

إمكانية تسخين المياه المنزلية بالطاقة الشمسية في تحسين إدارة

الطلب على الطاقة في ليبيا

إبراهيم الهادي الطويل¹ خيري قاسم أغا²

¹مركز بحوث ودراسات الطاقة الشمسية، طرابلس - ليبيا، ²كلية الهندسة - جامعة طرابلس، طرابلس - ليبيا.

بريد إلكتروني: Ibrahim_etawel@yahoo.com¹; k_r_gha@yahoo.com²

المخلص: شهد الطلب على الطاقة الكهربائية في ليبيا نمواً مستمراً في مختلف القطاعات، وذلك بسبب النمو السكاني خلال العقود القريبية الماضية وبسبب التوسع في المشاريع الاقتصادية للدولة الذي أدى إلى ارتفاع المستوى المعيشي وزيادة مستوى طلب الفرد على الطاقة الكهربائية، ولجابهة هذا النمو المتزايد في استهلاك الطاقة الكهربائية فقد أُجري العديد من الدراسات والأبحاث لوضع استراتيجية وخطّة زمنية واضحة على المدى المتوسط والبعيد لتغطية بعض من هذا الطلب بتطبيق مشروعات الطاقة المتجددة في القطاع المنزلي وزيادة مساهمتها في أنظمة التوليد المستقبلية مما يؤثر إيجاباً في الحد من الأحمال الكهربائية المستهلكة ويخفض انبعاث الغازات الضارة بالبيئة. ومن أهم تطبيقات الطاقة المتجددة الممكن استخدامها في القطاع المنزلي أنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية وذلك لأن الماء الساخن مطلب أساس لكافة المواطنين. وهذه الورقة تستعرض إمكانية تسخين المياه بالطاقة الشمسية في تحسين إدارة الطلب على الطاقة في ليبيا وذلك بإجراء تقييم ومقارنة أوضاع تسخين المياه المنزلية بوضعها الحالي كهربائياً مع افتراض استبدالها تدريجياً بالسخانات الشمسية حتى سنة 2050 باعتبار سنة 2014 سنة أساسية، وباعتبار أن السخانات الشمسية توفر 70% من الطلب على الطاقة في تسخين المياه، وتم استخدام دالة منطقية (Logistic Function) لتخمين انتشار تقنية تسخين المياه بالطاقة الشمسية في القطاع المنزلي على مستوى ليبيا لكي لا يتم المبالغة في التقدير والتوقعات.

الكلمات الدالة: الطلب على الطاقة، القطاع المنزلي، تسخين المياه، الطاقة الشمسية.

Possibilities of Domestic Solar Water Heating in Improving Energy Demand Management in Libya

Ibrahim. H. Tawil¹, and Khairy R. Agha²

¹Centre for Solar Energy Research and Studies, Tripoli, Libya

²Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Tripoli, Tripoli - Libya

Abstract: The electric energy demand in Libya has been growing continuously in various sectors due to population growth during the past few decades and due to the economic projects expansion in Libya, which led to rise in the living standard and an increase in the energy demand per capita. Many studies and research

have been conducted to face this growth in electricity consumption, and to propose a clear medium and long term strategy for implementing renewable energy projects in the domestic sector to cover part of electricity demand and increase its contribution of power generation systems in the future, that will positively reduce the electric energy consumption and the emission of harmful gases to the environment. Solar water heating system is one of the most important renewable energy applications that can be used in the domestic sector, because hot water is main requirement for all citizens. This paper reviews the possibility of solar water heating in improving the energy demand management in Libya, by evaluating and comparing the current situation of domestic water heating which assume to be replaced gradually by solar water heating systems until 2050 considering 2014 as a base year. The solar water heating system provides 70% of the energy demand for water heating. To avoid exaggerating the estimate and expectations a Logistic Function is used to estimate the spread of solar water heating technology in the domestic sector in Libya.

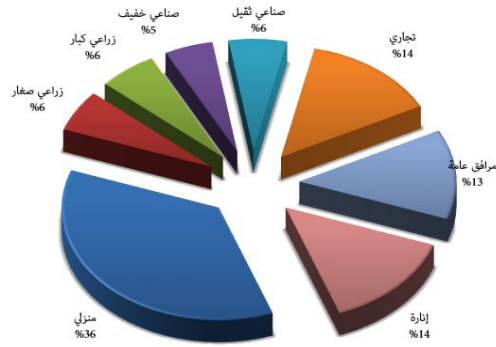
Keywords: Energy demand, domestic sector, water heating, solar energy.

1. المقدمة

2010-2020م لتوريد و تركيب أنظمة الطاقات المتجددة في ليبيا خلال تلك الفترة، حيث تصل المساحة المركبة للسخانات الشمسية (20,000 م²) حتى سنة 2010 م و تصل إلى (40,000 م²) بحلول سنة 2020 م وفقاً للخطة المقترحة [5]. كما قدم (خيرى آغا و آخرون، 2009) دراسة للجهاز التنفيذي للطاقات المتجددة وضع فيها استراتيجية نشر و تشجيع اقتناء منظومات تسخين المياه بالطاقة الشمسية [6]، وهذه الورقة هي تطوير لهذه الدراسة تم إجراؤه سنة 2013م. و قام (El-Arroudi, K و آخرون، 2009) بإعداد دراسة عن إدارة جانب الطلب في الشركة العامة للكهرباء و بين تأثيرها البيئي و الاقتصادي على نظام التشغيل بالشركة وفقاً لمتوسط النمو السنوي للأحمال خلال الفترة (2000-2008) [7]. و قد عرض (Ali Asheibe, Ashraf Khalil, 2013) البيانات التحليلية لأوضاع الطاقة الحالية والمستقبلية في ليبيا ومناقشة التحديات والعقبات التي تواجه نمو تطبيق الطاقة المتجددة في ليبيا. و اقترح (M.I.R. Abdunnabi, M. A. Musa, 2013) استراتيجية متكاملة لنقل و توطيق تقنيات تسخين المياه بالطاقة الشمسية من توريد و تركيب منظومات و تصنيع و اختبار و تدريب و بحث و تطوير لمدة 10 سنوات يتم خلالها تركيب 250,000 سخان شمسي في القطاع المنزلي بليبيا أي ما يمثل نسبة 25% من المنازل القائمة لسنة 2013م وهي سنة الأساس، حيث يتم ذلك بدعم السخانات الشمسية بمبلغ يعادل 65% من تكلفة السخان الشمسي المقترح حتى تكون اقتصادية و منافسة لسخانات المياه الكهربائية المستخدمة حالياً في القطاع المنزلي بليبيا [8]. كما قدم (Ahmed M. Saleh و آخرون، 2014) رؤى لتوقع اعتماد و تحديد العوامل التي قد تدفع الناس لقبول استخدام سخانات المياه بالطاقة الشمسية كخطوة ملموسة نحو استخدام مصادر الطاقة المتجددة، حيث تعرض دراسته بعض المبادئ التوجيهية لتوفير الطاقة والتي من شأنها أن تساهم في اقتصاد البلاد [9]. و قد قدم (Ahmed M. A.

تتمتع ليبيا بإمكانية هائلة من الإشعاع الشمسي الذي يمكن الاستفادة منه في عدة تطبيقات، حيث يبلغ المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي الساقط على السطح الأفقي بليبيا حوالي (7.5) كيلواط ساعة للمتر المربع، كما تتمتع بزمن سطوع شمسي طويل حيث يصل معدله السنوي إلى أكثر من 3,200 ساعة [1] [2] [3]. هذه العوامل تؤهل ليبيا لتكون من الدول الرائدة في استخدام تطبيقات الطاقة الشمسية و خصوصاً تقنيات التسخين الشمسي التي أصبحت من التطبيقات المنتشرة في العالم حيث ثبتت جدواها فنياً و اقتصادياً، وهي تعد من أبسط التطبيقات وأقلها كلفةً ويمكن استخدامها في الوحدات السكنية و المساجد و المباني الإدارية، حيث يشكل تسخين المياه المنزلية عبئاً حقيقياً وهاماً على الشبكة العامة للكهرباء وعلى المنظومة الوطنية للأمداد بالطاقة وكذلك على الإنفاق الفردي على الطاقة. لذلك ومن أجل الاستفادة المثلى من مصادر الطاقة المتاحة لتقليل من التلوث البيئي و التقليل من استهلاك النفط إلى جانب المساهمة في تخفيض الأحمال الكهربائية، فقد أجري العديد من الدراسات و التقارير لوضع استراتيجيات و خطط تنفيذية لمشروعات تسخين المياه في القطاع المنزلي باستخدام الطاقة الشمسية. و قد بين (Ibrahim Saleh, 2006) إمكانية الطاقة المتجددة و أهم تطبيقاتها المنفذة في ليبيا، والآفاق المستقبلية لاستخدام هذه الموارد و مدى مشاركتها في توليد الطاقة [4]. و قام العديد من الباحثين بدراسة الوضع الحالي و النمو المستقبلي لاستهلاك الطاقة في ليبيا، و نظراً لعدة عقبات لم تدخل كافة الخطط الاستراتيجية طور التنفيذ، و لهذا السبب استمر البحث في تطوير هذه الاستراتيجيات وفقاً للبيانات و التكاليف التي شهدت تغيراً ملحوظاً في السنوات الأخيرة، فقد بين (Ekhlal و آخرون، 2007) أنه تم وضع استراتيجية قصيرة المدى حتى سنة (2010) و أخرى بعيدة المدى

برميل (احتياطي مؤكد) [14].
و قد شهدت ليبيا نمواً هائلاً في إنتاج واستهلاك الطاقة الكهربائية في مختلف القطاعات والأنشطة الاقتصادية خلال الربع الأخير من القرن الماضي، الأمر الذي صاحبه تنام في الطلب على الطاقة الكهربائية كما هو موضح بالشكل [15]، فقد تضاعف معدل استهلاك الفرد ما يزيد عن ستة أضعاف خلال هذه الفترة، حيث ارتفع من 338 ك.وس سنة 1970 إلى حوالي 2,000 ك.وس سنة 2000 م ووصل إلى 4,850 ك.وس سنة 2012 [13]. كما ارتفع الحمل الأقصى للشبكة الليبية من 151 ميغاوات سنة 1970 إلى 2,690 ميغاوات سنة 2000 م، و إلى 5,981 ميغاوات سنة 2012 م [15] [14]، ولجابهة هذا النمو المتزايد في الطلب على الطاقة الكهربائية فقد تطورت القدرة الإجمالية المركبة لمحطات الإنتاج إلى ما يزيد عن 8,788 ميغاوات موزعة على مجموعة من المحطات المختلفة الأنواع والأحجام [15]، ويمكن تخفيض حمل الطاقة المستهلكة وتقليل الحاجة إلى تركيب وحدات إنتاج جديدة وخفض تكاليف الإنتاج والصيانة وذلك بتطبيق إدارة الطلب على الطاقة في تحسين معامل حمل الطاقة ومواءمة أحمال العرض والطلب على الطاقة.



الشكل (1). النسب المئوية لكميات الطاقة الكهربائية المباعة في ليبيا

3. الطلب على الطاقة الكهربائية في القطاع المنزلي:

تغطي الشبكة العامة للكهرباء معظم مدن ومناطق ليبيا، ويصل عدد المساكن الليبية المربوطة بالشبكة العامة للكهرباء إلى أكثر من 99 %، ونتيجة للتطورات التقنية وتحسن مستوى المعيشة فقد أصبح البيت الليبي يحتوي على عدة أجهزة كهربائية والإلكترونية وزيادة عدد السكان مما نتج عنه ارتفاع هائل في استهلاك الكهرباء، فطبقاً للبيانات الفعلية الصادرة عن الشركة العامة للكهرباء والمتعلقة بالطاقة الكهربائية المباعة

آخرون، 2013) دراسة عن مستويات ومزيج من استهلاك الطاقة والنمو المستقبلي المتوقع، وقد بين أهمية تطوير قطاع الطاقة المتجددة في ليبيا لتوفير مصدر بديل للطاقة وتوفير فرصة لتوليد الإيرادات المالية فضلاً عن تقليل مستويات استهلاك النفط والغاز الطبيعي [10].

و قد بين (Ashraf Khalil, Ali Asheibe 2015) الوضع الحالي لمصادر الطاقة في ليبيا اعتماداً على بيانات (OPEC و GECOL) ومدى إمكانية ليبيا في توليد الطاقة بالمصادر المتجددة بناءً على الخطة الوطنية للجهاز التنفيذي (REAOL).

و بين (Mohamed, A.M.A و آخرون، 2016) أنه من المتوقع أن يزداد استهلاك الكهرباء في ليبيا زيادة كبيرة خلال السنوات القادمة، وسيؤدي ذلك إلى حاجة كبيرة إلى محطات توليد كهرباء جديدة لتغطية النمو المستمر في الطلب، حيث يمكن لقطاع الطاقة المتجددة أن يوفر مستويات كبيرة لتوليد الطاقة لتغطية بعض الزيادة المطلوبة في الطلب على الطاقة إذا ما تم إدارتها بالطريقة الصحيحة وفق استراتيجية عالية المستوى للتركيز على الطاقة المتجددة والحد من التلوث وانبعاثات الكربون في ليبيا. ومع ذلك، فإن الوضع الحالي في ليبيا وضع قيد الانتظار لمعظم استراتيجيات مشاريع الطاقة المتجددة. و قد قدم (M. J. R. Abdunnabi و آخرون، 2016) دراسة عن تأثير استبدال سخانات المياه الكهربائية في القطاع السكني بليبيا بأخرى شمسية على خفض حمل الكهرباء الأقصى وزيادة معامل الحمل، حيث أوضحت الدراسة أن التوفير السنوي من الطاقة نتيجة الإحلال يصل إلى 2.55 تيراوات-ساعة، ومعامل الحمل تحسن بمقدار 2% من 65% إلى 67% والطاقة الوفرة تعادل محطة قدرة بقدرة اسمية تبلغ 448 ميغاوات باعتبار معامل الحمل 0.65، وهذه الدراسة بينت أن معدل استهلاك الفرد للماء الساخن يصل إلى 60 لتراً يومياً عند درجة حرارة 45°، ومن خلال هذه الدراسة تبين أن الحمل السنوي لتسخين المياه لأسرة مكونة من 6 اشخاص يصل إلى 3060 ك.وس، و تبين الدراسة أيضاً أن المعدل السنوي للمشاركة الشمسية هو 70% [11].

2. الوضع الحالي لإنتاج و استهلاك الطاقة الكهربائية في ليبيا:

ليبيا واقعة في منطقة شمال أفريقيا على شاطئ البحر الأبيض المتوسط وبمساحة إجمالية تبلغ حوالي 1,750,000 كيلومتر مربع ويصل تعداد السكان بليبيا إلى 5868500 نسمة (طبقاً لتعداد سنة 2010) [13] [12]. وتعتبر ليبيا إحدى الدول المنتجة لمصدري الطاقة الرئيسيين للنفط والغاز الطبيعي حيث يبلغ المخزون الاحتياطي حوالي 48.01 بليون

مختلف القطاعات و بذلك تقدير نسبة القطاع المنزلي وهذه تعتبر الطريقة الأولى في حساب حمل تسخين المياه المنزلية، أما الطريقة الثانية فتعتمد على تقدير النمو السكاني المتوقع مستقبلاً مع اعتبار معدل الاستهلاك اليومي للزرد من الماء الساخن و يمكن تفصيل هاتين الطريقتين كالتالي:

5.1. الطريقة الأولى لتقدير نمو حمل تسخين المياه:

تعتمد هذه الطريقة على البيانات الواردة في الشكلين 1 و 2 التي تفيد بأن نصيب حمل تسخين المياه المنزلية من الاستهلاك المنزلي للطاقة الكهربائية هو 29.82 %، و وفقاً لنسبة النمو السنوي للحمل الكلي و النمو السكاني المتوقع في ليبيا، يمكن تقدير الطاقة الحرارية ($E_{th,d}$) المطلوبة لتسخين المياه حسب المعادلة (1) [16][8]:

$$E_{th,d} = N * f * P_e * \eta \dots \dots \dots (1)$$

حيث إن:

$E_{th,d}$: الطاقة الحرارية الكلية لتسخين المياه المنزلية في ليبيا (TWh).

N: عدد المنازل بليبيا.

f: متوسط جزء الطاقة المستهلك في تسخين المياه المنزلية.

P_e : مقدار إجمالي استهلاك الطاقة في ليبيا.

η : كفاءة تحويل الطاقة من كهرباء إلى طاقة حرارية.

و يبين الجدول 1 أهم البيانات المتعلقة بمنظومة تسخين المياه بالطاقة الشمسية المقترح استخدامها في دراسة هذه الطريقة.

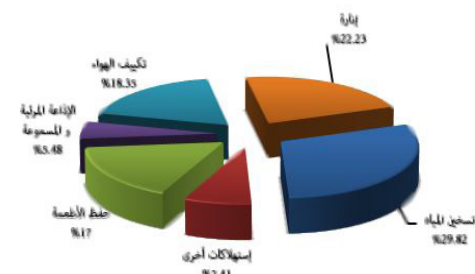
جدول (1). بيانات منظومة التسخين الشمسي المستخدمة في

الدراسة

البيان	القيمة
كفاءة أداء المجمع	60%
الكسر الشمسي	70%
كفاءة أداء التخزين	85%
شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح المجمع.	2100 kWh/m ² year

و يوضح الشكل 3 النمو في الحمل السنوي الكلي و الذي يمثل الطاقة المستهلكة في جميع القطاعات، و كذلك يبين نمو الحمل المنزلي بنسبة تم تسجيلها وفقاً لتقارير الشركة العامة للكهرباء [15]، و وفقاً لهذه الطريقة باستخدام معدل النمو في الحمل السنوي لتسخين المياه المنزلية فإن هذا الحمل بلغ حوالي 3647.82 جيغا وات - ساعة خلال سنة 2012 م والذي من المتوقع أن يرتفع وفقاً لمعدل النمو ليصل إلى حوالي 54,334.7 جيغا وات - ساعة خلال سنة 2050 م، كما هو مبين

خلال سنة 2012 فإن القطاع المنزلي يستحوذ على 36 % من إجمالي الطاقة المباعة في ليبيا، وبصفة عامة يمكن تصنيف استهلاك الكهرباء في المنزل الليبي إلى إنارة، و تسخين المياه، و حفظ الأطعمة، و التبريد والتكييف، و غسيل الملابس، و أجهزة الإذاعة المرئية و المسموعة، و مضخات المياه، بالإضافة إلى بعض الاستهلاك البسيط مثل طهو الطعام، و تجفيف الشعر، و كي الملابس... وغيرها، و يمثل حمل تسخين المياه المنزلية في ليبيا ما نسبته 29.82 % من إجمالي استهلاك الطاقة الكهربائية في ليبيا، كما هو موضح في الشكل 2 [8]. حيث يوضح ذلك العباء الذي يشكله تسخين المياه المنزلية على الشبكة العامة للكهرباء في ليبيا.



الشكل (2). توزيع النسبة المئوية للاستخدام المنزلي للطاقة الكهربائية في ليبيا.

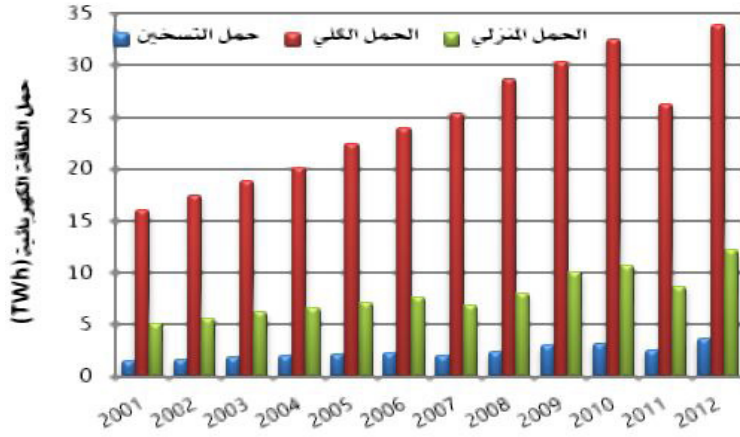
4. تقدير تطور الطلب على الطاقة الكهربائية في ليبيا:

شهد قطاع الكهرباء تطوراً هائلاً مواكبة التطور ومجاوبة الطلب المتزايد على الطاقة في القطاعات الأخرى، حيث تتم عملية توقعات الحمل الأقصى السنوي للمنظومة الكهربائية على المدى البعيد بدراسة العلاقات بين استهلاك الطاقة الكهربائية لمختلف القطاعات المستهلكة للطاقة، وبيانات الناتج المحلي الإجمالي وبيانات السكانية، وفقاً لمعدلات الزيادة السنوية، حيث بلغ متوسط النمو السنوي في مقدار الطاقة الكهربائية المنتجة 7.7 % خلال الفترة (من سنة 2001 إلى سنة 2012) و الذي يمكن من خلاله توقع النمو السنوي في مقدار الطاقة الكهربائية المنتجة في ليبيا.

5. تقدير الطلب على الطاقة لتسخين المياه المنزلية في ليبيا.

إن الطلب على الطاقة الكهربائية لتغطية حمل تسخين المياه المنزلية يمكن تقديره بطريقتين إحداهما تعتمد على النمو المستقبلي للأحمال الكهربائية الكلية المستهلكة في

بالشكل 4، وهذا التوسع في حمل تسخين المياه المنزلية يشكل عبئاً على الشبكة العامة حيث إنه في سنة 2050 م يفوق ما تستهلكه كافة القطاعات (الحمل الكلي) خلال سنة 2012 م كما هو ملاحظ من المخططين في الشكلين 4.3.



الشكل (3). النمو الفعلي السنوي للحمل الكلي والحمل المنزلي وحمل تسخين المياه المنزلية

التحسن المستمر في مستوى معيشة الفرد في ليبيا.

3. درجة حرارة المياه الباردة (20 م°).

4. درجة حرارة المياه الساخنة (45 م°).

5. معامل الحرارة النوعية للماء $(1.16 \times 10^{-3} \text{ kWh/kg K})$.

إن الطريقة الأولى لتقدير حمل تسخين المياه المنزلية اعتمدت أساساً على نسبة ثابتة (310.7%) لحمل تسخين المياه المنزلية من الحمل الكلي للطاقة الكهربائية والتي قد تكون بعيدة عن الواقع خلال السنوات القادمة لعدة أسباب نذكر منها ما يلي:

□ من المحتمل حدوث تطور مستقبلي في القطاع الصناعي والتجاري والسياحي وغيره من القطاعات قد ينتج عنه تغير ملموس في نسبة استهلاك الطاقة خلال السنوات القادمة في القطاعات.

□ الزيادة المستمرة في مستوى معيشة الفرد في ليبيا تتطلب في المستقبل استخدام أجهزة كهربائية والإلكترونية والتي من المتوقع أن ينتج عنها تغير ملحوظ في توزيع استهلاك الطاقة في القطاع المنزلي.

□ النسبة المئوية لاستهلاك الطاقة في القطاع والتي تم اعتمادها في هذه الطريقة تبلغ 36% من إجمالي استهلاك الطاقة الكهربائية في ليبيا، و تم استنتاجها بناءً على مقدار الطاقة المباعة وبالتالي إهمال تأثير فاقد النقل والتوزيع والفاقد التجاري.

2.5. الطريقة الثانية لتقدير نمو حمل تسخين المياه:

تعتمد هذه الطريقة في تخمين حمل تسخين المياه المنزلية في ليبيا على النمو السكاني الشكل (5) وكذلك على المعدل اليومي لاستهلاك المياه الساخنة للفرد الواحد، وذلك باستخدام المعادلة (2) التالية [18] [17] [16]:

$$Q(\text{th}) = \text{Pop} * m * C_p * \Delta T \dots\dots\dots (2)$$

حيث إن:

$Q(\text{th})$: كمية الطاقة الكلية لتسخين المياه المنزلية (طاقة حرارية) (kWh/year).

Pop: تعداد السكان (Person).

m: معدل استهلاك المياه الساخنة للشخص الواحد (kg/year - person).

C_p : معامل الحرارة النوعية للماء (kWh/kg-°C).

ΔT : الفرق في درجة الحرارة بين الماء الساخن والماء البارد (م°).

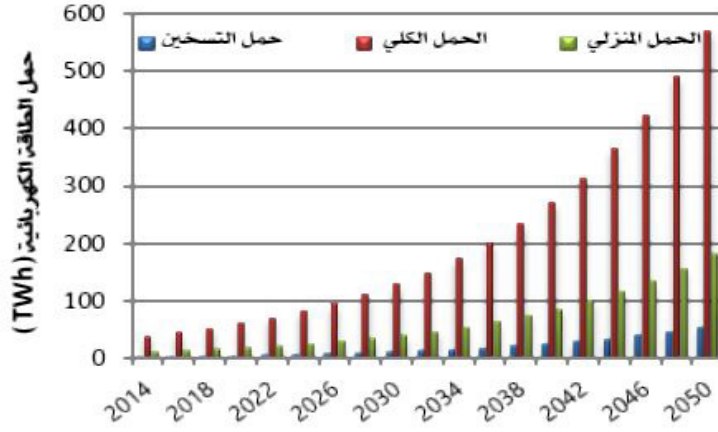
حيث يمكن حساب المقدار السنوي لكمية الطاقة الحرارية المطلوبة لتسخين المياه المنزلية طبقاً للافتراضات التالية :-

1. تعداد السكان 5,868,500 طبقاً لسنة 2010، و بمعدل نمو سكاني 2.5% [11].

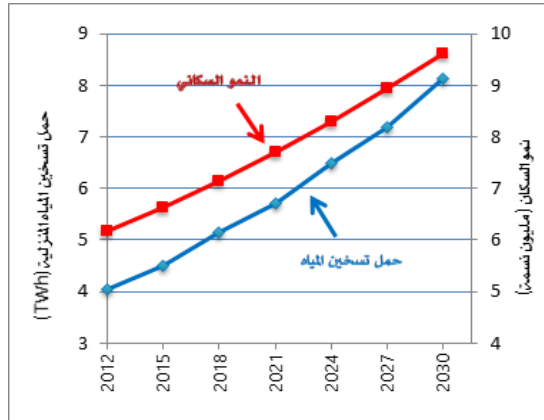
2. استهلاك المياه الساخنة للشخص الواحد 60 لتراً في اليوم لكل شخص عند درجة حرارة المياه (45 م°) بالأخذ في الاعتبار

خطّة استراتيجيةّ لجابهة هذا الحمل بشهر المنظومات الشمسيّة لتسخين المياه و إحلالها تدريجياً محل السخانات الكهربائيّة

وبناء على ذلك فإن الطريقتة الثانية هي التي سيتم اعتمادها في تقدير الحمل الحراري لتسخين المياه المنزليّة، ولوضع



الشكل (4). التوقعات المستقبلية للنمو السنوي للحمل الكلي والحمل المنزلي وحمل تسخين المياه المنزلية



الشكل (5). النمو السنوي لحمل تسخين المياه المنزليّة في ليبيا طبقا للطريقة الثانية.

6. تقدير مساحة المجمعات الشمسية المقترح تركيبها

طبقا لتقديرات الحمل الحراري، يُمكن تقدير القدرة المكافئة من الطاقة الشمسية لتغطية هذا الحمل، والعامل الحاسم في هذه المرحلة هو المشاركة الشمسية (أي كمية الطاقة الكهربائيّة الممكن استبدالها بالطاقة الشمسيّة). ويمكن حساب المساحة الكلية (S) للمجمعات الشمسية المطلوبة حسب المعادلة (3) كالآتي:

$$S = \frac{f_s * E_{th,d}}{H * \eta_e * \eta_{st}} \dots \dots \dots (3)$$

حيث إن:

η_c : كفاءة أداء المجمع.

f_s : المشاركة الشمسية.

η_{st} : كفاءة التخزين.

H: الطاقة الشمسية الساقطة على سطح المجمع kWh/m²/year

7. استراتيجية انتشار سخانات المياه الشمسية للاستخدام المنزلي في ليبيا:

إن مساحة المجمعات الشمسية الممكن تركيبها في ليبيا لتسخين المياه المنزلية تم افتراضها على أساس أنها تشكل 50% من الطلب الكلي في سنة معينة. أي أنه تم افتراض أن السوق

المواطن إدراك وإحساس كامل بإمكانيات التسخين الشمسي ينتج عنه ارتفاع في عدد المنظومات الشمسية التي يتم تركيبها حيث تصل المساحة التراكمية للمجمعات الشمسية المركبة حتى نهاية سنة 2050 م إلى ما يزيد عن 3.2 ملايين متر مربع، و بافتراض معامل حمل في حدود 0.65، فإنه يمكن تقدير مساهمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية في تخفيض حمل الاستهلاك المنزلي (TW) و النسبة المئوية لتخفيض الحمل الكلي [7]. ويوضح الشكل رقم (7) مقدار مساهمة الطاقة الشمسية في تغطية جزء من حمل تسخين المياه المنزلية لكل السيناريوهات المقترحة حيث يصل هذا الحمل 5 تيراوات-ساعة سنوياً في سنة 2050م، و بذلك سيكون مساهمة الطاقة الشمسية دور في توفير جزء من الحمل على الشبكة الكهربائية و له تأثير إيجابي في تحسين إدارة الطلب و ذلك بتخفيض مقدار حمل القطاع المنزلي.

بينما يوضح الشكل رقم (8) مساحة المجمعات الشمسية المطلوب تركيبها سنوياً لكل من السيناريوهات المقترحة، حيث يلاحظ من هذه النتائج الارتفاع المفاجئ في مساحة المجمعات الشمسية المطلوب تركيبها في السنة التي تلي وصول المساحة التراكمية التي تناظر تغطية 50 % من الحمل، هذا الارتفاع المفاجئ نتج لعدم تطبيق الدالة الافتراضية لتخمين المساحة التراكمية ابتداء من تلك السنة، وابتداء من تلك السنة تم افتراض أن يتم تقدير المساحة التراكمية للمجمعات الشمسية لتغطية 50 % من الحمل الكلي لتسخين المياه المنزلية.

الجدول (2). متغيرات الانتشار لكل سيناريو.

ملاحظات	المتغير			السيناريو
	t _m	b	A	
تم اعتبار المنظومات التي يتم تركيبها سنوياً بما يعادل 50 % من المباني السكنية التي يتم تشييدها سنوياً بعد انقضاء مرحلة السيناريو	2015	0.4	50% من الطلب لسنة 2020	الأول
	2017	0.4	50% من الطلب لسنة 2025	الثاني
	2020	0.4	50% من الطلب لسنة 2030	الثالث
	2025	0.4	50% من الطلب لسنة 2040	الرابع
	2030	0.4	50% من الطلب لسنة 2050	الخامس

8. التحليل الاقتصادي لتسخين المياه المنزلية بالطاقة الشمسية:

حيث إن:

$$N_p: \text{فترة الاسترداد (سنة)} [19][20].$$

$$I: \text{التكلفة الاستثمارية (تكلفة رأس المال).}$$

$$E_s: \text{التوفير السنوي في الطاقة عند استخدام منظومة}$$

التسخين الشمسية.

الليبي للمجمعات الشمسية سيصل إلى مرحلة التشبع عند تركيب 50 % من الطلب الكلي، والمعادلة الرياضية (4) تمثل دالة منطقية تم اعتمادها في الدراسة لتمثل المساحة التراكمية للمجمعات الشمسية المركبة [8].

$$y(t) = \frac{A}{1 + e^{-b(t-t_m)}} \dots\dots\dots (4)$$

حيث إن،

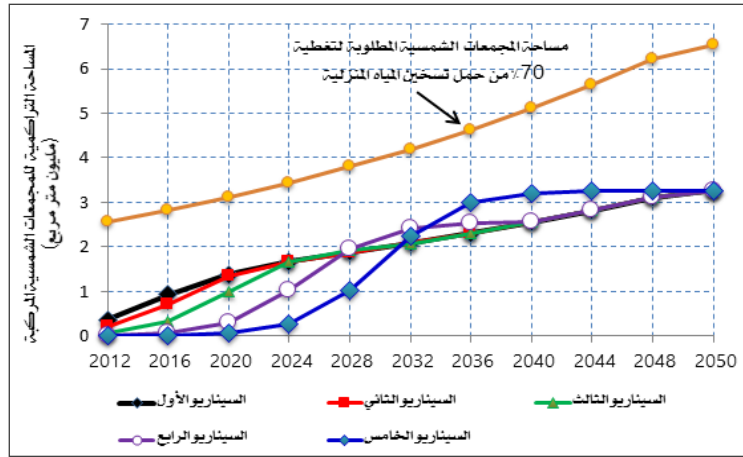
y(t): العدة التراكم للمنظومات الشمسية لتسخين المياه المنزلية التي يتم تركيبها حتى السنة (t).
A: الحد الأعلى للمنظومات الشمسية لتسخين المياه المنزلية (وصول السوق لمرحلة التشبع).

b: نسبة الانتشار.

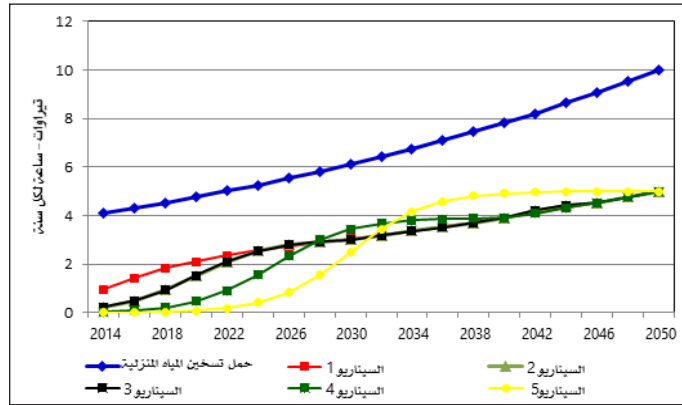
t_m: الزمن (بالسنوات) الذي يصل فيه المنحنى إلى نصف قيمة الحد الأعلى (A). وبمعنى آخر: t_m هي السنة التي يكون عندها اشتقاق المنحنى أكبر ما يمكن.

و يمكن استنباط مساحة المجمعات الشمسية باستخدام هذه المعادلة وفقاً للمتغيرات المدرجة في الجدول (2) لخمس سيناريوهات مختلفة كما يوضح الشكل رقم (6) حيث يمكن ملاحظة من هذه المنحنيات تباطؤ انتشار المجمعات الشمسية في السنوات الأولى وذلك لغرض إعطاء الفرصة لنشر الوعي العلمي والإدراك التقني بإمكانيات تسخين المياه المنزلية بالطاقة الشمسية، و بانقضاء هذه المرحلة، من المتوقع أن يكون لدى

$$N_p = \frac{I}{E_s} \dots\dots\dots (5)$$



الشكل (6). المساحة التراكمية للمجمعات الشمسية المركبة لكل سيناريو من السيناريوهات.



الشكل (7). مساهمة الطاقة الشمسية في تغطية جزء من حمل تسخين المياه المنزلية حسب كل سيناريو.

الكهربائية حيث يتضح من ذلك بأنه لا يمكن استرداد تكلفت شراء منظومة التسخين الشمسية خلال عمرها الافتراضي المقدر بـ(10 سنوات) وذلك بسعر الطاقة المدعوم (20 درهم) مما يجعلها غير مجدية من وجهة نظر المواطن، مما يستوجب أن تكون مدة استرداد رأس المال أقل من 10 سنوات ورأس المال الناظر لمدة 10 سنوات يكون في حدود 25 % من سعر المنظومة، وهذا يتطلب وجود دعم مالي لصالح المواطن بهدف التحفيز والتشجيع ولتصبح منظومة الطاقة الشمسية ذات جدوى اقتصادية مقبولة لديه، و يبين الشكل (9) أيضاً أن استخدام المنظومات الشمسية لتسخين المياه المنزلية من وجهة نظر الدولة تعتبر مجدية حيث إن فترة استرداد رأس مال المنظومات لا تتجاوز 6 سنوات لكافة الأسعار المقترحة لهذه المنظومات وذلك باعتبار سعر الطاقة بدون دعم.

و من خلال هذه المدة يتم استرداد كل الاستثمارات على كامل العمر الافتراضي للمنظومة وإجراء المقارنة على أساس صافي القيمة الحالية (NPV) للمنظومة البديلة طبقاً للمعادلة الرياضية (6) التالية [19][16]:

$$NPV = I + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} \dots \dots \dots (6)$$

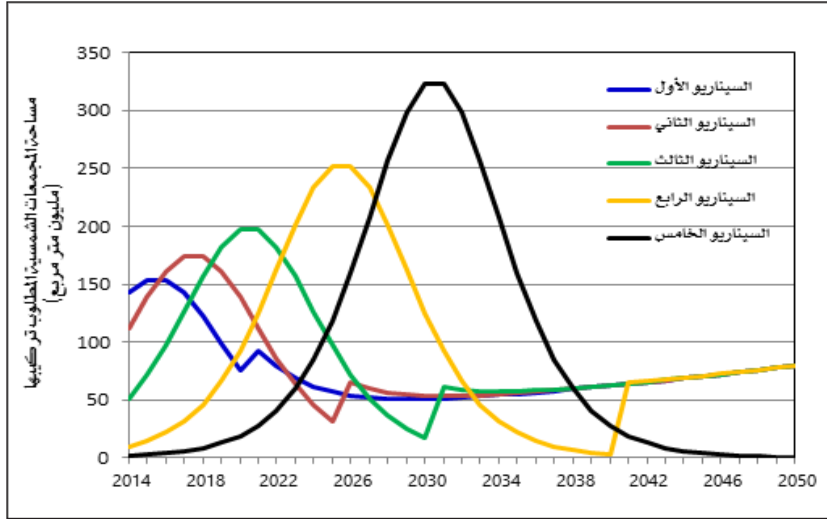
حيث إن:

C_i : إجمالي التكاليف في السنة (i).

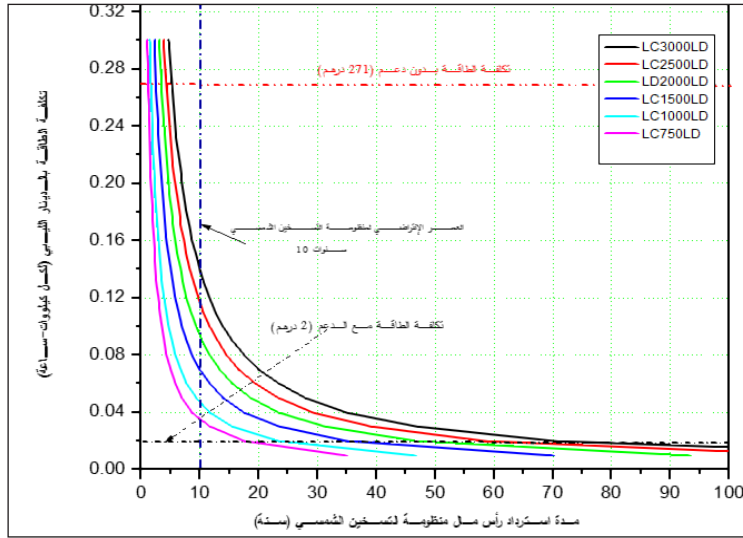
r : معدل الفائدة على القيمة النقدية.

n : العمر الافتراضي للمنظومة.

ويوضح الشكل 9 مدة استرداد التكلفة الابتدائية (رأس المال) لمنظومة تسخين شمسي على المستوى المنزلي وفقاً للبيانات المدرجة بالجدول 3 مع الأخذ بعين الاعتبار تغير تكلفة الطاقة



الشكل (8). مساحة المجمعات الشمسية المطلوبة تركيبها سنويا لكل من السيناريوهات المقترحة.



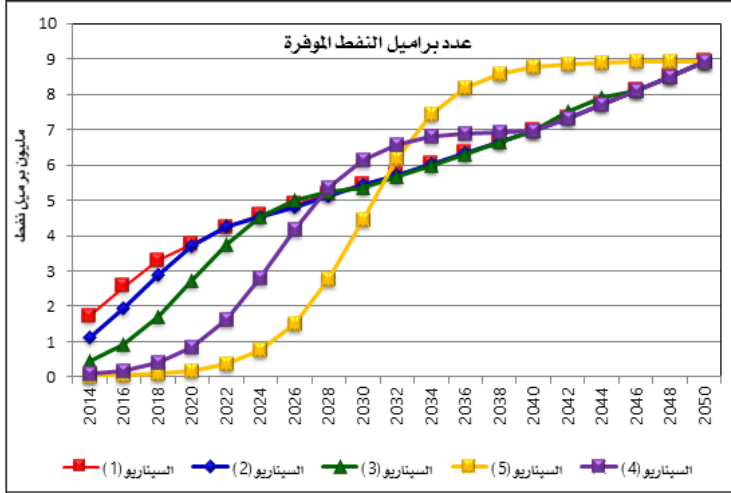
الشكل (9). مدة استرداد التكلفة الابتدائية (رأس المال) لمنظومة تسخين شمسي

استخدامها محلياً، حيث يلاحظ أنه بحلول سنة 2030 و طبقاً للسيناريوهات الأربعة الأولى فإن التوفير في عدد البراميل يزيد عن ما يقارب 5 ملايين برميل سنوياً باعتبار أن سعر برميل النفط في السوق العالمي في حدود 53 دولاراً أمريكياً و كل برميل واحد مكافئ لفض يعادل 560 كيلو وات - ساعة من الطاقة الحرارية المتولدة، مما ينتج عنه مردود اقتصادي إيجابي على خزينة المجتمع عند تسخين المياه المنزلية بالطاقة الشمسية.

أما فيما يخص المنافع الاقتصادية نتيجة لاستخدام السخانات الشمسية والتي تعود على خزينة الدولة فهي عديدة من حيث توفير النفط المستخدم في توليد الكهرباء بمحطات الإنتاج، حيث يوضح الشكل 10 عدد براميل النفط الممكن توفيرها سنوياً في حال استخدام الطاقة الشمسية لتسخين المياه المنزلية في ليبيا لكل من السيناريوهات الخمسة ويمكن أن تصدر هذه الكميات و تباع بالعملة الأجنبية بدلاً من دعمها و

الجدول (3). البيانات الاقتصادية الافتراضية لمنظومة التسخين الشمسي.

البند	القيمة
المنظومة الشمسية	مساحة المجمع الشمسي 4 أمتار مربعة و سعة الخزان 300 لتر هذه المنظومة كافية لتغطية المتطلبات اليومية لعائلة تتكون من 6 أشخاص.
مقدار الطاقة الحرارية من المنظومة الشمسية	3060 kWh/ year على اعتبار معدل سنوي للإشعاع الشمسي في حدود (2100 kWh/m ² year)، وهذا المعدل متوافق مع البيانات المناخية لمدينة طرابلس.
تكلفة رأس المال للمنظومة (التكلفة الإبتدائية بما في ذلك تكاليف التركيب)	من 750 ديناراً إلى 3000 دينار
العمر الافتراضي للمنظومة	10 إلى 12 سنة حسب المواصفات الفنية، و طريقة العمل ومواصفات المياه.
معدل التضخم	6.5 %
معدل التضخم على أسعار الطاقة	0 %
تكاليف التشغيل والصيانة	2 % في السنة من تكلفة رأس المال حيث تبدو هذه القيمة مقبولة جداً طبقاً للتقارير الميدانية للتطبيقات المشابهة
تعريف الطاقة الكهربائية	0.02 دينار ليبي لكل كيلووات - ساعة (السعر المدعوم)



الشكل (10). عدد براميل النفط الممكن توفيرها سنوياً حسب كل سيناريو

9. الأثر البيئي لتسخين المياه بالطاقة الشمسية:

الرياضية (7) التالية:

$$E_{GHG} = F * HR * EF * CF \dots\dots\dots (7)$$

حيث إن:

E_{GHG} : كمية الغازات المنبعثة.

يمكن تقدير كمية الغازات الضارة بالبيئة المرتبطة بتوليد الطاقة الكهربائية من الوقود الأحفوري باستخدام المعادلة

بالبيئة والممكن تفاديها عند تسخين المياه المنزلية بالطاقة الشمسية. حيث يوضح الشكل 11 كميات الغازات الممكن تفاديها مع القدرة الكهربائية المناظرة (MW) وفقاً للسيناريو الثالث، حيث يمثل غاز ثاني أكسيد الكربون الكمية الأكبر من الغازات الناتجة عن حرق الوقود بمحطات التوليد، و تبين المخططات المبينة بهذا الشكل أن القدرة الممكن تفادي استخدامها حتى نهاية سنة 2050 م بسبب توفيرها من الطاقة الشمسية تبلغ 878.77 ميجاوات

F: كمية الوقود المستخدم لتغطية حمل تسخين المياه المنزلية
 HR: معدل القيمة الحرارية للوقود.
 EF: معامل انبعاث الغازات الناتجة عن حرق الوقود.
 CF: معامل تحويل إلى كمية الغازات.
 والجدول 4 يوضح معدلات انبعاث الغازات والمواد الملوثة للبيئة الناتجة من توليد الطاقة الكهربائية [19] [22].
 و استناداً على ذلك يمكن تقدير كميات الغازات الضارة

الشكل (11). كمية الغازات المنبعثة وفقاً للسيناريو الثالث

10. الخلاصة:

قدمت هذه الدراسة طريقتين لتقدير حمل تسخين المياه المنزلية بالطاقة الشمسية حتى سنة 2050 م، حيث اعتمدت الطريقة الأولى على نسبة ثابتة لحمل تسخين المياه من الحمل المنزلي الكلي (10.73 %) مع افتراض نمو سنوي مستقبلي للحمل المنزلي الكلي مقداره (7.7 %)، أما الطريقة الثانية لتخمين حمل تسخين المياه المنزلية فاعتمدت على عدد السكان في ليبيا وفقاً للنمو السكاني المقدر بـ (2.5 %) وكذلك تعتمد على أساس أن المعدل اليومي لاستهلاك المياه الساخنة للفرد الواحد (60 لتراً عند درجة حرارة 45 مئوية)، و بناءً على هذه الطريقة فقد تم وضع استراتيجية لنشر استخدام منظومات التسخين الشمسي تدريجياً باستخدام دالة منطقية (لتخمين انتشار تقنية تسخين

الجدول (4). كمية التلوث المناظرة للغازات المنبعثة

نوع الملوث	كمية الملوث kg for 1 kWh/year
ثاني أكسيد الكربون (CO ²) وهو المسبب الرئيس للاحتباس الحراري.	0.76
أكاسيد النيتروجين وهو مادة كيميائية على شكل دخان مضرب وينتج عنها الأمطار الحامضية.	0.000572
ثاني أكسيد الكبريت (SO ²) وهو قد يسبب أضراراً دائمة للرفعتين.	4.63E-04

- [7]- El-Arroudi, K, M Moktar, B El-Obadi, S Sanoga And S Osman. General Electric Company Of Libya. (GECOL). Demand Side Management In Libya - A Case Study Of The General Electric Company Of Libya: Transmission System Operation And Control Department. 2009, 23p. Available: http://Www.Steg.Com.Tn/Dwl/Dr_Khalil_Libye.pdf
- [8]- M.I.R. Abdunnabi, M. A. Musa. Towards Strategic Plan for Wide Spreading of Solar Water Heaters in Libya. Journal of Solar Energy and Sustainable Development , JSESD, Vol (2), No (1), CSERS, 2013.
- [9]- Ahmed M. Saleh, Asmaddy Haris, Nursilah Ahmad. Towards a UTAUT-Based Model for the Intention to use Solar Water Heaters by Libyan Households. International Journal of Energy Economics and Policy Vol. 4, No. 1, 2014, pp.26-31.
- [10]- Ahmed M. A. Mohamed, Amin Al-Habaibeh, Hafez Abdo and Mohammad Juma R. Abdunnabi, "The Significance of Utilizing Renewable Energy Options into the Libyan Energy Mix", Energy Research Journal, 4 (1), 15-23, 2013.
- [11]- M. J. R. Abdunnabi, K. Dadesh, O. R. Mrehel and N. El-shamekh. Effect of Full Implementation of Domestic Solar Water Heaters on the Electricity Peak Load in Libya. , JSESD, Vol (5), No (2), CSERS, 2016.
- [12]- الكتاب الإحصائي 2010. مصلحة الأعداد والإحصاء ليبيا (http://www.bsc.ly/downloads_file.php?Id=12)
- [13]- Country Profile Libya (<http://lcweb2.loc.gov/frd/cs/profiles/Libya.pdf>) [14]- Organization of the Petroleum Exporting Countries OPEC "Libya facts and figures"(2013) http://www.opec.org/opec_web/en/about_us/166.htm.
- [14]- General Electric Company of Libya (GECOL), Annual Reports (2001 -2010).
- [15]- General Electric Company of Libya (GECOL), (2012), Statistics 2012.
- [16]- Soteris.A. Kalogirou. Solar Energy Engineering : Processes and Systems .1st ed, Elsevier, 2009.
- [18]- Sakulin, M., Hoelblinger, M. and Schmutzter, E. 1988. Domestic Warm Water Supply - System Comparison. Institute for Electrical Power Systems TU Graz. Paper presented at the Domestic Use of Energy Conference, Cape Technikon, 1998.

(tm) لتصل كافة السيناريوهات إلى نفس النتائج في سنة 2050 م، و بهذا فإن السيناريوهات الخمسة تختلف في آلية الانتشار لتحقيق نفس الهدف حتى سنة 2050 م. و بينت الدراسة أيضاً مدى تأثير تكلفة الطاقة الكهربائية المدعومة و ارتفاع سعر منظومة التسخين الشمسي غير المدعوم سلباً على مدة استرداد تكلفة رأس المال في نظر المواطن، و نظراً لأن الدولة تتحمل تكلفة إنتاج الطاقة تعتبر منظومات التسخين الشمسي مجدية اقتصادياً رغم أسعارها المقترحة، و لهذا فإن تحفيز السوق و إلزام المواطنين بتكسيب أنظمة الطاقة الشمسية و ذلك بتقديم الدعم على استخدام الطاقة الشمسية المتاحة من خلال تسخين المياه يؤدي إلى خفض استهلاك الطاقة الكهربائية و توفير الوقود المستهلك في محطات التوليد، و كذلك ينتج عن التسخين الشمسي للمياه المنزلية تخفيض الأحمال وبالتالي التأثير الإيجابي على إدارة الطلب على الطاقة، كما يساهم في توفير الاستثمار عند إنشاء محطات توليد القدرة و تخفيض تكاليف التشغيل والصيانة للمحطات.

10. المراجع:

- [1]- El-Arroudi, K, M Moktar, B El- Ali Asheibe and Ashraf Khalil, " The Renewable Energy in Libya: Present Difficulties and Remedies". In the Proceedings of the World Congress, 2013.
- [2]- Ashraf Khalil and Ali Asheibe. The Chances and Challenges for Renewable Energy in Libya. 4th International Conference on Renewable Energy Research and Applications, Palermo, Italy, 22-25 Nov 2015.
- [3]- Ahmed M.A. Mohamed., Al-Habaibeh, A. and Abdo, H. Future prospects of the renewable energy sector in Libya. In: SBE16 Dubai Conference, Dubai, United Arab Emirates, 17-19 January 2016.
- [4]- Ibrahim Saleh, "Prospects of renewable energy in Libya". International Symposium on Solar Physics and Solar Eclipses, pp. 153-161, 2006.
- [5]- Ekhlal. M. M Salah Ibrahim and N. M. Kreama. Mediterranean and National Strategies for Sustainable Development: Energy Efficiency and Renewable Energy Libya - National study. February 2007, Available: http://planbleu.org/sites/default/files/upload/files/LI_NationalStudy_final.pdf.

[6]-خيرى آغا، محمد خلط، رمضان إيدوي. إمكانية مساهمة الطاقة الشمسية في تسخين المياه المنزلية - الجدوى الفنية والاقتصادية. 2009. دراسة مقدمة للجهاز التنفيذي.

[21]- Electric Power Pollution Calculator' 2008 (Online), Cited June. 14, 2013 (<http://www.csgnetwork.com/elecpowerpolcalc.html>).

[22]- علي شتوان، الصديق ابوعو، إبراهيم بادي. إدارة جانب الطلب على الطاقة الكهربائية للقطاع السكني بليبيا. المجلة الدولية المحكّمة للعلوم الهندسية وتقنية المعلومات المجلد 3، العدد 2، يونيو 2017.

[19]- مانفريد سيبيرت، التطبيقات الحرارية للطاقة الشمسية- مزايا وفرص استخدام الطاقة الشمسية لتسخين المياه تقييم التقانة والجدوى في الأردن وسورية. مكتب مشروع التعاون الإقليمي GIZ . سورية 2011.

[20]- ياسر فتحي نصار. هندسة الطاقة الشمسية - التطبيقات الحرارية الفعالة. جامعة سبها، الطبعة الأولى، 2006.