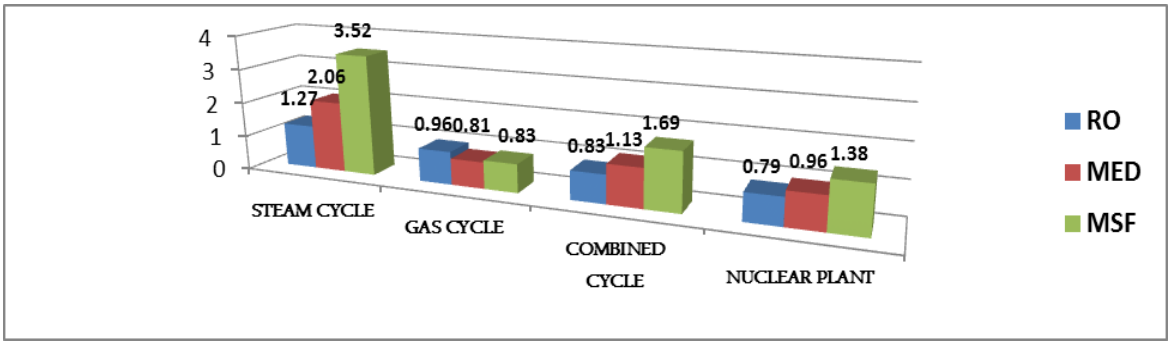
**الفرض الثاني: هناك علاقة جوهرية ذات دلالة معنوية بين تحلية مياه البحر بمحطات القوى الكهربية (النووية) والعائد الاقتصادي منه – ويمكن إثبات صحة هذا الفرض باستخدام العديد من النتائج المتحصل عليها من البرنامج باستخدام البرنامج الإحصائي الاقتصادي DEEP**

(أ) النتائج الخاصة بالتكلفة بين أنظمة التحلية المختلفة باستخدام الطاقة النووية والمحطات التقليدية (باستخدام الوقود الأحفوري) والذي يتضح فيه إن هناك تفاوت بين القيمة السعرية لتحلية متر مكعب من المياه باستخدام الطرق المختلفة من أنواع التحلية كما هو موضح بالجدول رقم (8) والشكل البياني رقم (4):

**جدول (8):** مقارنة نتائج تكلفة إنتاج متر مكعب من المياه من محطات التحلية المختلفة سعة (100) ألف متر$^3$ /اليوم باستخدام المحطة النووية من النوع المفاعل (VVER 1200) والمحطات التقليدية المختلفة باستخدام برنامج DEEP.

| تكلفة الإنتاج دولار/ م$^3$ | | محطات الطاقة التقليدية | | | المحطة النووية (VVER 1200) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | S–C | G–C | C– C | |
| أنواع محطات التحلية | RO | 1,27 | 0,96 | 0,85 | 0,79 |
| | MED | 2,06 | 0,81 | 1,13 | 0,96 |
| | MSF | 3,52 | 0,83 | 1,69 | 1,38 |

**المصدر** / من إعداد الباحث من خلال النتائج المتحصل عيها من برنامج DEEP




**شكل رقم (4)** رسم بياني يوضح مقارنة نتائج تكلفة إنتاج متر مكعب من المياه بين محطات التحلية المختلفة (RO – MSF – MED) وكذلك باستخدام الطاقة النووية والتقليدية)

**المصدر** / من إعداد الباحث من خلال النتائج المتحصل عيها من برنامج DEEP

أظهرت النتائج أن تكلفة المتر المكعب من المياه بطريقة التناضح العكسي (RO) هو الأقل سعرا في أغلب أنواع المحطات الكهربائية المختلفة حيث اتضح إن تكلفة إنتاج متر مكعب مياه من محطة تعمل بالوقود الأحفوري بنظام (S–C) تعادل ((1,27 دولار/ م$^3$) والتي تعمل بنظام (C– C )تعادل ((0,85 دولار/ م$^3$) والتي يتم تغذيتها من محطة نووية تكون تكلفة إنتاج متر مكعب من المياه المحلاة حوالى ((0,79 دولار/ م$^3$) ما عدا التي يتم تغذيتها كهربيا بنظام (G–C) تعادل ( 0,96 دولار/ م$^3$).

**(ب)** معدل العائد الداخلي على رأس المال (IRR) INTERNAL RATE OF RETURN :

يقوم برنامج DEEPبحساب IRR بعد خصم الضرائب على راس المال يعنى ذلك انه يوضح مدى نجاح المشروع اقتصاديا ويعتبر هذا المؤشر من اقوى المؤشرات اقتصاديا للدلالة على ربحية المشروع ونجاحه اقتصاديا.

**جدول (9)** يوضح مقارنة نتائج IRR بين محطات التحلية المختلفة (RO – MED – MSF) سعة (100) الف متر$^3$ /اليوم باستخدام المحطة النووية من النوع المفاعل ((VVER 1200 والمحطات التقليدية المختلفة باستخدام برنامج DEEP.

| معدل العائد الداخلي | | محطة الطاقة التقليدية | | | المحطة النووية (VVER 1200) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | S-C | C-G | C- C | |
| أنواع محطات التحلية | RO | %20 | %25 | %27 | %28 |
| | MED | %1- | %24 | %19 | %19 |
| | MSF | %50- | %23 | %9 | %15 |

**المصدر** / من إعداد الباحث من خلال النتائج المتحصل عيها من برنامج DEEP

ويتضح من النتائج التحليلية في الجدول رقم (9) عند عمل مقارنة بين معدل العائد الداخلي على رأس المال IRR بين أنظمة التحلية المختلفة باستخدام الطاقة النووية والمحطة الطاقة التقليدية التي تعمل بالوقود الأحفوري إن اعلى معدل عائد داخلي على راس المال عند استخدام التحلية بنظام RO وذلك باستخدام المحطة النووية كمصدر للتغذية الكهربائية.

**(ت)** مؤشر عدد سنوات استرجاع راس المال (SPBT): SIMPLE PAY BACK TIME يعتمد هذا المعدل على توضيح وبيان قدرة المشروع على إعادة راس مالة في عدد سنوات محددة كما هو موضح في الجدول التتالي:

**جدول (10)** يوضح مقارنة نتائج SPBT بين محطات التحلية المختلفة (RO – MED – MSF) سعة (100) الف متر3 /اليوم باستخدام المحطة النووية من النوع المفاعل (VVER 1200) والمحطات التقليدية المختلفة باستخدام برنامج DEEP.

| معدل استرجاع راس المال% | | محطة الطاقة التقليدية | | | المحطة النووية (VVER 1200) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | S–C | C–G | C– C | |
| نوع المحطة | RO | 7.6 | 6,7 | 6,4 | 6,3 |
| | MED | ليس هناك ربحية للمشروع يستطيع بها إرجاع راس المال نظرا لارتفاع تكلفة متر مكعب من المياه | 6,9 | 7,8 | 7,8 |
| | MSF | ليس هناك ربحية للمشروع يستطيع بها إرجاع راس المال نظرا لارتفاع تكلفة متر مكعب من المياه | 7 | 11,6 | 8,8 |

**المصدر** / من إعداد الباحث من خلال النتائج المتحصل عيها من برنامج DEEP

ويتضح من النتائج التحليلية التي تم الحصول عليها بالجدول رقم (10) ان اقل عدد سنوات لاسترجاع راس المال للمشروع يتحقق من خلال استخدام التحلية بنظام RO وذلك باستخدام المحطة النووية كمصدر للتغذية الكهربائية (ويرى الباحثون أن هذا المؤشر يستخدم كدلالة فقط على قوة المشروع في استرجاع راس مالة اسرع في حالة المقارنة بمشاريع أخرى لها نفس الخصائص).

**ملخص نتائج الدراسة الاقتصادية لتحلية المياه لإثبات صحة الفرض الثاني:**

تم عمل مقارنة بين أنواع التحلية المختلفة باستخدام مصدر تغذية كهربية من محطات تعمل بالوقود الأحفوري أو بالطاقة النووية وتم إعداد جداول مقارنه بين كلا من (تكلفة الإنتاج، معدل العائد الداخلي على رأس المال، معدل عدد سنوات استرجاع راس المال)، مما سبق يتضح أن تكاليف عملية تحلية المياه بالاعتماد على الوقود النووي كانت أقل بصورة ملحوظة من استخدام الوقود الأحفوري. وذلك لأن تكلفة إنتاج الطاقة الكهربائية الناتجة من المفاعلات أقل من نظيرتها المنتجة باستخدام الوقود الأحفوري، وذلك فضلاً عن تجنب الأعباء البيئية الناتجة من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الضار بالبيئة وعلى الرغم من ارتفاع التكلفة الاستثمارية للمفاعلات النووية إلا أنها تتميز بزيادة معدلات العمر الافتراضي بصورة كبيرة عن المولدات المستخدمة في إنتاج الكهرباء من الوقود الأحفوري **ومن هنا نستطيع ان نقول بصحة الفرض الثاني ان هناك علاقة جوهرية ذات دلالة معنوية بين تحلية مياه البحر بمحطات القوى الكهربية (النووية ) والعائد الاقتصادي منه.**

**ثانيا: الدراسة الاقتصادية لإنتاج الهيدروجين بالطاقة النووية أو من محطات الطاقات الأخرى:**

تعد صناعة إنتاج الهيدروجين النظيف في مصر متفقا مع توجهات مصر كأحد الركائز المهمة للمساهمة في تحقيق التنمية المستدامة والاستدامة البيئية، وذلك طبقا لرؤية مصر ٢٠٣٠ والتي ترتكز على إن الطاقة عنصر اقتصادي وبيئي أساسي لتحقيق مبدأ المحافظة على تغير المناخ، كما أن إقامة هذه المشروعات التنموية تتفق مع تصديق مصر على اتفاقية باريس لمواجهة تغير المناخ .

قامت مصر بإنشاء المجلس الوطني للهيدروجين الأخضر ومشتقاته في سبتمبر 2022 بهدف توحيد الجهود التي تبذلها الدولة لتحفيز الاستثمار في مجال الهيدروجين الأخضر ومشتقاته، بما يتماشى مع متطلبات التنمية المستدامة وخطط الدولة للتنمية الاقتصادية والاجتماعية، وضمان القدرة التنافسية على الصعيدين الإقليمي والدولي، مما يجعل

مصر أحد البلدان الرائدة في اقتصاد الهيدروجين منخفض الكربون على مستوى العالم من خلال الاستعانة بالخبرات العالمية في إنتاج الهيدروجين ومشتقاته.

كما تم اعتماد الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين مُنخفض الكربون في 2024/2/27 والتي تهدف الى التوسع التدريجي في الاستخدام المحلي للهيدروجين، مع زيادة طاقات إنتاج الهيدروجين ومشتقاته باستخدام طاقة نظيفة بنسبة 100%، واستخدام الهيدروجين في جميع القطاعات خاصة الصناعة والنقل.

- ✓ **دور توطين مشروعات الهيدروجين في تحسين الاقتصاد المصري: (**تقرير توطين مشروعات إنتاج الهيدروجين الأخضر في مصر الصادر من مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار التابع لمجلس الوزراء المصري – يونيو 2022)

1- توفر هذه المشروعات فرصة كبيرة لدفع عملية التنمية الاقتصادية فضلا عن إمكانية أن تحقق هذه المشروعات فائض مادي لخزانة الدولة المصرية يقدر بمليارات الدولارات سنويا، وبالتالي تعزيز الأمن القومي المصري.

2- تعتبر كفاءة الطاقة عنصرا هاما في استراتيجية مصر للطاقة المستدامة المتكاملة لعام 2035 حيث إنها تدعم الدولة لتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة المحدودة وتقديم حلول بديلة للطاقة بأقل تكلفة وتقليل انبعاثات الملوثات المحلية وانبعاثات الغازات الدفيئة واستنزاف الموارد الطبيعية التي لها آثار سلبية على البيئة.

3- إدخال الهيدروجين يساهم في الارتقاء بالعملية التعليمية والبحثية التطبيقية، من خلال دعم البحوث والتطوير في مجال الهيدروجين النظيف.

- ✓ **اقتصاديات إنتاج الهيدروجين في بعض الدول المتقدمة في إنتاجه باستخدام برنامج HEEP طبقا لبيانات الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA-TECDOC-1859- 2020)**

يعتمد برنامج HEEP على التقييم التقني والاقتصادي لتقدير تكلفة الهيدروجين الناتج عن استخدام الطاقة من محطات الطاقة النووية، ويعمل البرنامج عن طريق اكواد تأخذ في الاعتبار اقتراض الفوائد والضرائب وما إلى ذلك، ويتميز برنامج HEEP بقدرته على إجراء التقييم الشامل لتكلفة إنتاج الهيدروجين حيث يحتوى على قاعدة بيانات تشمل (المعلومات الفنية – عناصر التكلفة المختلفة )، ويحتوى على بعض النماذج المختلفة لأنواع مختلفة من المفاعلات وخلاصة نتائجها إن أعلى تكاليف توليد الهيدروجين لمفاعلات(Advanced Pressurized Water Reactor) بالإضافة إلى التحليل الكهربائي التقليدي ، وتتناقص هذه التكاليف المحددة مع زيادة حجم المحطة النووية كما هو متوقع من مبدأ اقتصاد الحجم.

لقد نجح العالم في التحول إلى اقتصاد الهيدروجين حيث أصبح الهيدروجين مقبولاً على نطاق واسع باعتباره شكلاً نظيفًا وآمنًا ومستدامًا للطاقة، وتشير التوقعات المستقبلية لتحول الطاقة حتى عام 2050 الاعتماد بشكل كبير على الطاقات المتجددة ضمن مزيج الطاقة العالمي، بالإضافة الى أنه من المتوقع أن تبلغ نسبة الهيدروجين ضمن مزيج الطلب على الطاقة حوالي 24% بالاتحاد الأوروبي عام 2050، حيث تشير البيانات المنشورة بموقع الوكالة الدولية للطاقة الذرية إن تكلفة إنتاج الهيدروجين مستقبليا في الفترة من 2020 الى 2050 من مصادر الطاقة النظيفة ستنخفض باستخدام التحليل الكهربي من 7 الى 2.7 (دولار/ كجم هيدروجين) في عام 2050.

✓ **تجارب بعض الدول العملية في إنتاج الهيدروجين (IAEA–TECDOC–1859 –2020):**

**1– دراسة حالة اليابان كدوله متقدمة في إنتاج الطاقة الهيدروجينة مستقبلا مقارنة بالطاقات المتولدة الاخرى حتى 2050:** حددت خطة البيئة الأساسية في اليابان خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة 80% حتى عام 2050 بخفض استهلاك الطاقة الأحفورية وذلك للحصول على بيئة نظيفة وامنه ومستدامة، وذلك بزيادة معدل الطاقة المنتجة باستخدام الطاقة النووية والطاقة الهيدروجينية للقدرة على الوفاء بالتزاماتها بالحد من الانبعاثات الكربونية الضارة كما هو موضح بالجدول التالي:

**جدول (11)** يوضح مقدار مساهمة الطاقات المختلفة بدولة اليابان حتى عام 2050

| الطاقة المولدة | 2010 | 2013 | 2030 | 2050 | مليون طن معادل من النفط |
|---|---|---|---|---|---|
| الوقود الأحفوري | 431 | 462 | 344 | 114,1 | |
| الطاقات المتجددة | 8,4 | 8,6 | 20,1 | 72,6 | |
| الطاقات النووية | 24,8 | 0,8 | 20,1 | 47,7 | |
| الطاقة الهيدروجينية | 0 | 0 | 0,6 | 73,3 | |
| الإجمالي | 464,1 | 471,4 | 384,3 | 307,8 | |

**المصدر**/ منشورات الوكالة الدولية للطاقة الذرية(IAEA–TECDOC–1859 –2020)

تقوم اليابان بتطوير أساليب مبتكرة لإنتاج الهيدروجين النووي كمجال موسع لاستخدام الطاقة النووية لترسيخ استراتيجية طاقة خالية من الانبعاثات من حيث الحجم والتكلفة مماثلة لدور توليد الطاقة النووية اليوم في العديد من الدول الأعضاء بهدف المساهمة المحتملة في تلبية التوقعات المهمة للطاقة الهيدروجينية من أجل التنمية المستدامة للاقتصاد الوطني نحو تحقيق الأهداف الوطنية لخفض ثاني أكسيد الكربون في عام 2050 ، كما خلصت دراسة البيئة اليابانية لإنتاج الهيدروجين بالطاقة النووية الى انه إلى جانب التكلفة التنافسية لإنتاج الهيدروجين، فان التكاليف المقدرة للهيدروجين في نظام التوليد المشترك للطاقة والتي يقوم فيها المفاعل بإمداد مصنع إنتاج الهيدروجين بالحرارة والكهرباء هي اقل تكلفة والتي تقدر بحوالي 3.57 دولار/ كجم .

**2– دراسة حالة ألمانيا كدوله متقدمة في إنتاج الطاقة الهيدروجينة** قامت ألمانيا بإجراء عددًا كبيرا من التجارب المختلفة لإنتاج الهيدروجين من طرق مختلفة ومصادر متعددة (الأحفورية والمتجددة) بما في ذلك إنتاج الهيدروجين باستخدام مفاعلات خاصة بإنتاج الهيدروجين وتم عمل مقارنة بين الحالات باستخدام برنامج HEEP حيث اعتمدت الدراسة الألمانية على اختيار مفاعل من النوع H2–MHR وقد انتهت الدراسة الى ان استخدام الطاقة الكهربية والطاقة الحرارية من المفاعل هي انسب الطرق للحصول على اقل تكلفة إنتاج للهيدروجين وتقدر بحوالي 1.65 يورو/كجم كما هو موضح بالجدول التالي:

**جدول رقم (12)** نتائج تكلفة إنتاج الهيدروجين من أنواع مختلفة من المفاعلات النووية

| الحالة | الطريقة المستخدمة | تكلفة إنتاج الهيدروجين |
|---|---|---|
| الأولى | مفاعل من النوع H2–MHR ( كهرباء وحراره ) | 1,65 يورو/كجم |
| الثانية | مفاعل من النوع H2–MHR (دورة كيميائية حرارية) | 1,71 يورو/كجم |
| الثالثة | مفاعل نمطي صغير SMR | 2,41 يورو/كجم |

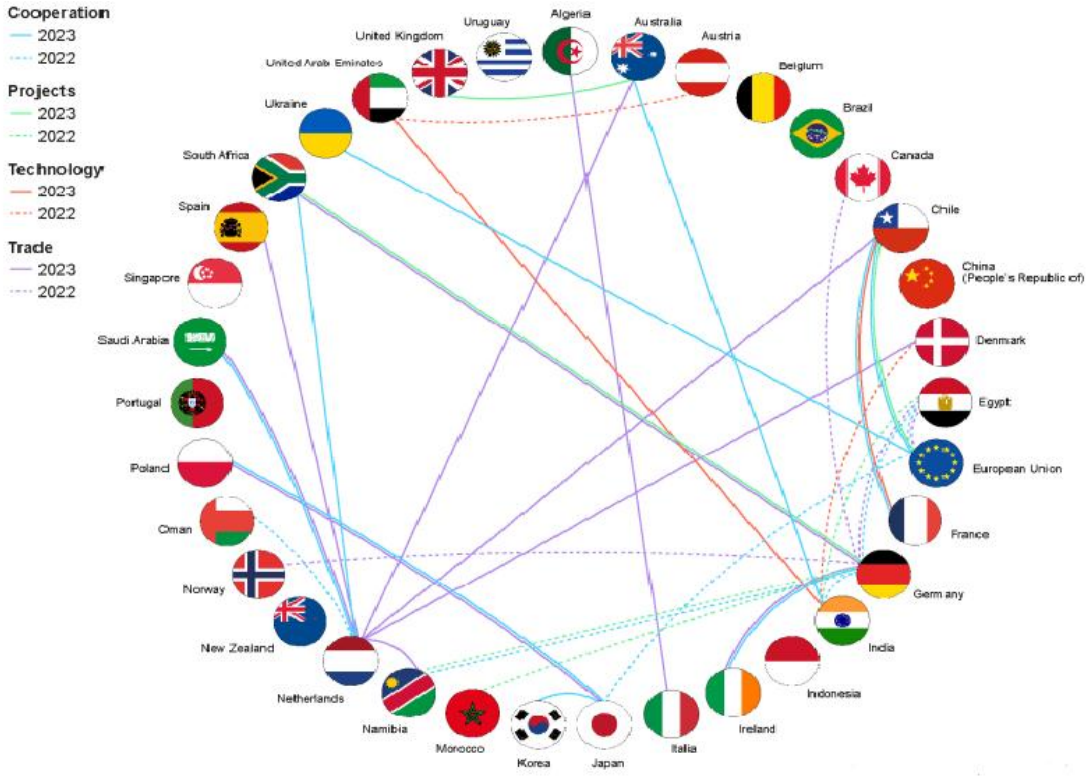
**المصدر**/ منشورات الوكالة الدولية للطاقة الذرية(IAEA–TECDOC–1859 –2020)

**3- <u>تكلفة انتاج الهيدروجين من المصادر التقليدية الأخرى</u>** (طبقا لتقرير مراجعة قطاع الهيدروجين ( Global Hydrogen Review 2023) الصادر من الوكالة الدولية للطاقة (www.iea.org ) عام 2024)

من المتوقع أن يزيد الطلب على الهيدروجين في عام 2030 ليصل الى 115 مليون طن هيدروجين، كما أفاد التقرير انه طبقا للدراسات المختلفة والخاصة بتكلفة إنتاج الهيدروجين من المصادر الأحفورية فان( تكلفة إنتاجه من الغاز الطبيعي يقدر بحوالي من 0,5 الى 1,7 دولار/كجم وبمزيد من الابتكار التكنولوجي والتقني من الممكن أن تصل تكلفة إنتاج الهيدروجين الرمادي الى واحد دولار/ كجم، وطبقا لمنظمة الأوبك فان إنتاج الهيدروجين باستخدام تقنيات تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون تزيد من تكلفة الإنتاج الى نحو متوسط من 1الى 2 دولار/كجم .

كما أفاد التقرير أن تكلفة إنتاج الهيدروجين من الطاقات المتجددة تقدر بحوالي من 3 الى 7,8 دولار/كجم والذى يعتمد على حجم المنشأة وكذلك مقدار توافر المياه المحلاة حيث إن اغلب المحطات المتجددة تكون في الصحراء فتؤثر تكلفة الحصول على المياه المحلاة على سعر إنتاج الهيدروجين وهناك محاولات ودراسات كثيرة تعمل على خفض تكلفة إنتاج الهيدروجين من الطاقات الجديدة طبقا لسيناريو الانبعاثات الصفرية في عام 2050 من 1,3 الى 3,5 دولار/كجم **وكذلك تقل تكلفة إنتاج الهيدروجين من الطاقة النووية من 0,75 الى 1,25 دولار/كجم عام 2050 مما يجعل من الطاقة النووية منافسا قويا لإنتاج الهيدروجين حتى بدون استخدام تقنية تقليل الانبعاثات .**

كما أفاد التقرير أن التعاون الدولي في مجال الهيدروجين يتزايد سواء في مجال الاستثمار والتمويل والابتكار فمنذ عام 2022 هناك 31 اتفاقية ثنائية للتعاون في مجال الهيدروجين تم التوقيع عليها من قبل الحكومات في جميع أنحاء العالم كما تم توقيع أيضا 15 اتفاقية في مجال تجارة الهيدروجين لذا اصبح الهيدروجين من اكثر الموضوعات شيوعا في الوقت الحالي وفيما يلى شكل توضيحي يبين التعاون بين الدول في مجال تكنولوجيا إنتاج الهيدروجين .




**شكل رقم (5)** يوضح التعاون بين الدول في مجال إنتاج الهيدروجين
**المصدر** / تقرير (Global Hydrogen Review 2023) الصادر من الوكالة الدولية للطاقة (www.iea.org ) عام 2024)


الترقيم الدولي الموحد للطباعة ISSN 1110-0826
الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني 2636-3178

**دراسة الفرض الثالث للتقييم الاقتصادي لإنتاج الهيدروجين والمتضمن:**

**أن هناك علاقة جوهرية ذات دلالة معنوية بين إنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقة المتولدة من محطات القوى النووية والأثر الإيجابي على البيئة والتكلفة الاقتصادية لإنتاجه.**

من خلال الدراسات السابقة للدول في مجال إنتاج الهيدروجين يتضح أن العائد الاقتصادي من إنتاج الهيدروجين بالطاقة النووية افضل بكثير من الطرق التقليدية الأخرى المستخدمة كالوقود الأحفوري، ويركز الباحثون في مجال إنتاج الهيدروجين حاليا الى تحسين كل مجموعة من عمليات الإنتاج التي تجعل الهيدروجين وقود المستقبل الخالي من الانبعاثات الكربونية، وتتنوع أسعار إنتاج الهيدروجين الحالي من الطاقات النووية طبقا لنوع المفاعل المستخدم وكذلك مصدر الطاقة المستخدمة من حيث كهربية أو حرارية وحجم محطة الإنتاج.

كذلك إنتاج الهيدروجين بمحطات القوى النووية له أثر إيجابي على البيئة حيث إن استخدام الهيدروجين الخالي من الانبعاثات الكربونية المنتج باستخدام الطاقة الكهربية أو الحرارية المتولدة من الطاقة النووية سيكون له مردود إيجابي على البيئة ويساعد في علي تحسين المناخ وكذلك المساهمة في الاستدامة البيئية.

## نتائج البحث

1- تساهم الطاقة النووية في الحد من التغير السلبي للمناخ حيث إن لتغير المناخ تأثيرات واضحة على البيئة والبشر وقد تتسبب في زيادة الظواهر الجوية والمناخية مثل زيادة درجات الحرارة القصوى الباردة والدافئة وظواهر هطول الأمطار الغزيرة، كما يؤثر على العديد من الكائنات البرية والمائية التي غيرت من سلوكها الموسمي وهجرتها وتعدادها وتفاعلها مع النظام البيئي.

2-مساهمة الطاقة النووية في خفض الغازات الدفيئة وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري التي يسببها احتراق الوقود الأحفوري مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي حيث يصدر قطاع الطاقة 2023 حوالي 33 جيجا طن من إجمالي ثاني أكسيد الكربون كل عام، لذلك فإن سياسات الحد من استخدام الوقود الأحفوري لتقليل الطلب على الطاقة، وتحسين الكفاءة في إنتاج الطاقة واستخدامها، وتوسيع التقنيات منخفضة الكربون في إنتاج الطاقة في تزايد مستمر.

3-مساهمة الطاقة النووية في التوليد المشترك للطاقة الكهربية والحرارية تؤدى إلى انخفاض كبير في انبعاثات الغازات الدفيئة لأنه يستخدم الحرارة المهدرة بدلاً من مجرد إطلاقها في البيئة مما يساعد في تحقيق أهداف اتفاقية باريس لخفض الانبعاثات حتى عام 2060 وعام 2100 بان تكون صافي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون صفر.

4-تساهم الطاقة النووية من خلال تحلية مياه البحر بالطاقة النووية في تقليل أو سد الفجوة في العجز المائي أو المحافظة على نصيب الفرد السنوي من المياه العذبة في مصر وذلك نظرا لاحتياج مصر لتعزيز متطلباتها من المياه العذبة بسبب الزيادة السكانية وقلة الموارد المختلفة مثل المياه الجوفية والأمطار مع ثبات حصتها من مياه النيل وهو ما يجبر الحكومة المصرية على التفكير في موارد بديلة للمياه العذبة الصالحة للشرب والزراعة قبل الدخول في مرحلة العجز المائي.

5-العائد الاقتصادي من استخدام محطات القوى النووية في تحلية مياه البحر افضل اقتصاديا وبيئيا من مصادر الطاقة الأخرى والذى اتضح من خلال النتائج أن تحلية المياه بطريقة التناضح العكسي هو الأقل سعرا في اغلب أنواع المحطات الكهربائية المختلفة والأقل سعرا في الأنواع التي يتم تغذيتها من محطة نووية حيث أوضحت النتائج أن تكلفة إنتاج متر مكعب من المياه المحلاة حوالى 0,79 دولار/م3).


الترقيم الدولي الموحد للطباعة ISSN 1110-0826
الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني 3178-2636

6- معدل العائد الداخلي على رأس المال (IRR) الذي يعد اقوى المؤشرات اقتصاديا للدلالة على ربحية المشروع ونجاحه اقتصاديا ويتضح من النتائج التحليلية التي تم الحصول عليها من خلال مخرجات برنامج (DEEP) إن اعلى معدل عائد داخلي على راس المال ينتج عن طريق التحلية بنظام RO وذلك باستخدام المحطة النووية كمصدر للتغذية الكهربائية والذي يبلغ 28%.

7-مؤشر عدد سنوات استرجاع راس المال (SPBT) يعتمد على توضيح وبيان قدرة المشروع على إعادة راس مالة في عدد سنوات محددة ويتضح من النتائج التحليلية التي تم الحصول عليها إن اقل عدد سنوات لاسترجاع راس المال للمشروع ينتج عن طريق التحلية بنظام RO وذلك باستخدام المحطة النووية كمصدر للتغذية الكهربائية.

8-العائد الاقتصادي من إنتاج الهيدروجين بالطاقة النووية أفضل بكثير من الطرق التقليدية الأخرى، حيث أن استخدام الهيدروجين الخالي من الانبعاثات الكربونية سيكون له تأثير إيجابي على البيئة ويساعد في عدم تغير المناخ وكذلك المساهمة في الاستدامة البيئية مما سيؤدى الى زيادة الأمن القومي نظرا لتامين الإمدادات بالطاقة.

## خلاصة البحث

تعد الطاقة النووية أحد أهم مصادر الطاقة النظيفة؛ لاينتج عنها انبعاثات كربونية أثناء تشغيلها، وبالتالي نستطيع استخدمها في مجالات سلمية مختلفة مثل توليد الكهرباء وتحلية المياه بالإضافة إلى إنتاج الهيدروجين مما يحقق صافي انبعاثات صفري وهو ما أدى إلى زيادة الاهتمام العالمي بالطاقة النووية، حيث شكلت اقتصادات الأسواق الناشئة والاقتصادات النامية نحو 60% من القدرات النووية الجديدة.

تم في هذا البحث تحليل البيانات الناتجة من استخدام برنامج DEEP وتم التوصل الى إن الطاقة النووية لها تأثير إيجابي وفعال على البيئة والاستدامة البيئية، وقد توصلت الدراسة الى توضيح دور الطاقة النووية في المساهمة في الحد من تغير المناخ من خلال خفض الغازات الدفيئة وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري طبقا لاتفاقية باريس 2015.

كما ساهمت الدراسة في توضيح دور الطاقة النووية في المساهمة في سد فجوة العجز المائي وتقليل الطلب على الوقود الأحفوري بتامين متطلباتنا من الوقود النظيف(الهيدروجين) من خلال إمداد محطات تحلية مياه البحر /المحللات الكهربية بالطاقة الكهربية أو الحرارية.

كذلك أظهرت مقارنة نتائج تحلية المياه بالطرق المختلفة وبمصادر طاقة متنوعة إن أقلهم سعرا وأفضلهم في مؤشر معدل العائد الداخلي على رأس المال (IRR) ومؤشر عدد سنوات استرجاع راس المال (SPBT) هي طريقة التناضح العكسي المغذاة كهربيا من محطة نووية وتبلغ تكلفة المتر مكعب من المياه المحلاة الصالحة للاستخدام الأدمي حوالي 0,79 دولار /م$^3$.

أوضحت وكالة الطاقة الدولية أن إنتاج الهيدرجين من الطاقات النظيفة والمتجددة سيوفر 830 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون المنبعث سنويا باستخدام الوقود الأحفوري، وأظهرت نتائج الدراسات والتقارير وتجارب الدول إن العائد الاقتصادي من إنتاج الهيدروجين بالطاقة النووية أفضل وأرخص بكثير من الطرق التقليدية الأخرى.


الترقيم الدولي الموحد للطباعة ISSN 1110-0826
الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني 2636-3178

## توصيات البحث

1-يجب أن تعتمد مصادر الطاقة بشدة على الطاقات المتجددة والطاقة النووية (كطاقة نظيفة) حيث تهدف سياسة واستراتيجية الطاقة في مصر إلى تحقيق استدامة الطاقة وتقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري وكذلك تنويع مصادر الطاقة هو الهدف الرئيسي للاستراتيجية المصرية لعام 2030

2-استخدام الطاقة النووية لتوليد الكهرباء وإزالة ملوحة المياه من أجل أن تكون صالحة للاستخدام مهمة جدًا للدولة المصرية لحل مشاكل احتراق الوقود الأحفوري الملوث للبيئة والاتجاه الى مصدر طاقة أخر نظيف ومستدام.

3-إدخال المفاعلات الكبيرة والمتوسطة الحجم كآفاق جديدة للتوليد المشترك وكذلك المفاعلات الصغيرة (SMRs) وذلك لأنها تتميز بالمرونة والملاءمة للتوليد المشترك كما تتطلب أيضا بنية تحتية أقل وتكاليف إنشاء وتشغيل منخفضة وإمكانية استخدامها بالأماكن النائية.

4-ضرورة الاعتماد على التحلية النووية وذلك للحفاظ على موارد الطاقة البترولية وتخفيض معدلات استيرادها واستخدامهم كمادة خام لا بديل لها في الصناعات البتروكيميائية وصناعة الأسمدة بدلا من حرقها لتوليد الكهرباء، انخفاض تكاليف تحلية المياه وكذلك إنتاج الطاقة سواء الكهربية أو الحرارية ويعد نوع مفاعلات PWR (مفاعلات الماء العادي المضغوط) والذي يتم إنشاؤها بمحطة الضبعة النووية هي الأكثر استخدامًا بشكل عام مع أنظمة تحلية المياه MSF و MED و RO.

5-إنتاج الهيدروجين بالطاقة النظيفة الخالي من الانبعاثات الكربونية المؤثرة على البيئة له مردود اجتماعي واقتصادي نحو الاستدامة البيئة.

6-لابد من السرعة في العمل لخفض منحنى تكلفة إنتاج الهيدروجين والوصول إلى القدرة التنافسية لتقليل انبعاثات الغازات الدفيئة في عملية إنتاج الهيدروجين.

7-يعد استخدام الهيدروجين في وسائل النقل والمجالات الأخرى من أحدث الاتجاهات التكنولوجية المبتكرة للاستفادة من الطاقة المتجددة والنظيفة حيث إن احتراق الهيدروجين لا ينتج عنه أي انبعاثات إذ تم الحصول عليه من خلال الطاقة المتجددة والنظيفة.

8-وجود فائض كبير من الطاقة الكهربية في مصر والذي يمكن استغلاله في إنتاج الهيدروجين بالإضافة إلى رغبة الدولة المصرية في تنويع مصادر الطاقة عن طرق وضع استراتيجية للطاقة تهدف إلى التوسع في استخدام الطاقة النظيفة والمتجددة والوصول إلى 42 % من الطاقة المولدة في مصر عام 2035 وذلك لعدم القدرة على الاعتماد بشكل أساسي على الوقود الأحفوري لتوليد الطاقة الكهربائية اللازمة مما يجعل الهيدروجين أحد البدائل الأساسية والحتمية كوقود للمستقبل.

## مراجع البحث

النقراشي، هاني محمود. (2023). أفاق الطاقة، المجلد الأول، ص 17-27.

عبد الرحمان، نوري؛ عبد القادر، بوراس. (2017). مجلة البحوث العلمية في التشريعات البيئية، المجلد السابع، صفحات 292-309.

إبراهيم، ايمن عبد السلام. (2015). الطاقة النووية ودورها في تحقيق أهداف التنمية المستدامة، مصر: المكتبة العصرية للنشر والتوزيع

عمران، محمد موسى. (2014). استراتيجية مقترحة لإمكانية استخدام الطاقة الشمسية في توليد الكهرباء بمصر، جامعة عين شمس، معهد الدراسات والبحوث البيئية سابقا.

غنيم، سوزان معوض. (2011). النظم القانونية الدولية لضمان استخدام الطاقة النووية في الأغراض السلمية مصر. ط 1، الإسكندرية: دار الجامعة الجديدة.

أمين، جلال. (2010). مصر والمصريون في عهد مبارك 1981–2011.ط1، القاهرة: دار الشروق.

رضا، عبد السلام. (2009). الطاقة النووية وأهداف التنمية المستدامة لدول مجلس التعاون الإمارات. ط1، ابو ظبي: مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية.

محمد، فرحات. (2006) .النفط والتعاون العربي، التعاون العربي في مجال الربط الكهربائي الإنجازات والمعوقات وتطلعات إلى المستقبل ، ص9–51.

وزارة التخطيط، تقرير التنمية البشرية في مصر، القاهرة، ص175–178، (2019).

أديب، عبد السلام، أبعاد التنمية المستدامة، مقال منشور على موقع الحوار المتمدن بتاريخ 2002/12/10، www.ahewar.org.

محمود، إبراهيم محمد.(1993). الطاقة في مصر دراسة تحليلية في اقتصاديات المكان. ط1، القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية.

مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار التابع لمجلس الوزراء المصري، توطين مشروعات إنتاج الهيدروجين اخضر في مصر الفرص والتحديات والتوصيات، القاهرة، ص21–37، يونيو2022، https://slis.idsc.gov.eg/.

كورنيليوس ماتيس ؛ فاليريا اروفو ؛ لويس رتبى برادو ، التحديات والفرص في إنتاج الهيدروجين وتصديره من الشرق الأوسط الى أوروبا ، المملكة الأردنية الهاشمية ، ص 8–15، نوفمبر 2020 ، https://library.fes.de/pdf-files/bueros/amman/17608.pdf.

وزارة البيئة المصرية، تقرير حالة البيئة فى مصر، القاهرة، ص56–2020،72، https://www.eeaa.gov.eg/Reports/Details1062/.

الشركة القابضة لكهرباء مصر ، التقرير الاحصائي السنوى للشركة القابضة لكهرباء مصر ، القاهرة، 2000–2022، http://www.moee.gov.eg/test_new/report.aspx.

Qiuwen Wang, Hu Zhang, Puxin Zhu. (2023). Using Nuclear Energy for Maritime Decarbonization and Related Environmental Challenges, international journal of Environmental research and public health, 2993,20,P1-23.

Idriss, Hicham.(2021). Towards Large Scale Hydrogen Production from Water, What Have We Learned and What Are the Main Research Hurdles to Cross for Commercialization, Energy Technology, 9, 2000843, P1-9.

Kim,Jungbin.(2019).A comprehensive review of energy consumption of seawater reverse osmosis desalination plants, Appl Energy,245,113652.

HAMED,Osman.(2005).Overview of hybrid desalination system current status and future prospects, Desalination, Science Direct 186, 13, P 207-214.

# A PROPOSED FRAMEWORK FOR USING NUCLEAR POWER PLANTS TO SEA WATER DESALINATION AND EXTRACTING HYDROGEN TO ACHIEVE ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

**Sameh A. El-Khouly [(1)]; Noha S. Donia [(1)]; Hoda I. Hilal [(1)]**
**Abu Bakr A. Bakhit [(2)]; Mohammad M. Omran [(3)]**
1) Faculty of Graduate Studies and Environmental Research, Ain Shams University 2) Nuclear Materials Authority 3) Electricity Utility Regulatory and Consumer Protection Agency

## ABSTRACT

This study aims to enhance the principle of environmental sustainability through applications of nuclear energy in seawater desalination and hydrogen production. The importance of seawater desalination in contributing to overcome the water deficit problem comes that Egypt suffers from. Studies have shown that in 2050, the per capita share of water may reach a quarter of the globally recommended value. The effect of carbon dioxide emitted from the use of fossil fuels negatively affects climate change, which is one of the biggest challenges of the twenty-first century. since the use of nuclear energy in the production of hydrogen will lead to a reduction in carbon dioxide emissions, which will reflect positively on climate change. In this research, the role of nuclear energy in environmental sustainability was highlighted through its various uses in different sectors such as (industrial - medical - agricultural - transportation... etc.). in addition, discussion of the technology of seawater desalination and hydrogen production with nuclear energy. The study clarified the role of nuclear energy in contributing to reducing climate change by reducing greenhouse gas emissions and its contribution to solve the water deficit problem. Reducing the demand for fossil fuels can be achieved by securing our requirements for carbon-free fuel such as hydrogen through the supply of (Seawater desalination plants/Electrolyzes) using electrical or thermal energy generated from nuclear power plants. This study also presented a comparison between different water desalination methods using various energy sources. The results of this comparison showed that the least expensive method used is the reverse osmosis method powered electrically from a nuclear station.

**Keywords:** Nuclear energy, Environmental sustainability, Water desalination, Hydrogen production.