African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)
Online ISSN: 2957-644X
Volume 3, Issue 3, 2024, Page No: 77-88
Website: *https://aaasjournals.com/index.php/ajapas/index*
معامل التأثير العربي 2023: (1.55) **SJIFactor 2023: 5.689** **ISI 2022-2023: 0.557**
Special issue: First Libyan Conference on Technology and Innovation (LCTI-2024), Benghazi, Libya

Renewable Energy for a Safer Future

Abeer Mohamad Abdel Razek Youssef*
Department of Economics, Professor of Economics, Faculty of Economics and Political Science, Cairo University, Cairo, Egypt

الطاقة المتجددة لمستقبل أكثر أمانًا

عبير محمد عبد الرازق يوسف *
قسم الاقتصاد، كلية الاقتصاد والعلوم السياسية، جامعة القاهرة، القاهرة، مصر

*Corresponding author: abeer_yussef@yahoo.com

Received: March 01, 2024	Accepted: May 05, 2024	Published: May 30, 2024

Abstract:
Geothermal energy is a source of renewable natural energy, meaning that no matter how much it is used, it will not disappear. This is because the Earth radiates heat from its interior. Geothermal energy is available over vast areas and everywhere, unlike other energy sources that are possessed only by one country or another. This makes it available to everyone and not limited to anyone. The world's current energy consumption is about 15 terawatts, and this does not equate to anything that geothermal energy can produce, as we mentioned previously, but nevertheless, plants using geothermal energy are few at the present time compared to what can be produced from them in huge quantities. Geothermal energy provides a constant source of energy extraction, unlike other renewable resources such as solar energy and wind energy, because it is a source that is always available for use.

Keywords: Geothermal energy, Its sources, Environmental Considerations, Economic cost, Egypt.

الملخص
كان لإستمرار أزمة الكهرباء واحدة من أخطر الآثار السلبية على الاقتصاد الوطني وأصبحت قضية سياسية رئيسية ، مما يقوض مصداقية الحكومة على الرغم من الميزانية الهائلة المخصصة لتمويل القطاع دون تحسن ملحوظ. واضطراب اقتصادي فضلاً عن نقص الإمدادات المادية، ناتجة عن الافتقار إلى السياسات التنظيمية التى شهدتها أسواق الكهرباء مما يتطلب إعادة بناء و هيكلة قطاع الكهرباء . ويعد الوصول الشامل إلى الكهرباء أمرًا هامًا لتحسين سبل المعيشة والأنشطة الاقتصادية، لذلك فإن تنويع مزيج الكهرباء أمر حتمي. حيث يمثل تطوير الطاقة المتجددة طريقة فعالة لتخفيف ضغوط البيئة وبناء نظام طاقة آمن ومستقل ومستدام.

الكلمات المفتاحية: طاقة الحرارة من المحيطات، الطاقة الهيدرولوجية أو طاقة الماء، طاقة الكتلة الحيوية، طاقة الرياح، الطاقة الشمسية، الطاقة النووية، مشروع محطات الطاقة الشمسية، مشروع محطات الطاقة النووية، مقارنة التكاليف، سعر الكهرباء.

مقدمة

تعد الطاقة المتجددة مصادر طبيعية دائمة وغير ناضبة ومتوفرة في الطبيعة ومتجددة باستمرار ما دامت الحياة قائمة. وباستغلال مصادر الطاقة المتجددة يمكننا الاستفادة من الطاقات غير المتجددة في الصناعات البتروكيماوية الهامة بدلا من حرقها كوقود وهدرها، إذ بات النفط ومشتقاته يدخل في تصنيع الادوية والملابس والأجهزة وغيرها ،لذلك يمكن اعتبار هذين النوعين من الطاقة مكملين لبعضهما البعض في خدمة البشرية ومكافحة الفقر والجوع والعطش .

ومن أهم مصادر الطاقة المتجددة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة المد والجزر والأمواج والطاقة الحرارية الجوفية وطاقة المساقط المائية وطاقة الكتلة الحيوية. وسنستعرض بعض هذه الأنواع بنوع من التلخيص وكالتالي: -

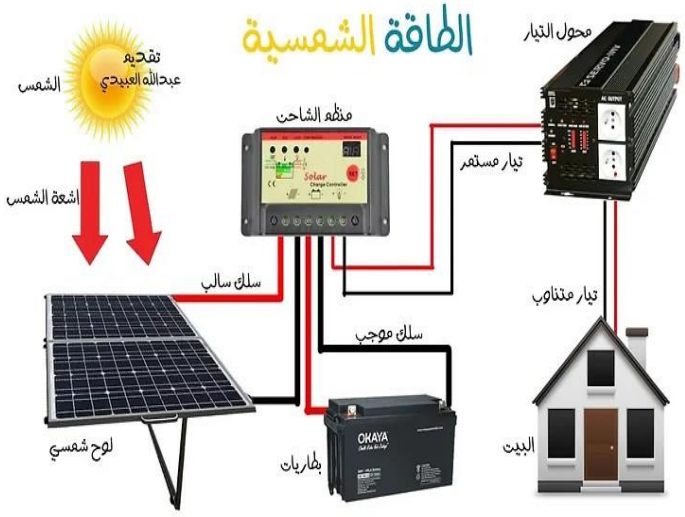
أولاً **الطاقة الشمسية**: تعتبر الشمس مصدر الطاقة اللازم للحياة على الأرض، وتعتبر المصدر الرئيسي للطاقة بمختلف أنواعها سواء كانت أحفورية أو جديدة ومتجددة. وهي أهم مصدر من مصادر الطاقة الجديدة حيث تبذل الدول جهوداً كثيرة عن طريق البحوث العلمية لتطوير الطرق الخاصة باستغلالها كطاقة بديلة للنفط والغاز.

ويمكن استغلال الإشعاع الشمسي في المجالات التالية: -

1. **التحويل الحراري**: ويعتمد على مبدأ امتصاص الأجسام الداكنة للإشعاع وتحويله إلى حرارة والتي بدورها تقوم برفع حرارة الجسم الداكن. وتستخدم هذه الحرارة الممتصة في العديد من الاستخدامات المنزلية والصناعية، وعلى سبيل المثال تسخين المياه والتدفئة. ويعتبر تسخين المياه لغرض الاستعمال المنزلي من أكثر تطبيقات التحويل الحراري انتشاراً.

شكل 1: تكنولوجيا الطاقة الشمسية للمنازل (بيانات مجمعة من قبل الباحث)

2. **التحويل الكهروضوئي**: ويعتمد على مبدأ تحويل الإشعاع الشمسي مباشرة إلى تيار كهربائي وذلك باستخدام ظاهرة التأثير الكهروضوئي، وتعتبر هذه الظاهرة الصورة الأساسية لما يسمى بالخلايا الشمسية والتي تستخدم في كثير من التطبيقات العملية مثل ساعات اليد والآلات الحاسبة وفي تشغيل أبراج الإرسال والاتصالات الهاتفية ومحطات الإذاعة والتلفزيون، كما أنها تستخدم حالياً في إنارة بعض القرى والطرق.



شكل 2: التحويل الكهروضوئي للطاقة الشمسية.

3. **طاقة الرياح**: حيث يتم تحويل الرياح إلى طاقة كهربائية بواسطة توربينات عملاقة. وتعتبر طاقة الرياح الطاقة الأكثر نمواً والأسرع على المستوى العالمي في الطاقات الجديدة، وتحتل ألمانيا مركز الصدارة عالمياً في مجال استغلال طاقة الرياح، ويبلغ الإنتاج العالمي من الكهرباء المولدة بطاقة الرياح حوالي (40) ألف ميغا واط، ويبلغ نصيب أوروبا منها حوالي 75%.

شكل (3): توليد الكهرباء باستخدام الرياح

وعلى الرغم من انتشار مزارع الرياح بشكل واسع إلا أنها تعاني من بعض المشاكل البيئية المتمثلة بالمساحات الكبيرة التي تحتاجها، وكذلك الضجيج الناشئ من دوران المراوح، وأخيراً التلوث البصري الذي يعاني منه الناس القاطنون بالقرب من هذه المزارع.

4. **طاقة الكتلة الحيوية** (biomas energy) وهي كل أنواع المواد المشتقة من النبات التي يمكن استخدامها لإنتاج الطاقة مثل الخشب والنباتات العشبية والمحاصيل الزراعية ومخلفات الغابات. ومصادر هذه الطاقة يتم إنتاجه خلال عملية التمثيل الضوئي (photo synthesis) وهي قيام خلايا النباتات بإنتاج كربوهيدرات باستخدام الماء وثاني أكسيد الكربون وضوء الشمس، وهذه الكربوهيدرات هي مصادر الطاقة.

شكل 4: طاقة الكتلة الحيوية.

وتقدر كمية الكهرباء المنتجة حاليا في العالم من الكتلة الحيوية بحوالي (10) ميجاوات ويعتبر سوق تقنيات الكتلة الحيوية حالياً صغير نسبياً نظراً لتوفر النفط والفحم بأسعار معقولة وهذا باستثناء المناطق التي تتوفر فيها مصادر الكتلة الحيوية بشكل كبير جدا.

5. **الطاقة الهيدرولوجية أو طاقة الماء**: وهي استخدام الماء الجاري ومساقط المياه لإنتاج الطاقة، وتعتبر من أنظف الطاقات المتجددة والأكثر كفاءة لإنتاج الكهرباء. وقد لعبت دوراً هاماً ورئيسياً في تنمية المجتمعات البشرية في

كافة أنحاء العالم، وحالياً فإن حوالي 19% من إنتاج الكهرباء في العالم يأتي من استغلال طاقة المياه. وعلى الرغم من أن التوسع في استخدامها قد يترك آثاراً بيئية سلبية مثل استغلال الأراضي الجيدة والتي تكون عادة قريبة من مساقط المياه وكذلك التبخير والتأثيرات المناخية والترسبات وغيرها، إلا أنها ستبقى كأحد مفاتيح الحل لإنتاج الطاقة الكهربائية في المستقبل، نظراً لتوفر مصادر هذه الطاقة الكهربائية في مناطق كثيرة من العالم وخصوصاً في المناطق ذات النموالسكاني العالي في آسيا وأمريكا اللاتينية حيث الطلب على الطاقة في ازدياد.

شكل 5: الطاقة الهيدرولوجية أو طاقة الماء.

6. **طاقة حرارة جوف الأرض** وهي الحرارة الهائلة الكامنة تحت قشرة الأرض والتي تقدر (200 –1000) درجة مئوية وتعتبر مصدراً هاماً من مصادر الطاقة الجد يده والمتجددة، وتبرز نفسها من خلال الانفجارات البركانية والينابيع الحارة وبعض الظواهر الجيولوجية. وتقوم على مبدأ حفر آبار عميقة لإطلاق الحرارة العالية التي يمكن استغلالها لتدوير توربينات تعمل على البخار، وحالياً فإن مساهمة هذا النوع من الطاقة في توليد الكهرباء لا يتعدى 0.3% وهذه الطاقة غير واعدة عالمياً.

ويوجد لها تأثيرات بيئية سلبية مشابهة لتلك الناتجة من الطاقة الأحفورية، والغازات الناتجة من هذه التقنية هي كبريتيك الهيدروجين (h2s) وكلوريد الهيدروجين وثاني أوكسيد الكربون.

1- **طاقة المحيطات**: وتظهر من خلال أربعة أنواع من الطاقات وهي: -

- **طاقة المد والجزر**: حيث أن ارتفاع منسوب مياه البحر وانخفاضه يمكن استغلاله كمصدر هام من مصادر الطاقة المتجددة وقد استخدم المد والجزر لتوليد الطاقة في التاريخ القديم في بريطانيا وفرنسا، حيث كانت تتوفر طواحين لطحن الحبوب تعمل بتدفق مياه البحر أثناء المد والجزر. أما الأن فإنها تستخدم لتوليد الكهرباء باستخدام توربينات تديرها مياه تصب من أعالي السدود.
- **طاقة الأمواج**: وهي عبارة عن نوعين:-

الأول : - وهي طاقة حركة الأمواج عند تحركها أماما .

الثاني : - هي طاقة الوضع لهذه الأمواج في إزاحتها رأسيا كلما مرت الموجة على نقطة معينة .ويكون أعلى تركيز لطاقة الأمواج بين خط عرض 40 إلى 60 درجة في كل من نصفي الكرة الأرضية (الشمالي والجنوبي) وكذلك الساحل الغربي من أوروبا وأمريكا .

- **طاقة الحرارة من المحيطات**: وتكمن الفكرة في استغلال الفارق في الحرارة بين سطح المحيط في المناطق الاستوائية والتي تقدر ب 25 درجة مئوية وتلك التي على عمق واحد كم وتكون درجة الحرارة فيها حوالي 5 درجات مئوية. وتقدر مساحة المحيطات التي يمكن استغلال طاقة الفارق بين حرارة سطحها وعمقها 60 مليون كيلومتر مربع. أي أن الجهد المتوفر من هذه الطاقة يساوي ضعفي المتوفر من طاقة المد والجزر وطاقة الأمواج أو طاقة الرياح.

- طاقة الاختلاف في الملوحة، لم يتم الاهتمام بها نظراً للكلفة العالية للتقنية المستخدمة فيها.

الطاقة النووية: بعد الهجوم بالمتفجرات النووية على مدينتي هيروشيما ونغازاكي وانتهاء الحرب العالمية الثانية بات واضحاً على المستوى الدولي القدرة الهائلة للطاقة النووية. واتجه التفكير بعد ذلك سواء في المعسكر الغربي أو الشرقي بإنشاء المفاعلات العملاقة وتطويرها لتطويع هذه الطاقة بما يسمح باستخدامها في المجالات الصناعية المدنية لتحسين نمط حياة الإنسان وتدعيم السلام الدولي . إلا أن ما حدث هو أنه بالإضافة إلى العمل على التطبيقات السلمية للطاقة النووية استمر السعي لاستخدامها مرة أخرى في الأغراض العسكرية من خلال استنباط مفاعلات خاصة بد فع السفن والغواصات الحربية، وقد أعلن عن تشغيل أول غواصة نووية أمريكية عام 1954 .

واستمرت الدراسات في الخمسينات والستينات على نماذج من المفاعلات في الولايات المتحدة الأمريكية مثل المفاعلات التي تختلط فيها المبرد والمهدئ والوقود معا، وكذلك المفاعلات المبردة بالسوائل العضوية وغيرها من النماذج حتى توصلت إلى مفاعلات الماء الخفيف: وهي مفاعلات عملية في التشغيل وممكنة اقتصادياً. وبذلك انطلقت صناعة جديدة تماما على المستوى العالمي وهي صناعة المفاعلات العملاقة لإنتاج الطاقة الكهربائية.

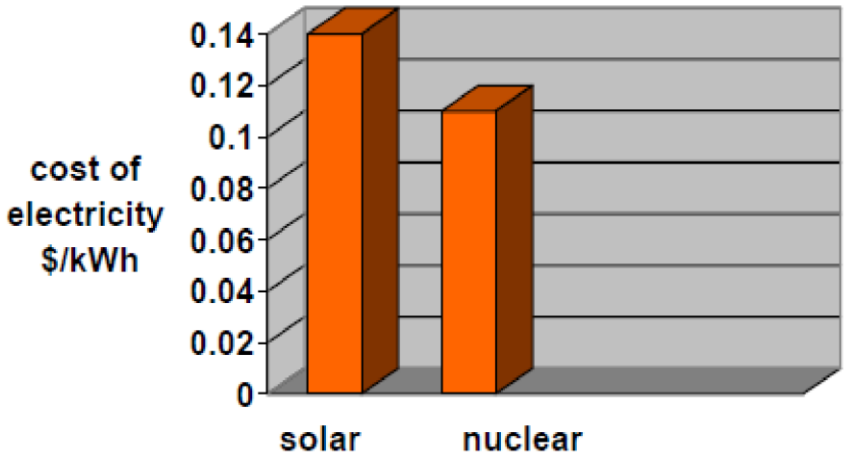
ويعتبر مفاعل اوبنسك في روسيا والذي تم بنا ؤه بين عام 1951 وعام 1954 أ ول مفاعل في العالم يعمل على المستوى الصناعي، وتعتبر محطة اوبنسك الكهربائية هي أول محطة كهرباء نووية تنشأ على المستوى العالمي. وقد استمرت الجهود في مجال تصميم المفاعلات وتطويرها واستخدامها في توليد الطاقة الكهربائية طوال العقود الماضية، وقد قارب عد دها 450 مفاعل قوى نووية يعمل على مستوى العالم. وتعتبر فرنسا أكثر الد ول اعتمادا على الطاقة النووية في توليد الكهرباء إذ زادت النسبة عن 75% من إنتاجها للطاقة ا لكهربائية.

ويعتبر اليورانيوم الوقود الأساسي في الطاقة النووية ومن المتوقع أن يكون هناك زيادة في الطلب على اليورانيوم في المستقبل نظراً لزيادة الطلب على الطاقة وخصوصاً الكهربائية منها.

مقارنة خيار الطاقة الشمسية بخيار الطاقة النووية

يبين الشكل أدناه سِعر الكيلو وات ساعة من الكهرباء المنتجة من محطة نووية كبيرة قدرتها1000 MW مع محطة شمسية متوسطة القدرة 100 MW.

ويبدو من الشكل أن سعر كهرباء المحطة الشمسية (KWh/0.14$) في الوقت الحاضر (علما انه لم يدخلوا في الحساب مجموع التكلفة الحقيقية لإغلاق وازالة وتنظيف الموقع من الاشـــعاعات الذرية والمخاطر الاخرى التي لا يمكن التنبؤ بها أعلى من ســـعر كهرباء المحطة النووية. (kWh /0.11$) تجدر الإشـــارة إلى أن هذا الوضـــع من المتوقع أن يتغير في المستقبل القريب نظرا للزيادة في الطاقة الإنتاجية للمحطات الشمسية واكتساب المزيد من الخبرة في التصميم، والتشغيل، والأبحاث، والتطوير.



شكل 6: مقارنة سعر الكهرباء بين محطة نووية ومحطة شمسية أسعار 2008 (درويش محمد خميس و آخرون, 2010).

والى جانب القدرات الانتاجية الهائلة فان التقنية الجديدة التي تقدمها الطاقة الشمسية المركزة فى مقابل الالواح الضوئية او طاقة الرياح تتمتع بميزة أخرى هامة، ألا وهي تحويل الطاقة الاشـــعاعية الى حرارة لاســـتدامة دورة البخار بالتوربينات والمولدات. ومن الممكن أيضـــا تخزين الحرارة بحيث تنتج التيار ليلا من الحرارة المخزنـة على النقيض من الألواح الضوئية. وهكذا تصبح هذه المحطات قادرة على الحمل الأساسي، ومن ثم قادرة على تلبية الاحتياجات من الكهرباء بشكل غير خاضع لأوقات اليوم او فصول السنة. ومن الممكن ان تعمل محطات توليد الطاقة الشمسية بنظام مزدوج أي مع الغاز أو الكتلة الحيوية ويعد هذا الامر بمثابة ميزة هامة عن كل مصـادر الطاقة المتجددة الاخرى المتأرجحة التي تخضـع للرياح أو الطقس أو أوقات اليوم وبالتالي تخضـــع لتذبذب كبير وعدم ثبات. ومن الممكن تنظيم محطات توليد الطاقة الشـــمســـية المركزة والتحكم بها كما أنها تتيح امكانية زيادة حصة مصادر الطاقة المتجددة الاخرى.

ولهذا الســـبب تعد هذه المحطات بمثابة "تكنولوجيا التمكين"، علاوة على ذلك فإنها تقدم توازنا مناخيا جيدا لان انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي تحدث أثناء الانتاج والتركيب والتجهيز وفى مرحلة العمل أثناء فترة زمنية تصل الى 20 عاما في المتوسط سوف يتم اعادة توفيرها بعد مرور الثلاثة الى الستة أشهر الاولى من زمن عمل محطة شمسية نظيفة.

ولكن تقنية الطاقة الشمسية المركزة تحتاج الى شعاع أعلى وبالتالي يمكن وضعها وبناءها على الحزام الشمسي بين درجة عرض 35 شـمالا ودرجة عرض 35 جنوبا والتي تقع فيها الصـحراء على وجه الخصـوص. كما أن المرايا الضـرورية لتجميع الطاقة الشمسية سوف تحتاج الى مساحات شاسعة، الامر الذي سيؤثر أيضا على اختيار المكان، لذا تعد المناطق الصحراوية الكبيرة للحزام الشمسي هي المناسبة لهذه المهمة.

تكاليف تنفيذ مشروع محطات الطاقة الشمسية

يتم تنفيذ المشـروع تدريجيا من خلال تنفيذ محطات الطاقة الشـمسـية التي تولد الطاقة، حيث يحتاج الفرد الواحد من الطاقة الكهربـائيـة نحو KW1، ولـذلك يلزم توفير 1 مليون كيلو وات لعدد مليون فرد، أي MW1000 وهو مـا يعني عشـــرة محطات تعمل بالطاقة الشمسية قدرة كل منها (MW100).

ولتوطين مليون مصـري سـنويا بالصـحراء يمكن إنشـاء عشـرة محطات سـنوياً قدرة كل منها (Mw100)، حتى خمسـين مليوناً خلال الخمسين سنة القادمة، حيث يتوقع أن يصل عددهم إلى مائة مليون .

أي تستوعب نحو 50 % من المصـريين. وحيث أن محطة الطاقة الشمسية قدرة Mw100 تشـغل مسـاحة 2 إلى 10 كيلو متر مربع وعلى فرض استغلال 10% فقط من مساحة صـحراء مصر في صناعة الكهرباء، فتكون عدد المحطات الممكن إنشائها قدرة10000 = (1010 / 10 x ^{6})= MW100 عشرة آلاف محطة قدرة كل منها Mw100.

وإذا عرفنا أن القدرة الكهربائية الحالية بمصر Gw23≈، والطاقة المولدة من خلال المشروع تشكل = Mw1,000,000 Gw1000 على مسـاحة% 10 فقط من صـحراء مصـر. (مليون ميجاوات = ألف جيجاوات (فتكون القدرة الممكن إنشـائها على 10% من صـحراء مصـر فقط تقدر بأكثر من أربعين مرة من القدرة الحالية. وبناءً عليه يمكن فتح باب الاسـتثمار في هذه الصناعة و تصديرها للاتحاد الأوروبي من خلال تخطيط قومي كما تفعل الجزائر حالياً.

تمويل المشروع

تقدر تكاليف إنشـاء محطة توليد الكهرباء بالطاقة الشـمسـية قدرة Mw100 بنحو 400 millions$ أي أن تكاليف إنشـاء عشـر محطات سـنوياً بنحو) أربعة مليار دولار (وهذا المبلغ يمكن تغطيته بنصـف دخل قناة السـويس السـنوي!!! هذا إلى جانب إمكانيات الحصـول على تسـهيلات كثيرة من البنوك والهيئات الدولية والشـركات المصـنعة لأن هذا المشـروع يوفر الطاقة النظيفة والبديلة لتلوث البيئة ... إلخ. مع إمكانية تصـنيع الكثير من مكونات هذه المحطات الشمسية محلياً مما يخفض من تكاليفها كما تفعل المكسيك.

مراحل التمويل

يمكن التخطيط لتنفيذ المشروع خلال الخمسين سنة القادمة على ثلاثة مراحل:

المرحلة الأولى: خلال العشر سنوات الأولى 10 - 0 سنة

يحتاج للتمويل بنسبة 100%

المرحلة الثانية: خلال العشرين سنة التالية 30 - 10 سنة

يحتاج للتمويل بنسبة 50 % والباقي يسدد من عائد تصدير الكهرباء

المرحلة الثالثة: خلال العشرين سنة الأخيرة 50 - 30 سنة

نسبة التمويل 0%

حيث سيعتمد المشروع على نفسه لتمويل هذه المرحلة من خلال عائد تصدير الكهرباء في المرحلة السابقة.

الجدوى الاقتصادية للمشروع

في حالة استغلال 10 % فقط من مساحة الصحاري في مصر لإنشاء محطات كهرباء تعمل بالطاقة الشمسية عليها بغرض التصـــدير، بعد الاســتهلاك المحلى خلال خمســين ســنة، نجد أن الطاقة الكهربائية المزمع إنتاجها تقدر قيمتها بنحو GW x 5000 hr/year1000 فيكون الحد الأدنى من متوسط الإنتاج السنوي خلال خمسين سنة 10^{6} 5 x ≈ جيجاوات ساعة.

ومع افتراض أن سـعر بيع الكيلو وات سـاعة بين (0.2- 0.1$) حسـب الظروف، ومع الأخذ في الاعتبار احتمالات تقلبات الظروف الاقتصـــادية وأســعار العملات و تناقص القيمة الشـــرائية لها ... إلخ نجد أن قيمة الحد الأدنى للطاقة الكهربائية المباعة سنوياً في أسوأ الظروف نحو 100 بليون دولار (billion 100) $ هذا يقترب من قيمة الإنتاج السنوي الحالي من بترول السعودية.

الجدوى الاقتصادية لمحطات الطاقة الشمسية

كما أشرنا من قبل، يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية باستخدام اللاقطات الشمسية وهذه الطاقة الحرارية يمكن اسـتخدامهما كمصـــدر حرارى ذات درجة حرارة مرتفعة لتشـــغيل توربينات بخارية أو غازية كما هو الحال في محطات الطاقة التقليدية التي تستخدم الوقود الأحفوري. كما يمكننا أيضا تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية مباشرة باستخدام

الخلايا الشمسية. ولما كان العالم العربي يحتاج إلى كل من الماء والكهرباء، وليس الكهرباء فقط، فإن المحطات الشمسية المتوقع إنشاؤها في المستقبل من المرجح أن تكون محطات مزدوجة لتوليد الكهرباء وتحلية المياه كما هو الحال في المحطات التقليدية العاملة في الوقت الحاضر. وعمليات تحلية المياه تنقسم إلى عمليات تحتاج في عملها إلى طاقة كهربائية فقط (تحلية المياه بواسطة أغشية التناضح العكسي) وعمليات تعتمد على الطاقة الكهربائية والطاقة الحرارية معا (تحلية المياه باستخدام طرق التقطير) .وعلى ذلك يمكن للمحطات المزدوجة أن تُصمم بإحدى الطرق الثلاثة التالية:

1. حقل من اللاقطات الحرارية المركزة مع خزانات للحرارة (CPS) تمد الطاقة الحرارية لتشغيل تربينات بخارية أو غازية لتوليد الكهرباء ووحدات تناضح عكسي تستعمل جزء من كهرباء المحطة الرئيسية.
2. حقل من اللاقطات الحرارية المركزة (CPS) مع خزانات للحرارة تمد الطاقة الحرارية لتربينات بخارية أو غازية لتوليد الكهرباء وعدد من وحدات التقطير البخارية.
3. حقل من الخلايا الشمسية (PV) مع خزانات للكهرباء وعدد من وحدات التناضح العكسي تستخدم جزءا من الطاقة الكهربائية المنتجة.

وقد قام العديد من الباحثين بمقارنة اقتصاديات المحطات الثلاثة المذكورة أعلاه وتوصلوا إلى أن الطريقة الثالثة والتي تستخدم الخلايا الشمسية) PVغير اقتصادية في الوقت الحاضر نظرا لارتفاع سعر الخلايا الشمسية ولا سيما بالنسبة للطاقات الانتاجية الصغيرة. لذا فإننا سوف نُركّز في اعتباراتنا على الطريقتين الأولى والثانية والتي تستخدمان اللاقطات الحرارية (CPS).

وتعتمد اقتصاديات المحطات الشمسية المزدوجة على تكلفة إنتاج البخار من حقل اللاقطات الشمسية. وتعتمد هذه التكلفة بدورها على عدد من العوامل منها:

1-التكلفة الرأسمالية (capital cost) للاقطات الشمسية.

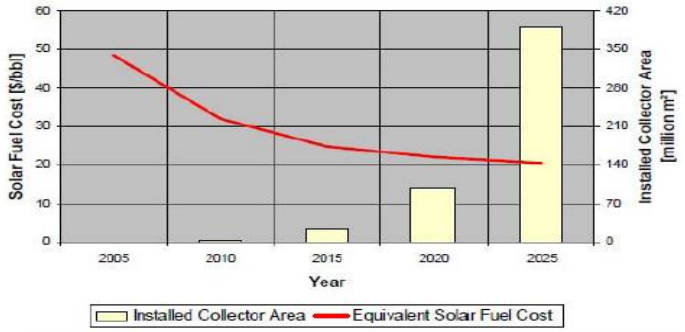
2-قوة الاشعاع الشمسي في الموقع المزمع إنشاء المحطة فيه.[1]

3-العمر الافتراضي للمحطة (lifetime)

4-سعر الفائدة على القروض (interest rate)

ومن المتوقع أن تكلفة إنتاج البخار من اللاقطات الشمسية سوف تنخفض في المستقبل مع الارتفاع في الطاقة الإنتاجية للاقطات الشمسية نتيجة للانتشار المتزايد للمحطات الشمسية. ومن أجل مقارنة هذه التكلفة مع تكلفة الطاقة الحرارية الناتجة من الوقود الأحفوري) النفط الخام (نقوم باحتساب تكلفة إنتاج ما يكافئ الطاقة الكامنة في برميل من النفط باستخدام الطاقة الشمسية. نلاحظ هنا أن برميل النفط الخام يحتوي على 1600كيلوات ساعة من الطاقة الحرارية kWh ويبين الشكل الاتي تكلفة إنتاج ما يكافئ برميل من النفط بالطاقة الشمسية (برميل شمسي ومدى تغير هذه التكلفة في المستقبل مع زيادة مساحات اللاقطات التي تنشأ. (ويبين الإحداثي الرأسي الأيسر في هذا الشكل سعر الطاقة الشمسية لكل برميل مكافئ solar fuel cost, $ per barrel) ويبين الإحداثي الرأسي الأيمن مساحة اللاقطات المنشأة. أما الإحداثي الأفقي فيبين السنوات. ولاحتساب سعر الطاقة الشمسية تم استخدام الفروض التالية:

1. التكلفة الرأسمالية capital cost)) للاقطات (القطع المكافئ (الشمسية = 250 دولار للمتر المربع $/m^2)).
2. قوة الاشعاع الشمسي في الموقع المزمع إنشاء المحطة فيه = 2400 كيلووات ساعة على المتر المربع سنويا (kWh/myear)).
3. العمر الافتراضي للمحطة (lifetime) 25 = سنة.
4. سعر الفائدة على القروض interest rate)) = 5% فى السنة.



شكل 7: سعر الوقود الشمسي بالدولار للبرميل المكافئ.

[1] ملحوظة: في جمهورية مصر العربية وتواجه هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة صعوبات تتعلق بالقروض الميسرة للتمويل من البنوك العالمية والتي ستختفي بعد عام ٢٠١٠ حيث أن التكلفة الاقتصادية ستصبح أقل من القيمة الاقتصادية لاستبدال المحطات الحرارية لإنتاج الطاقة في حالة أن سعر البترول الخام يصل إلى ٥٠ دولار للبرميل.

ويتضح من الشكل أعلاه أن سعر الطاقة الحرارية الشمسية هو أقل (في الوقت الحاضر) من 40 دولار للبرميل المكافئ وهذا السعر يقترب من نصف سعر برميل النفط الخام في الوقت الحاضر (حوالى 80 دولار للبرميل). ومن المتوقع أن يستمر هذا السعر في الهبوط مع انتشار بناء المحطات الشمسية ومع زيادة الطاقة المركبة.

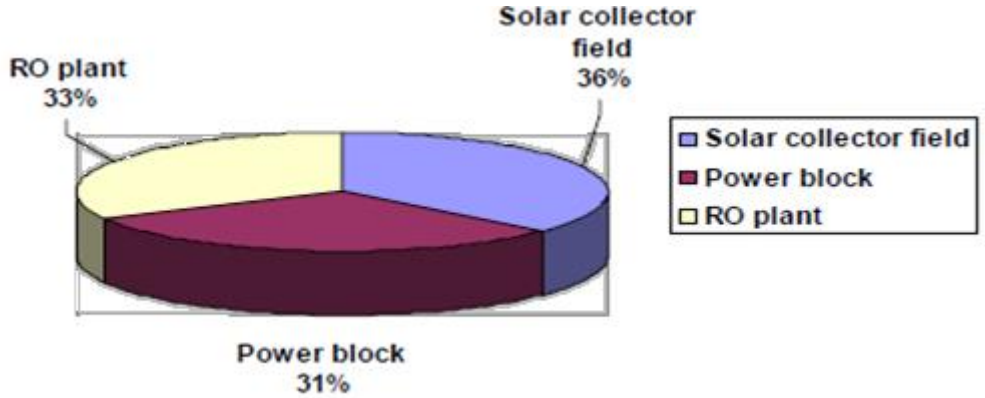
المحطات الشمسية المزدوجة:

قام مركز الفضاء الألماني German Aerospace Center - (DLR) في عام 2007 بعمل دراسة اقتصادية تحت اسم (AQUA)– CSP)عن استخدام محطات الطاقة الشمسية المزدوجة والتي تستخدم اللاقطات ذات التركيز المرتفع (CSP) في إنتاج الطاقة وتحلية مياه البحر باستخدام وحدات تحلية من نوع التقطير متعدد المراحل (MED) والتناضح العكسي(RO). وقد تم عمل نموذج تحليلي لتقييم الأداء الاقتصادي لمحطتين نمطيتين reference plants)) تبلغ الطاقة الكهربائية الكلية لكل منهما 25 ميجاوات والطاقة الإنتاجية للمياه المحلاة 24,000 متر مكعب في اليوم. وكلا المحطتين تعملان في موقع يبلغ فيه قوة الإشعاع الشمسي 2400 كيلووات ساعة في السنة (kWh/year).
وتبلغ ملوحة مياه البحر 40,000جزء في المليون (ppm). وقد تم تصميم المحطتان بحيث يكون إنتاجهما بكامل طاقتها مستمر على مدار العام فيما عدا فترات الصيانة التي يتم فيها توقيفهما. ولذلك فالمحطتين تعملان بأسلوب مزدوج بحيث تستخدم كلا من الطاقة الشمسية عندما تكون متاحة وتستخدم أيضا الغاز الطبيعي عند عدم توفر الطاقة الشمسية. وقد تم تقدير تكلفة رأس المال للمحطتين كما هو مبين في الجدول أدناه. وتنقسم كل محطة إلى ثلاثة مكونات رئيسية وهي: تكلفة حقل اللاقطات الشمسية وتكلفة محطة الكهرباء وتكلفة محطة التحلية بالمليون دولار. (2007) وتجدر الإشارة هنا إلى أن إجمالي رأس المال المحطة الشمسية التي تستخدم تقنية التناضح العكسي (RO) في تحلية مياه البحر أقل من مثيلتها التي تستخدم تقنية التقطير (MED). أنظر شكل 8 و9.

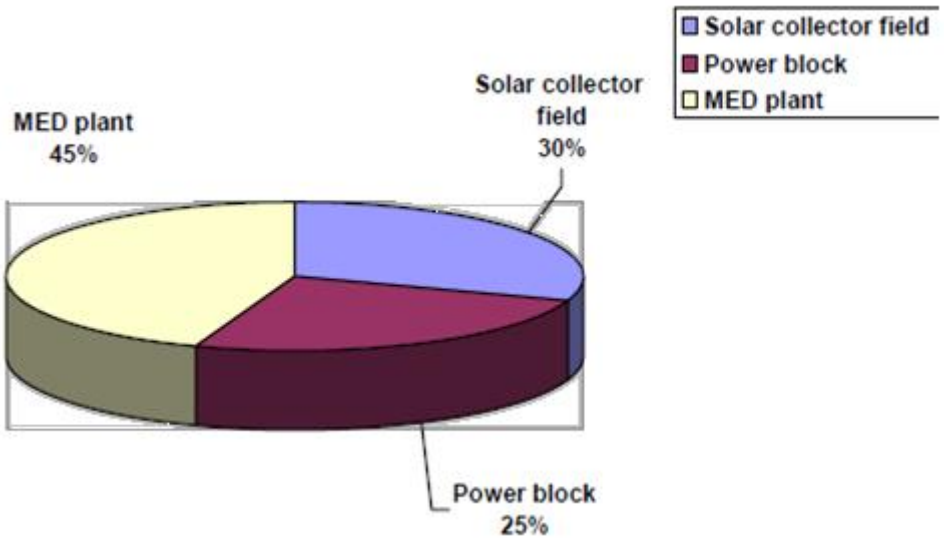
جدول 8: تكلفة رأس المال للمحطتين الشمسيتين النمطيتين

نوع المحطة الشمسية	حقل اللاقطات الشمسية (مليون دولار)	محطة الكهرباء (مليون دولار)	محطة التحلية (مليون دولار)	إجمالي رأس المال (مليون دولار)
CSP/RO	39.06	33.04	34.86	106.96
CSP/MED	35.98	30.1	52.78	118.86

ويبين الشكلين أدناه النسبة المئوية للمكونات الرئيسية لتكلفة رأس المال.



شكل 8: النسبة المئوية لتوزيع تكلفة رأس المال للمحطة المزدوجة الشمسية ومحطة التناضح العكسى (CSP/RO) التى تستخدم اللاقطات المركزة (CSP) ومحطة التناضح العكسى (RO) .

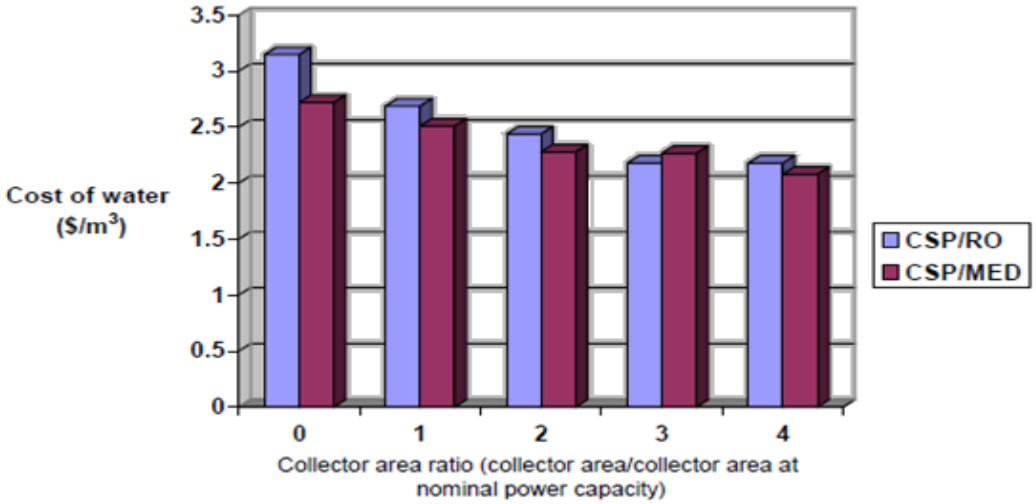


شكل 9: النسبة المئوية لتوزيع تكلفة رأس المال للمحطة الشمسية المزدوجة ومحطة التقطير متعدد (MED /CSP) التى تستخدم اللاقطات المركزة(CSP) ومحطة التقطير متعدد المراحل (MED).

لحساب **تكلفة الطاقة الكهربائية** بالدولار للكيلووات ساعة وتكلفة الماء المحلى بالدولار للمتر المكعب يلزمنا حساب التكلفة السنوية لكل محطة والإنتاج السنوي لكل محطة . ويمكننا استخدام بعض الفرضيات العملية ومنها:

1. سعر الفائدة على قرض البنك (5**%).**
2. العمر الاقتصادي للمحطة 25 سنة**.**
3. التكلفة السنوية للتشغيل والصيانة (% 2) من رأس المال**.**
4. التكلفة السنوية للتأمين % 1) من رأس المال**).**
5. سعر الغاز الطبيعي بالدولار للميجاوات ساعة حرارة **(**MWh/$**)** سعر اللاقطات الشمسية ذات التركيز المرتفع للمتر المربع CSP. ($/300m)
1. يتم تبديل% 20 من أغشية التناضح العكسي المستعملة بأخرى جديدة كل عام ولذلك يضاف20% من التكلفة الكلية للأغشية كل عام لمصاريف التشغيل**.**
2. تكلفة خزانات الحرارة بالدولار لكل كيلووات ساعة من الطاقة الحرارية ($/kWh 70)**.**

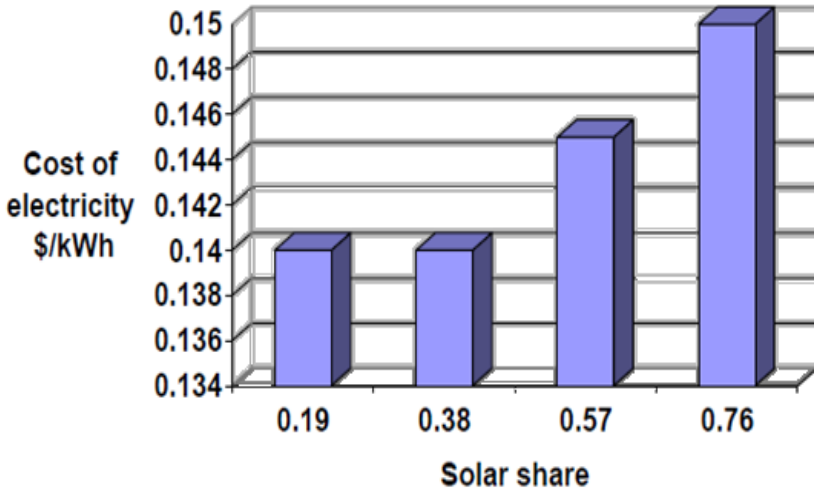
ويبين الشكل التالي إحدى نتائج هذه الدراسة وهي تكلفة إنتاج الماء المحلى من كلا المحطتين عند زيادة مساحة اللاقطات الشمسية. ويبين الإحداثي الرأسي تكلفة المتر المكعب من المياه عند تثبيت سعر بيع الكهرباء عند 0.07 دولار للكيلووات ساعة. أما الإحداثي الأفقي فيمثل النسبة بين المساحة الفعلية لحقل اللاقطات وبين مساحة الحقل الذي يمكنه إنتاج الطاقة الإنتاجية للمحطة (كهرباء وماء) بدون الحاجة إلى خزانات حرار ة. يبدأ الإحداثي الأفقي من 0 وينتهى عند 4 وتمثل القيمة 0 محطة مزدوجة تقليدية تعمل بالغاز الطبيعي ويتضح أن تكلفة الماء من مثل هذه المحطة هي أعلى ما يمكن . وتنخفض تكلفة المتر المكعب عندما تزداد مساحة حقل اللاقطات.



شكل 10: تكلفة إنتاج الماء من محطة شمسية مزدوجة لإنتاج الطاقة الكهربائية وتحلية المياه باستخدام تقنية التناضح العكسي أو التقطير متعدد المراحل. سعر الطاقة الكهربائية للمستهلك ثابت عند 0.07 دولار للكيلووات ساعة ($/kWh).

المحطات الشمسية لإنتاج الكهرباء:

يمكن حساب تكلفة الكيلووات ساعة المنتجة من المحطات الشمسية ذات الإنتاج المفرد بنفس الطريقة التي استخدمت في المحطات ذات الإنتاج المزدوج باستخدام نفس الفروض الاقتصادية وأسعار المواد (مثل سعر الفائدة على القروض وعمر المحطة وتكلفة رأس مال اللاقطات الشمسية...الخ) التي استخدمت من قبل. والمحطات الشمسية تعمل بالطاقة الشمسية خلال أوقات سطوع الشمس وتعمل بالوقود الأحفوري) **غاز** طبيعي (بعد غروب الشمس. وتعتمد اقتصاديات هذه المحطات على مساحة حقل اللاقطات وعلى حجم خزانات الحرارة وكلاهما يؤثر في نسبة الوقت الذي تعمل فيه المحطة على الطاقة الشمسية في اليوم وهذه تسمى بالنصيب الشمسي solar share) ويبين الشكل تأثير "النصيب الشمسي " على تكلفة الكيلووات ساعة من الكهرباء المنتجة من محطة شمسية ذات طاقة إنتاجية مقدارها 26 MW.



شكل 11: تأثير "النصيب الشمسي " على تكلفة الكيلووات ساعة من محطة شمسية قدرتها 100 MW

ثانيا فوائد المشروع

1- تعمير وتنمية الصحراء، وتوطين ملايين المصريين بها بعد توفير أسس الأمن والحياة بها، وتخفيض التكدس السكاني حول حوض النيل.

2 -فتح أسواق جديدة للعمالة المصرية في تصنيع بعض مكونات هذه المحطات، وأعمال التركيبات والتشغيل ... إلخ، إلى جانب المشروعات الصناعية والزراعية والتعمير الأخرى. وفتح مجالات جديدة للاستثمار في مشروعات التعدين والسياحة ... إلخ

3- على الرغم من أن تكاليف إنشاء هذه المحطات الشمسية أعلى من المحطات الحرارية الحالية التي تستخدم الوقود.

إلا أنه إذا ما أضيفت تكاليف التشغيل والصيانة على مدار عشرة سنوات مثلا، نجد أن المحطات الشمسية أرخص حيث أن تكاليف تشغيل وصيانة المحطات الحالية التي تستخدم البترول باهظة، لأن تكاليف الوقود يمثل ثلاثة أرباع تكاليف الكهرباء المنتجة، وأسعاره في ازدياد مستمر، ومخزونه مستهلك باستمرار، هذا إلى جانب أن استخدامه له مخاطر كثيرة ضد البيئة والإنسانية، أما المحطات الشمسية فهي طاقة مجانية ونظيفة ودائمة وبلا مخاطر.

4-توفير البترول المستخدم حالياً في تشغيل المحطات الحرارية للتصدير أو استخدامه في صناعات البتروكيماويات حيث يصل سعره بمنتجات البتروكيماويات إلى عشرة أضعاف سعر حرقه بالمحطات الحالية، ومن الممكن تخصيص% 5 من قيمة هذا البترول للمساهمة في إنشاء محطات كهرباء تعمل بالطاقة الشمسية.

5-تواجد التجمعات السكانية في سيناء والصحراء الغربية لها أثر كبير في الاعتبارات الأمنية وحماية حدود مصر.

ثانيا: العائد الاقتصادي من الاستثمار في توليد الكهرباء باستخدام الطاقة الشمسية

رأس المال الأولي:

يعتمد حجم الاستثمار الأولي على حجم وحدة الانتاج المستثمر فيها وقدراتها ويمكن أن يعبر عن ذلك السعر المعتمد على حجم الطاقة المتولدة فمثلاً وحدة الانتاج سعة 2000 وات تتكلف 16000 دولار بما يتضمن التركيب وبما يعني أن تكلفة الوات 8 دولار.

العائد الاقتصادي وفترة الاسترداد:

يتمثل العائد الاقتصادي في الطاقة الكهربائية المتولدة وتقديرياً إذا ما تم افتراض أن سعر الكيلووات/ساعة 20 سنت أمريكي وتكلفة تركيب وشراء الجهاز 4دولار/الوات فان مدة استرداد رأس المال هي **15** عام وذلك بفرض قيام الحكومة بدعم تكلفة التركيب والشراء .

التطلعات المستقبلية:

حسب الدراسات الحديثة فإنه من المتوقع أن ينتشر سوق الخلايا الكهروضوئية في أوائل القرن الواحد والعشرين ليصل من 165 MW الى250 MW ، علماً بأن الدراسة كانت تشير أنه عام 1995 م كان من المتوقع أن يصل الإنتاج إلى 73 MW ، ولكنه وصل حقيقة إلى 81 MW وعلى الرغم من ذلك، فإنه سوف لن يكون هناك نمو طويل الأمد ما لم تنخفض أسعار هذه التقنية 3 إلى 5 مرات فالسعر المطلوب والمغري لتشجيع انتشار هذه التقنية هو (USD 3000/kW) لتصل إلى المدى من USD 1000/kW إلىUSD 2000/kW تشير التقارير الصادرة من شركة Pilkington إن تقنية ماكينة الحرارة الشمسية لها مستقبل جيد ويبعث على التفاؤل، وأحد الأهداف هو استخدام القدرة الكهربائية الناتجة من الحرارة الشمسية لخفض انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون في مناطق الحوض البحر الأبيض المتوسط، حيث يمكن، ضمن خطة طموحة وفي مجال التعاون الدولي، تركيب منظومة للطاقة الشمسية في أراضي عربية لوفرة الإشعاع الشمسي فيها إنتاج الماء من حرارة الشمس للدول العربية الفقيرة بالماء و إنتاج الكهرباء وتصدر إلى أوروبا.

وبأسعار التكلفة التاريخية لإنشاء محطات تركيز الطاقة الشمسية CPS من المعلومات المعتمدة كما تشير Sun Borne Energy

1. محطة Nevada Solar One)) نيفادا الشمسية بالولايات المتحدة $266 مليون دولار لطاقة 64 ميغاوات أي بواقع تكلفة إنشاء 4150 $دولارا للكيلووات.
2. محطات Acciona Plants In Spain) أكسيونا بإسبانيا تكلفة إنشاء$ 4000 دولارا للكيلووات.
3. محطات1,2) Andasol) انداسول 1 و2 شاملة تخزين حراري ومنشاءآت ومعدات إجراء البحوث والتجارب$ 8400 دولارا للكيلووات.
4. محطة (1 Masdar – Shams)مصدر شمس 1 بدولة الإمارات المتحدة تكلفة إنشاء 4000 $دولارا للكيلووات.
5. محطة (Sun borne target) سن بورن في الهند تكلفة إنشاء **$**3500-3300 دولارا للكيلووات.

إضافة إلى حقيقة أن المحطات النووية تعتبر خارج نطاق منهجية التنمية **المستدامة** ولا يوجد هناك أيضا خبرات بشرية مدربه على تشغيل هذه المحطات مما يعني **الاعتماد** على خبرات تجلب من الخارج وبتكلفة باهظة، كما أن الاعتماد على إمدادات الوقود النووي من الخارج يهدد أمن الإنتاج المستمر للطاقة الكهربائية إضافة إلى الأخطار الأخرى الكامنة فيها ولا يمكن التنبؤ بمقدار أضرارها حين تحدث.

مراجع:

[1] Issues in nuclear energy, nuclear power and the environment international nuclear, Published by the American Nuclear Society, page 22.

[2] Marchenko, O. V., & Solomin, S. V. (2015). Investigation of ecological constraints influence on competitiveness of nuclear power plants. Nuclear Energy and Technology, 1(4), 277-282.

[3] Hultman, N. E. (2011). The political economy of nuclear energy. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 2(3), 397-411.

[4] Nestor Luna and Roberto Gomelsky , Development, Infrastructure and Energy: Exploring the Linkages in Latin America, book : Toth, F. L. (Ed.). (2012). Energy for development: resources, technologies, environment (Vol. 54). Springer Science & Business Media. Pp 102 .

[5] Chaturvedi, V., Shukla, P. R., & Ganesan, K. (2017). A Perspective on the Cost of Nuclear Energy. In Resurgence of Nuclear Power (pp. 187-209). Springer, Singapore.pp201.

[6] Losekann, L., & de Oliveira, A. (2008). Supply Security in the Brazilian Electricity Sector. In IAEE Energy Forum (pp. 21-24).

[7] Jewell, J., & Ates, S. A. (2015). Introducing nuclear power in Turkey: A historic state strategy and future prospects. Energy Research & Social Science, 10, 273-282.

[8] The Economics of Nuclear power, World Nuclear Association ,2008 ,pag 13 http://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx

[9] World Nuclear Association. (2017). Nuclear Power Economics and Project Structuring: Edition. World Nuclear Association, London, Tech. Rep.

[10] McCombie, C., & Jefferson, M. (2016). Renewable and nuclear electricity: Comparison of environmental impacts. Energy Policy, 96, 758-769.

[11] Environmental Impact Assessment Report for a Nuclear Power Plant (September 2008) Published by: Fennovoima Oy: Fennovoima's EIA report is available electronically at fennovoima.page 9.