تخفيض الاحمال الكهربائية باستبدال السخانات الكهربائية بأنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية

*د. عياد المخزوم محمد الواعر[1]، أ. علي المبروك النائض[2]
[1]قسم تقنيات الطاقات المتجددة، المعهد العالي للعلوم والتقنية، ترهونة، ليبيا
[2]قسم الهندسة الكهربائية، المعهد العالي للعلوم والتقنية، ترهونة، ليبيا
ayss732001@gmail.com*
alimbruok1975@gmail.com

ملخص البحث

تواجه ليبيا في الوقت الراهن طلباً متزايداً على الطاقة فقد بلغ الحمل الأقصى للشبكة العامة إلى 6000 ميجاوات وتعتمد فيه محطات توليد الطاقة الكهربائية اعتماداً كلياً على استخدام أنواع الوقود المختلفة المشتقة من النفط في حين أنها تمتلك اهم المصادر الطبيعية والمتمثلة في شدة الاشعاع الشمسي بساعات سطوع مرتفعة طيلة أيام السنة والتي يمكن استغلالها كمصدر بديل للطاقة وذلك بتوظيف التقنيات المتاحة والتي تقوم بتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية أو حرارية لسد العجز الحاصل في الطلب على الطاقة والمساعدة في تخفيف الاحمال الكهربائية التي تعاني منها كافة شرائح المستهلكين.

يهدف هذا البحث إلى إدخال بعض أنواع انظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية في القطاع المنزلي، من أجل تقليل الحمل على الشبكة العامة للكهرباء، ومدي جدوى استخدام هذه الانظمة في التطبيقات المنزلية عن طريق تسخين المياه بواسطة المجمعات الشمسية المتمثلة في مجمعات الألواح الشمسية المسطحة ومجمعات الأنابيب الزجاجية المفرغة بديلاً عن السخانات الكهربائية والتي تُعد من أكبر الأجهزة المنزلية استهلاكاً للطاقة.

وتعرض هذه الورقة ايضاً نبذة للتعريف بهذه التقنيات وكيفية تحويل الطاقة ومميزاتها وطرق اختيار الأنسب منها والقوانين التي تحدد الكفاءة والأداء الحراري والمعادلات التي تحسب الكميات التي توفرها هذه الأجهزة من طاقة حرارية يمكن توظيفها والاعتماد عليها من ضمن مشروعات ترشيد استهلاك الطاقة واستغلالها بشكل أمثل على الصعيد المحلي للمساعدة في حل ازمة الطلب المتزايد على الكهرباء وإيفاء الشركة العامة للكهرباء بتزويد كافة المستهلكين على مدار الساعة باحتياجاتهم من الطاقة الكهربائية.

حيث أظهرت النتائج حسابياً ان الاستغناء عن 400000 سخان كهربائي يمكن أن يوفر 720 ميجاوات وهو ما يعادل توليد محطة كاملة.

وبينت الدراسة حسابياً احتياجات الاسرة من الماء الساخن يومياً وسنوياً ومقدار كميات الطاقة اللازمة لتسخين هذه المياه عند استخدام السخان الكهربائي وكذلك بعد استبداله بمنظومة المجمع الشمسي. واتضح انه بعد حساب تكلفة اجمالي الاستهلاك الكهربائي للسخان الكهربائي وفقاً لسعر تعريفة الاستهلاك (المنخفضة) للكيلو وات ساعة هو 334.88 ينار ليبي/سنة فأنه يمكن تحديد فترة استرداد ثمن المجمع الشمسي **(Pay-back period)** في حال الاعتماد عليه واستبداله بالسخان الكهربائي خلال فترة لا تتعدي العامين.

1. المقدمة

تـعـتـبـر مصادر الطاقة الشمسية في ليبيا هي الأعلى من بين دول العالم، لكونها تقع ضمن منطقة الحزام الشمسي، والتي تتمتع بشدة سطوع شمسي خلال أغلب أيام السنة والتي تتراوح فيها قيمة شدة الاشعاع الشمسي من 1900 كليو وات ساعة/متر مربع/سنة في المناطق الساحلية وترتفع هذه القيمة لتصل إلى أكثر من 2800 كليو وات ساعة/متر مربع/سنة في المناطق الداخلية الصحراوية، وكما هو معرف ان تكلفة وحدة انتاج الطاقة تنخفض كلما ارتفعت قيمة شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الأرض [1].

بسبب ارتفاع أسعار الوقود والكهرباء والتلوث البيئي الكبير الناتج عن حرق الوقود أصبح من الضروري البحث عن مصادر جديدة للطاقة تكون اقتصادية وذات أسعار معقولة ولا تؤدي الى إلحاق الضرر بالبيئة، فكان السخان الشمسي بمختلف تصاميمه التقنية هو الحل المناسب لجزء كبير من هذه المشكلة ونتيجة لذلك انتشرت أجهزة تسخين المياه بالطاقة الشمسية بشكل واسع في الأسواق حيث لاقت أجهزة تسخين المياه بالطاقة الشمسية انتشاراً واسع النطاق وإقبالاً من المواطنين خاصة في الدول الغير منتجة للنفط لتكون إحدى استراتيجيات الطاقة الوطنية للاعتماد عليها بشكل ملحوظ لحل أزمة الطاقة [2].

فمن المهم إعطاء ولو فكرة مفصلة عن أهم أنواع أجهزة تسخين المياه بالطاقة الشمسية المتوفرة في الأسواق والتنويه عن الاختلاف فيما بينها والطرق المختلفة لكيفية عملها.
في هذه الدراسة سنتعرف على الأنواع المختلفة لأجهزة تسخين المياه بالطاقة الشمسية شائعة الاستخدام والتي تتميز بسهولة التركيب والصيانة.
إن القيمة اليومية للحمل الأقصى للشبكة العامة قد تصل إلى 6000 ميجاوات ومع هذه القيمة المبالغ في استهلاكها في أغلب الأوقات مازالت قطاعات الدولة والمستهلكين الكبار منهم والصغار يعانون من انقطاع الطاقة الكهربية التي وصلت في بعض الاحيان إلى عدة ساعات في اليوم، في الوقت الذي يزداد فيه الطلب على الطاقة الكهربائية نتيجة للنمو السكاني يزداد الاستهلاك الغير مقنن من قبل شريحة المستهلكين بشكل عام نتيجة للتوسع السكاني العشوائي والزيادة في الامدادات الكهربائية الغير قانونية ولهذا فإن شركة الكهرباء لم تعد تستطيع الايفاء بتزويد المستهلكين على مدار الساعة بالطاقة الكهربية المطلوبة على مدار العام وخاصة في فصلي الشتاء والصيف وهي الاوقات الذي تزداد فيها معدلات الاستهلاك في الاستخدام المُبالغ فيه والمتعلق بأجهزة التسخين والتدفئة والتبريد والغير خاضعة لأبسط مشروعات ترشيد استهلاك الطاقة في المجال الكهربي.
إن تسخين المياه باستخدام السخانات الكهربائية تعتبر من التقنيات عالية الكفاءة ولكنها تعد من الأجهزة التي تأخذ معدلات استهلاك عالية من الإنتاج الكلي للطاقة الكهربائية وان عدم وعي المستهلك وقلة اهتمامه بإرشادات شركة الكهرباء في كيفية التشغيل الامثل للسخانات الكهربائية بما يكفل الحد من الاحمال الكهربائية المفروضة يزيد من تفاقم مشكلة العجز في الإيفاء بإمدادات الطاقة الكهربائية، لذلك جاءت الحاجة للتركيز والاهتمام على امكانية استخدام نظم تسخين المياه بالطاقة الشمسية المتاحة في الاسواق والمناسبة للاستخدام المحلي ودورها في الحد من الانتاج الزائد والاستهلاك المفرط للطاقة الكهربائية، الامر الذي جعلنا نفكر في تقديم هذه الدراسة وهي استبدال هذا النوع من السخانات الكهربائية بغيرها من الأنظمة والتي تعتمد على الشمس كمصدر للطاقة.

2. منهجية البحث

عرض منظومات الطاقة الشمسية الحرارية والمتمثلة في نوعين منها (مجمعات الالواح المسطحة ومجمعات الانابيب المفرغة) وتوجيه وارشاد شرائح المستهلكين الكبار والصغار اللذين يعتمدون على نظم توليد الطاقة الحرارية مثل السخانات الكهربائية، والنظر في كيفية استخدام تقنيات الطاقة الشمسية وبالتحديد المجمعات الشمسية الحرارية شائعة الاستعمال في الاسواق المحلية كي تنوب او تعمل بدلاً من السخانات الكهربية التي تستهلك كماً هائلاً من الطاقة الكهربائية، ايضاً تحديد نوع ومواصفات منظوماتها لاستخدامها الاستخدام الامثل وصولاً لتخفيف الاحمال الكهربائية ترشيداً لاستهلاك الطاقة الكهربائية.
الطريقة العلمية والتي تم اختيارها في هذه الورقة هي إمكانية إثبات الجدوى الاقتصادية وذلك بمقارنة المنظومات التي تعتمد على الشمس كمصدر للطاقة مع غيرها من المنظومات الأخرى وتختص دراستنا هذه على منظومة السخان الكهربائي التقليدي وستكون المقارنة من حيث الكفاءة وتوفير كميات الطاقة المطلوبة وحاجة المستهلك وعلى الرغم من أن الطاقة الشمسية هي طاقة مجانية إلا ان تكلفة منظماتها والتي تحول الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية تكون باهضه الثمن، فسيتم تحديد الحسابات الخاصة بالطاقة المطلوبة لتسخين المياه بواسطة مجمعات الطاقة الشمسية وكذلك الحسابات التي تحدد استهلاك السخان الكهربائي وتكاليف الاستهلاك بوحدة (ك. و. س) اعتماداً على التعريفة المحددة من قبل الشركة العامة للكهرباء ايضاً سيتم حساب الفترة الزمنية لإعادة المبالغ المصروفة (**Pay-back Period**) المتعلقة بالسخان الشمسي.

3. تحويل الطاقة الشمسية وتخزينها

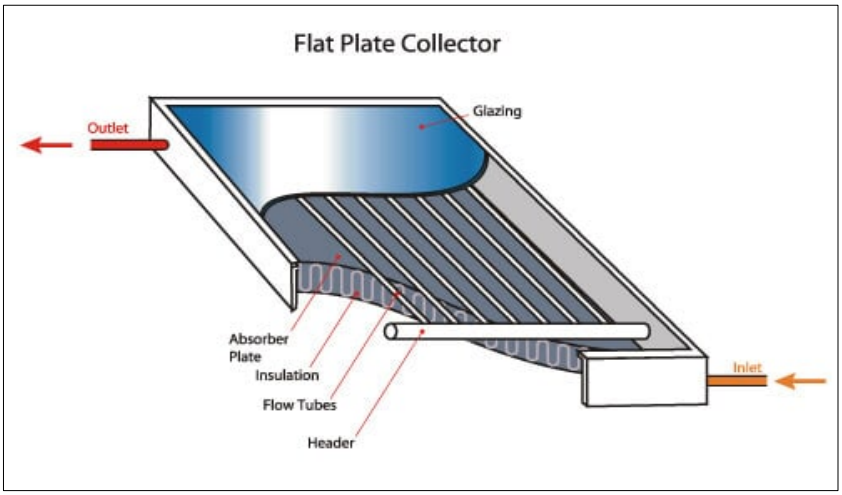
التحويل الحراري للطاقة الشمسية يعتمد اساساً على تحويل الإشعاع الشمسي المباشر إلى طاقة حرارية وذلك باستخدام مختلف تقنيات المجمعات الشمسية والمواد الحرارية المستعملة في هذا المجال. فإذا تعرض جسم أسود (داكن) معزول إلى الإشعاع الشمسي المباشر فإنه يمتصه وبالتالي يمكن الاستفادة من هذه الحرارة في نقلها وتخزينها لاستخدامها في التدفئة والتسخين. إن تقنيات المجمعات الشمسية هي الأكثر شيوعاً في مجال تحويل الاشعة الشمسية إلى طاقة حرارية، فعلى الرغم من أن الطاقة الشمسية هي الاكثر استثماراً مقارنة بالأنواع الأخرى المختلفة من الطاقات المتجددة، إلا أنها تظل مرهونة بتوفير كمية وكثافة عالية من الأشعة الشمسة الساقطة طيلة فترة السطوع الشمسي لذلك فمن الضروري التركيز على تطوير تقنيات التخزين الحراري المصاحبة لتقنيات التحويل الحراري للطاقة الشمسية ورفع كفاءتها لتعظيم الاستفادة منها أثناء فترات غروب الشمس [3].
ومن الجدير بالذكر ان معظم المناطق في العالم غنية بالإشعاع الشمسي ذو الكثافة العالية مما يتيح لها فرصة أكبر لاستخدام تقنيات المجمعات الشمسية بمختلف انواعها وهو من ضمن الأسباب الذي يدفعنا لاستبدالها بالسخانات الكهربائية التي تستهلك مقداراً كبيراً من الطاقة الكهربائية وذلك لأجل حل مشكلة أزمة الطاقة على الصعيد المحلي.

4. أهم انواع المجمعات الشمسية المستعملة محليا

تعد السخانات الشمسية من أهم الوسائل الحديثة والنظيفة لاستغلال الطاقة الشمسية لأغراض تسخين المياه في المنازل والتجمعات السكنية، وقد شهدت تطوراً كبيراً في السنوات القليلة الماضية. كما أنها تعتبر طريقة فعالة ورخيصة الثمن لتزويد المنازل بالمياه الساخنة الضرورية للاستعمالات اليومية، حيث تستطيع العمل في مختلف الطقوس والعوامل الجوية، وتسخن المياه بسرعة وكفاءة عالية حتى في الأيام الباردة وقودها هو أشعة الشمس المجانية وهنا تكمن اقتصاداتها. في هذه الورقة سيتم التركيز وعرض نوعين من هذه التقنيات الاكثر شيوعاً واستعمالاً [5]، والمتمثلة في مجمعات الألواح الشمسية المسطحة ومجمعات الأنابيب الزجاجية المفرغة.

1.4 مجمع اللوح الشمسي المسطح

مجمع اللوح الشمسي المسطح كما هو موضح في الشكل رقم (1) هو وحدة امتصاص وتسخين تقوم بتحويل الطاقة الحرارية الشمسية المتمثلة في الاشعة الساقطة عليه إلى حرارة عبر المياه التي تتحرك داخل الانابيب النحاسية بمنظومة الامتصاص المعزولة لتجنب الفقد الحراري قدر الامكان، ترتفع درجة حرارة المياه داخل هذه الانابيب مع مرور الزمن ويتم تخزينها في سخانات ذوات سعات مختلفة تكون معزولة بمواد عزل عالية الكفاءة للحفاظ على حرارة المياه ليتم استخدامها في اوقات مختلفة [5].



شكل رقم (1): المجمع الشمس المسطح

يصنع السطح الماص من مواد معدنية لها امتصاصية عالية تكون مطلية بمادة انتقائية داكنة لرفع معدل الامتصاصية، لأن المواد الداكنة لها خاصية امتصاص أشعة الشمس بمعدلات عالية من الاشعة الشمسية، ولكن مازالت تعاني من عيوب ضياع الحرارة منها بواسطة الاشعاع حيث يصل معدل الفقد الحراري الى 89% تقريباً، أي أن السطوح الممتصة للحرارة تكون فاقدة لها عن طريق الاشعاع بشكل ملحوظ وبالتالي يكون معدل الطاقة المستفادة قليل، فالسطوح الماصة غالباً ما تصنع من الالمنيوم او النحاس او الحديد المجلفن ويفضل عادة الالمنيوم او الحديد المجلفن لأنها رخيصة الثمن، حيث يُطلى السطح الماص للحرارة بمواد انتقائية عالية الامتصاصية ومنخفضة الإشعاعية مثل أكاسيد الكروم والكوبالت.

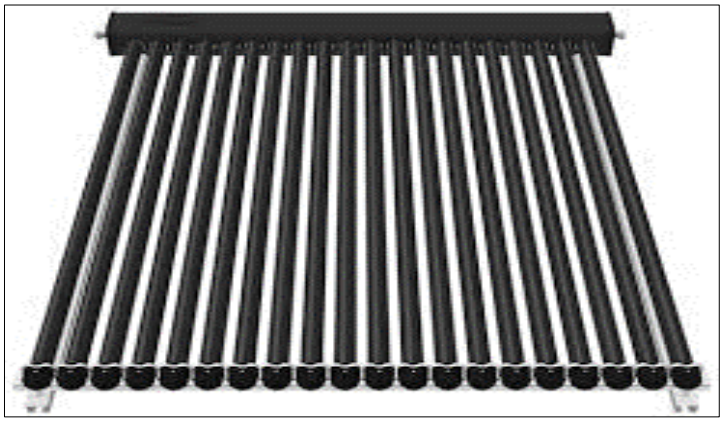
من ضمن المكونات ايضاً الانابيب المعدنية والتي تمتلك معدلات امتصاص عالية لنقل الحرارة التي يتم امتصاصها بواسطة الانابيب الى السائل، ولذا يجب ان تكون هذه الانابيب ذات موصلية حرارية مرتفعة حتى تنقل كل الحرارة المستفادة، وتصنع هذه الانابيب من معادن مختلفة ويفضل استخدام النحاس لموصليته العالية. من مكونات المجمع الشمسي المسطح ايضاً الغطاء الزجاجي والذي تكون وظيفته السماح للأشعة الشمسية بالوصول الى الانابيب الحرارية الماصة، وتقليل الفقد الحراري من خلال القسم العلوي كما انه يمنع الهواء والماء من التسرب الى داخل المجمع، ومن أهم الانواع التي يمكن استعمالها انواع الزجاج ذو النفاذية العالية.

ان ارتفاع درجة الحرارة داخل السخانات بالمقارنة مع درجة حرارة الجو المحيط يزيد من معدل الفقد الحراري بالتوصيل وذلك عن طريق جسم السخان، وكذلك الفقد الحراري من الغطاء الزجاجي بالحمل والاشعاع وبالتالي يوصي استعمال مواد العزال الاقتصادية التي تمتلك خاصية الحد من ضياع الحرارة [5].

2.4 مجمع الأنابيب الزجاجية المفرغة

ظهرت هذه التقنية منذ فترة زمنية قريبة، وهي تعتمد على ما يعرف باسم الأنابيب الزجاجية المفرغة كما هو موضح في الشكل رقم (2) حيث أن هذا النوع من التقنية يمتص الاشعة الشمسية بمعدلات كفاءة عالية وتحولها إلى

طاقة حرارية يتم استغلالها في عمليات تسخين المياه. يتألف كل أنبوب من هذه الانابيب المفرغة من أنبوبين من الزجاج، متداخلين مع بعضهما البعض ويُصنعان من زجاج البوروسيليكيت الذي يتميز بالمتانة ومقاومته للكسر، يكون الأنبوب الخارجي شفافاً حيث يسمح لأشعة الشمس الساقطة بالنفاذ من خلاله بقليل من الانعكاس بينما يُطلى الأنبوب الداخلي بطبقة سوداء عادة ما تكون من النيكل والكروم فيعمل على امتصاص أشعة الشمس الساقطة عليه بنسبة عالية تصل إلى 98% تقريباً [6].
يتم تسخين الانبوبين المتداخلين إلى درجات حرارة عالية لتفريغ الهواء الموجود بينهما، ليتم بعد ذلك فوراً تثبيت نهايتي الانبوبين عن طريق عملية الصهر لينتج من عملية التفريغ هذه تكون منطقة عزل بين الأنبوبين وهذا ما يمنح هذه الأنابيب كفاءة عالية لامتصاص أشعة الشمس، ويعمل الفراغ المتكون بين الانبوبين بمنع تسرب الحرارة التي اكتسبتها المياه المارة خلال الانبوب الداخلي، ويعمل هذا الفراغ ايضاً على إيقاف الفقد الحراري من عمليتي التوصيل والحمل الحراريتين، ونتيجة لذلك تتجاوز درجة حرارة الأنبوب الداخلي 150 درجة مئوية و يظل الأنبوب الخارجي بارداً. إن عملية التفريغ تمتلك خواص عزل جيدة تسمح بوجود فرق عالي في درجات الحرارة بين الأنبوبين الداخلي والخارجي، وهذا ما يجعل الأنابيب المفرغة تعمل بمقدار عالي من الكفاءة حتى في المناخ البارد بينما تكون كفاءة المجمعات الشمسية المسطحة في مثل هذه الأجواء منخفضة بسبب فقدانها للطاقة الحرارية [7].
من جهة اخري هناك نوع من مجمعات الأنابيب الزجاجية المفرغة التي تستعمل بداخلها الأنبوب الحراري المعدني في نقل الحرارة فهو أنبوب مجوف من الداخل ومفرغ من الهواء تماماً وتوجد به كمية صغيرة من سائل العمل يستقر في الجزء السفلي منه والذي يتبخر عند تلقيه الحرارة من الشمس عبر الانبوب الزجاجي المفرغ فيرتفع البخار حتى يصل إلى رأس الانبوب (المكثف) المثبت في المشعب الذي ينقل الحرارة من البخار إلى السخان فيبرد البخار ويتكثف ويسيل ويعود مرة اخري إلى أسفل أنبوب الحرارة بواسطة الجاذبية وهكذا تتكرر العملية [6،7،8].



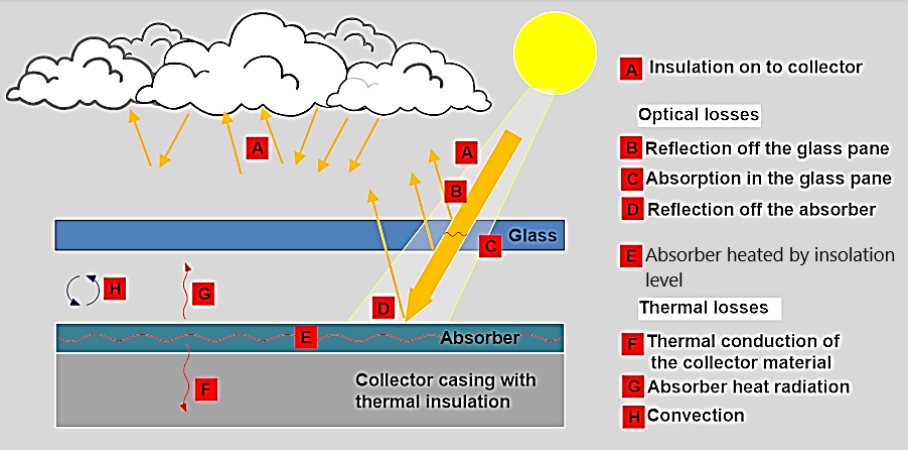
شكل 2 شكل رقم (**2**): مجمع الانابيب الحرارية المفرغة

3.4 مساحة المجمعات الشمسية

في المجمعات الشمسية المسطحة ينبغي أن تتناسب سعة السخان الذي يحوي الماء المراد تسخينه مع مساحة المجمع الشمسي، فعلى سبيل المثال في الدول العربية نحتاج إلى مجمع شمسي مساحته تتراوح من 1.2 متر مربع إلى 1.5 متر مربع لكل سخان ذو سعة 100 لتر. وتزيد مساحة هذا المجمع في مناطق أوروبا الشمالية، حيث نحتاج إلى 4 متر مربع لكل سخان ذو سعة الـ 100 لتر، حيث توفر هذه المساحة في حدود 90% مما يتم طلبه من المياه الساخنة في فصل الصيف و60% تقريباً في فصل الشتاء. فعلى سبيل المثال عند اقتناء هذا النوع من المجمعات الشمسية فإن سخان المياه ذو سعة 300 لتر يجب ان ألا تنقص مساحته عن 3.6 متر مربع عند تركيبه في إحدى دول الجزيرة العربية أو 4.5 متر مربع عندما يتم تركيبه بدول المغرب العربي. ومن الجدير بالذكر انه عند اقتناء هذه الانواع من الأنظمة يجب التركيز ان تكون مساحة المجمع متناسبة مع سعة السخان وذلك للوصول إلى كفاءة وجودة التسخين المطلوبة. وفيما يتعلق بتقنية السخانات ذات الأنابيب المفرغة فإن سخان المياه ذو سعة 100 لتر يحتاج إلى مساحة المجمع الذي يحتوي على 10 انابيب، والسخان ذو سعة 300 لتر يحتاج إلى مساحة المجمع الذي يحتوي على 30 أنبوب مفرغ. وكما هو الحال في تقنية سخانات الالواح المسطحة يجب التركيز على عدد انابيب الذي يحتويه المجمع الشمسي وما يناسبه من السعات المختلفة لسخانات المياه عند أخذ القرار لاستعمال هذا النوع من التقنيات [5].

4.4 تحديد كفاءة المجمعات الحرارية الشمسية.

تعتمد كفاءة المجمع الشمسي على قدرته على امتصاص الحرارة والممانعة عن فقد الحرارة بمجرد امتصاصها. حيث يوضح الشكل رقم (3) مبادئ تدفقات الطاقة في المجمع الشمسي.



شكل رقم (3): مبدأ تدفقات الطاقة في المجمع الشمسي [9]

لحساب كفاءة المجمع الشمسي يمكن استخدام المعادلة رقم (1) والبارامترات الموجودة في دليل البيانات الخاصة بكل مجمع [9].

$$\eta_c = \eta_0 - a_1 \frac{(T_m - T_a)}{G} - a_2 \frac{(T_m - T_a)^2}{G} \dots\dots\dots\dots\dots (1)$$

حيث:

η_0: أقصى قدر من الكفاءة إذا لم يكن هناك فقدان للحرارة [%]

a_1 : معامل فقدان الحرارة الأول [W/ (°C·m^2)]

a_2: معامل فقدان الحرارة الثاني [W/ (°C·m^2)]

يجب تحديد هذه البارامترات وفقاً للمعيار المناسب ومن ثم توفير المعلومات الأساسية لتحديد الكفاءة.

η_c: كفاءة المجمع[%]

G: إجمالي الإشعاع الساقط على سطح المجمع [W/m^2]

T_m: متوسط درجة حرارة سائل المجمع [°C]

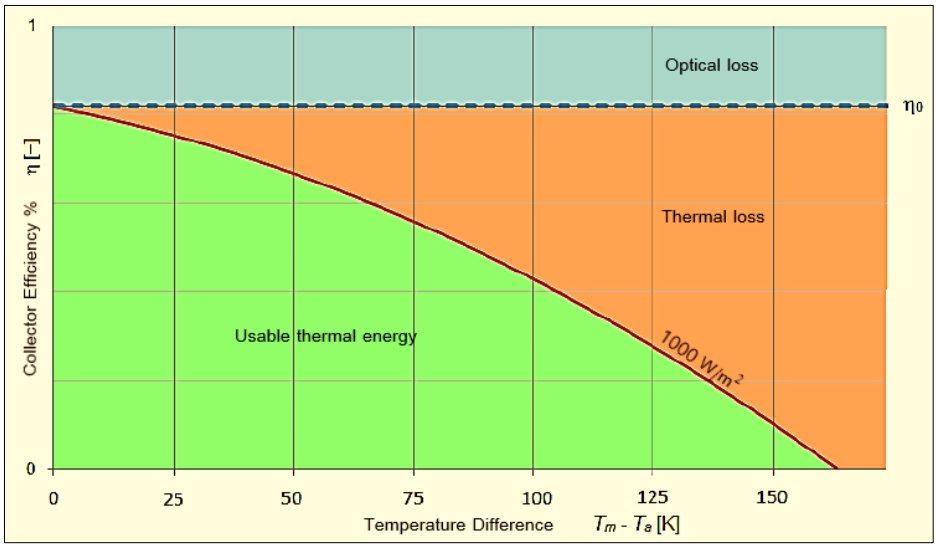
T_a: درجة حرارة الهواء المحيط [°C]

الشكل رقم (4) مثال للتعبير عن الكفاءة من المعادلة رقم (2) حيث (الخط الأحمر) يوضح الخسائر والطاقة المفيدة لمستوى إشعاع معين (على سبيل المثال 1000 وات/متر مربع). يتم تمثيل الكفاءة كدالة للفرق في درجات الحرارة بين متوسط درجة حرارة المجمع T_m ودرجة الحرارة المحيطة T_a. (اللون الأزرق) يشير إلى النسبة بين الخسائر البصرية (**Optical Loss**) و(اللون البرتقالي) يمثل فقدان الحرارة (**Thermal Loss**)، بينما (اللون الأخضر) هي الطاقة المفيدة (**Usable Loss**)، والتي يمكن مقارنتها بالمجموع الكلي للطاقة من الإشعاع (يساوي 100٪ على المحور الثانوي)، ويمكن حساب خرج طاقة المجمع باستخدام المعادلة رقم (2)

$$P_c = A_c . \eta_c \, G \dots\dots\dots\dots\dots (2)$$

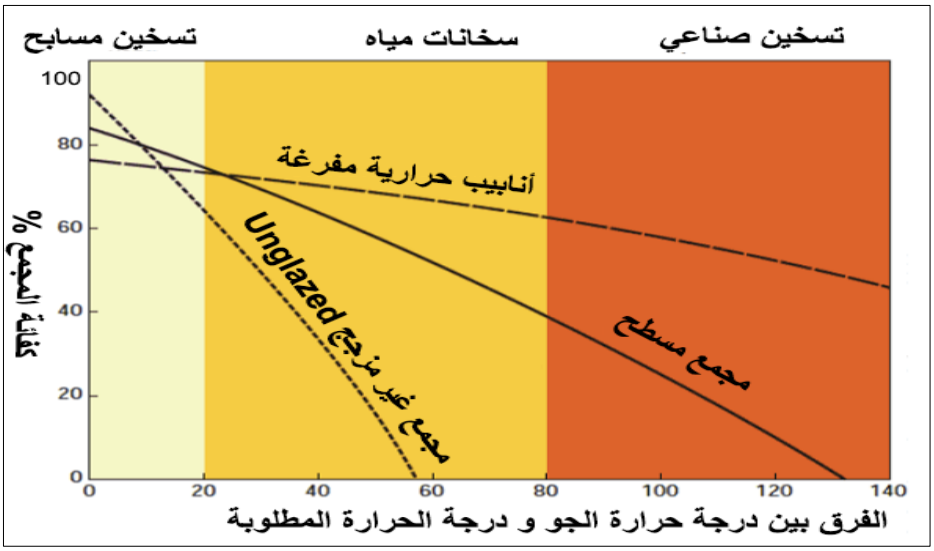
حيث أن: P_c : إنتاج الطاقة من المجمع [W]

A_c: مساحة المجمع [m^2]



شكل رقم (4): التعبير عن الكفاءة [9,4]

الشكل رقم (5) يوضح أن اداء السخان ذو الأنابيب المفرغة أكثر كفاءة من اداء السخان ذو الالواح المسطحة حيث أن الأنابيب المفرغة تلائم المناطق الشمالية والتي يكون مناخها بارداً وذلك لأنها تتميز بكفاءة عالية رغم انخفاض درجة حرارة الجو، أما في المناطق العربية فأن الفرق بين النوعين من هذه التقنيات ليس كبيراً [9].



شكل رقم (5): الكفاءة الحرارية للمجمعات الشمسية [4]

5. الطاقة المطلوبة لتسخين الماء

لتحديد او معرفة كمية الطاقة المطلوبة لتسخين ماء السخان يمكن حسابها باستخدام المعادلة رقم (3)، [11,10,8]

$$Q = m\, c_p \Delta T \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

$$:\Delta T = (t_2 - t_1)$$

$$Q = m\, c_p (t_2 - t_1)$$

حيث أن: Q هي كمية الطاقة المطلوبة بالكيلو جول (KJ)

، m كتلة او كمية الماء المطلوب تسخينه (Kg)

، C_p الحرارة النوعية للماء 4.186 KJ/Kg. ˚C

، ΔT فرق درجتي الحرارة قبل وبعد التسخين

، $(t_2 - t_1)$ درجات حرارة الماء قبل وبعد التسخين على التوالي

اما لتحديد او معرفة كمية الطاقة الكهربائية الاجمالية التي يستهلكها السخان الكهربائي خلال وحدة الزمن فيمكن حسابها باستخدام المعادلة رقم (4)

$$P = w * t \dots\dots\dots\dots (4)$$

حيث أن: P هي الطاقة المستهلكة بالكيلو وات ساعة (Kw.hr)

w ، القدرة الكهربائية للسخان الكهربائي (Kw)

t ، زمن التشغيل (hr)

6. تجميع البيانات وتحليلها

تعتمد هذه الورقة على البيانات المتاحة من تقارير الشركة العامة للكهرباء كمعدلات التوليد للوفاء بالطلب على الطاقة الكهربائية والاستهلاك النوعي للسخانات الكهربائية طيلة العام حيث بينت الشركة العامة للكهرباء وعبر وسائل عديدة وفي برامج توعوية لحث المستهلكين لترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية بفصل التيار الكهربائي عن السخانات في بعض الأوقات لأن السخان الكهربائي هو أكثر الأجهزة المنزلية استهلاكاً للطاقة حيث يتراوح استهلاك الطاقة لهذا النوع من سخانات المياه من 1000 وات ساعة إلى 3000 وات ساعة.

ومن خلال تقارير معدلات النمو السكاني التي بينت أن عدد الاسر في مدينة طرابلس يقدر بحوالي 200000 أسرة [12]، وان متوسط استعمال عدد السخانات الكهربائية لكل أسرة (منزل) هو اثنان سخان كهربائي أي ان اجمالي عدد السخان الكهربائية المستعملة في مدينة طرابلس وتستهلك التيار الكهربائي هو 400000 سخان وفقاً للقيمة التقديرية لتعريفة استهلاك الكهرباء لمختلف شرائح المستهلكين لكل (ك. و. س) المبينة في الجدول رقم (1)

جدول رقم (1): القيمة التقديرية لشرائح المستهلكين/ (ك.و.س) [13]

تصنيف الاستهلاك	**القيمة (درهم / ك.و.س)**
المنزلي	20
زراعي صغار	30
زراعي كبار	32
صناعي خفيف	42
صناعي ثقيل	31
تجاري	68

معدلات توليد الطاقة الكهربائية للشركة العامة للكهرباء يدل على ان هناك انتاج كافي مقارنة بالنمو السكاني في كل عام وتشير البيانات أن احتياج الطاقة لشرائح المستهلكين في ليبيا يرتفع بشكل مطرد، ويوضح الجدول رقم (2) مقدار معدلات الحمل الأقصى على الشبكة العامة وارتفاعها بشكل تدريجي مع مرور الوقت.

جدول رقم (2): معدلات أقصى حمل على الشبكة العامة لكل سنة [14]

السنة	**الحمل الأقصى ميجاوات**	**السنة**	**الحمل الأقصى ميجاوات**
1970	151	2005	3857
1980	795	2006	4005
1985	1243	2007	4420
1990	1595	2008	4756
1995	1976	2009	5282
2000	2630	2010	5759
2001	3081	2011	5515
2002	3081	2012	5981
2003	3341	2015	6000
2004	3612	2019	6000

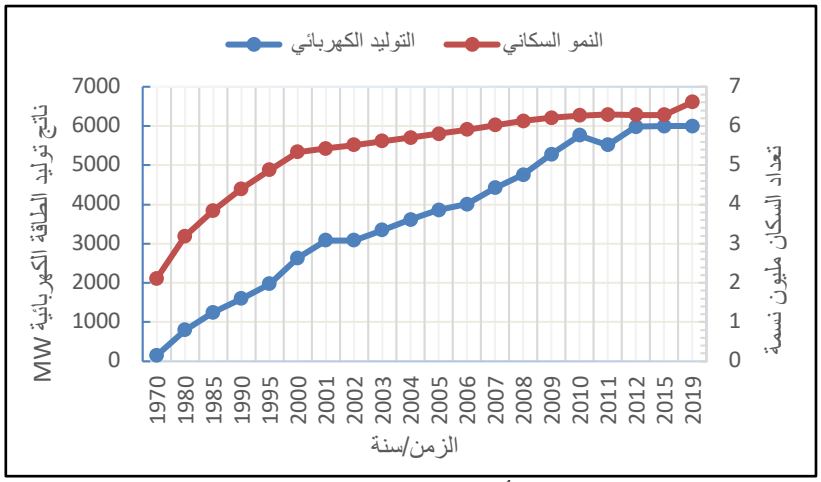
الجدول رقم (3) يوضح معدلات النمو السكاني منذ عام 1970 وحتى عام 2019 وبالمقارنة مع الجدول رقم (2) نلاحظ انه في عام 1970 كان مقدار أقصى حمل على الشبكة العامة في حدود 151 ميجاوات وكان عدد السكان

في ذلك الوقت حوالي 2.114 مليون نسمة بينما ارتفع معدل أقصى حمل على الشبكة العامة بنسبة نمو بلغت 3873.5% ليصل إلى 6000 ميجاوات للأعوام 2015، 2016- 2019 مع زيادة في نسبة معدل النمو السكاني حيث بلغ 212.5% ليصل إلى 6.606 مليون نسمة كما هو مبين بالعلاقة البيانية في الشكل رقم (6) الذي يوضح معدلات الأحمال القصوى والنمو السكاني.

جدول رقم (3): معدل النمو السكاني في ليبيا لكل سنة [14]

السنة	عدد السكان مليون نسمة	السنة	عدد السكان مليون نسمة
1970	2.114	2005	5.802
1980	3.191	2006	5.907
1985	3.841	2007	6.018
1990	4.398	2008	6.123
1995	4.878	2009	6.209
2000	5.337	2010	6.266
2001	5.428	2011	6.289
2002	5.518	2012	6.283
2003	5.609	2015	6.278
2004	5.703	2019	6.606

إن معدلات استهلاك الطاقة الكهربائية بدون أدوات التسخين والتدفئة الكهربائية التقليدية هي معدلات طبيعية ويتم تغذية الطلب على الطاقة بدون عجز (عدم اللجوء لطرح الأحمال) ولكن مع دخول فصل الشتاء وانخفاض درجات الحرارة يبدأ الاستهلاك المفرط للطاقة الكهربائية عن طريق تشغيل (الدفايات وسخانات الماء الكهربائية) والاعتماد عليها بشكل أساسي الأمر الذي يعود سلبا في تغذية الطلب على الطاقة خلال الذروة الشتوية.



شكل رقم **(6)**: معدلات أقصى حمل على الشبكة العامة والنمو السكاني

7. النتائج

1.7 السخان الشمسي

إن الاحتياج للماء الساخن للاستخدام المكثف يكون بين شهري سبتمبر وابريل لفترة زمنية مدتها 8 أشهر ومتوسط الشعاع الشمسي في اليوم تقريباً 8 ساعات. فإذا كانت اسرة متكونة من خمسة افراد وحاجة كل فرد 50 لتر/يوم من الماء أي ان الاحتياج الكلي سيكون 250 لتر/يوم أي ان الاحتياج الكلي لكمية الحرارة لتسخين كمية الماء خلال اليوم يمكن حسابه باستخدام المعادلة رقم (3)

$$2250 \text{ x } 4.186 \times 8\ (50 - 20) = 251160 \text{ KJ/day}$$

وكمية الحرارة اللازمة لمدة 8 أشهر

$$251160 \times 8 \times 30 = 60278400 \text{ KJ}$$

2.7 السخان الكهربائي

في حالة السخان الكهربائي كل الطاقة الكهربائية تتحول إلى طاقة حرارية ولهذا تعتبر كفاءته 100% ولحساب الطاقة المطلوبة خلال السنة:

$$Q = 60278400/3600 = 16744 \text{ Kw.hr}$$

سعر الكيلو وات ساعة 0.02 دينار ليبي فان التكلفة الكلية واللازمة لقيمة هذا الاستهلاك من الكهرباء تكون

$$Total\ cost = 16744 \times 0.02 = 334.88\ LD/year$$

3.7 إعادة المبالغ المصروفة

إذا كان سعر السخان الشمسي ذو جودة عالية ويوفر مقدار الطاقة المطلوبة هو 500 دينار ليبي وكما هو معروف في حساب زمن إعادة المبالغ المصروفة **(Pay-back period)** هو حاصل قسمة السعر الكلي للمنظومة (السخان الشمسي) على قيمة التوفير. ونظراً لان كفاءة السخان الشمسي هي 80% من كمية الطاقة المطلوبة واللازمة للتسخين، وفان إعادة المبلغ يكون على النحو التالي:

$$\text{Pay_back period} = 500/334.88 \times 0.8 = 1.8 \cong 2\ years$$

سنتان كمدة تقريبية هي الفترة الزمنية اللازمة لاسترجاع القيمة المدفوعة لشراء السخان الشمسي الذي تم تركيبة بديلا عن السخان الكهربائي الذي يعمل بتكلفة التعريفة الكهربائية التي سعرها 0.02 دينار ليبي وهذا المبلغ يستثني مصاريف التركيب والصيانة.

ولتحديد الاستهلاك الكلي لسخان الماء الكهربائي باعتباره أحد أكثر الأجهزة المنزلية استهلاكاً للطاقة يمكن استعمال المعادلة رقم (4) أخذين بنظر الاعتبار الفترة الزمنية لاستعمال السخان خلال العام هي 8 أشهر ومتوسط ساعات التشغيل في اليوم 5 ساعات تقريباً وأن متوسط قدرته هي 1.5 كيلو وات.

معدل الاستهلاك اليومي للسخان الواحد $\text{E} = 1.5 \times 5 = 7.5 \text{ kW.hr}$

معدل الاستهلاك السنوي للسخان الواحد $\text{E} = 7.5 \times 30 \times 8 = 800 \text{ kW.hr}$

وأن معدل استهلاك 400000 سخان كهربي سيكون $\text{E} = 1800 \times 400000 = 720 \times 10^6 \text{ kW.hr}$

$\text{E} = 720 \text{ MW}$

وهو المعدل الكلي للاستهلاك السنوي خلال فترة استعمال الماء الساخن لمدة 8 أشهر.

8. الاستنتاجات

تطبيقات الطاقة المتجددة في ليبيا يعتبر محدوداً جداً نظراً لاعتماد الدولة على المصدر الوحيد للطاقة وهو الوقود الاحفوري (النفط) لتوليد الطاقة التي تحتاجها شرائح المستهلكين ومع زيادة معدلات النمو السكاني يزداد الطلب على الطاقة كما هو واضح في الشكل رقم (6) وان قيمة الأحمال والتي تصل ذروتها إلى 6000 ميجاوات واحيانا إلى اقل بكثير من ذلك نتيجة لأسباب عدة منها الافراط الغير مقنن في الاستهلاك من قبل المواطنين والذي يفتقر إلى ابسط تدابير مشروعات ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية علاوة على ذلك عدم التزام المستهلكين بدفع وسداد قيم فواتير استهلاك الكهرباء رغم رخص قيمة التعريفة للكيلو وات ساعة، أيضا من ضمن الأسباب الرئيسية في عدم ثبات قيم التوليد تهالك المحطات وعدم الالتزام بأجراء العمرات والصيانة الدورية مما أذى إلى انخفاض في كفاءة الأداء لمعظم محطات التوليد وخروجها عن الخدمة في أوقات الذروة نتيجة لضغط الطلب في الظروف المناخية السيئة أيضاً الأوضاع الراهنة وعدم استقرار الدولة ساهم في عرقلة امدادات الوقود لتزويد المحطات وغيب العدالة في التوزيع المتساوي لساعات طرح الأحمال مما أذى إلى الانهيار المستمر لدوائر الشبكة وحدوث الإظلام التام **(BLACKOUT)**.

إن معدلات التوليد الحالية حتماً ستكون كافية إذا ما رافقها الاستهلاك الأمثل للطاقة وتحقيق الجباية الكاملة لقيم الاستهلاك من مختلف شرائح المستهلكين علاوة على أن عدد سكان ليبيا يعتبر قليلا مقابل ما يتم توليده من طاقة كهربائية لسد احتياجات المواطنين إذا ما قورن بعدد سكان ومعدلات التوليد مع دول الجوار على الأقل.

ولهذا فإن الاعتماد على الطاقة البديلة كمصدر أخر للطاقة سيحقق نتائج إجابيه كما أظهرته هذه الدراسة من نتائج سواء على صعيد تخفيض الاحمال الكهربائية لسد العجز في أزمة توليد الكهرباء وكذلك المحافظة على البيئة من التلوث نتيجة لتخفيض الانبعاثات الناتجة من عوادم المحطات التي تعمل بالوقود المشتق من النفط.

إن الاستثمار في توظيف تقنيات المجمعات الشمسية ذات موثوقية ويمكن الحصول على درجات حرارة عالية اعتماداً على كفاءة المجمع الشمسي وشدة الإشعاع الشمسي عند استبدالها بالسخان الكهربائي على الأقل في

الاستخدام السكني سيوفر كميات عالية من الطاقة الكهربائية تعادل توليد محطات متكاملة إذا ما التزمت به الدولة كمشروع وطني استثماري وأن عوائد هذا الاستثمار ستكون واعدة وفترة استرجاع راس المال ستكون قريبة جداً. إن إدخال 200000 سخان مياه شمسي بدلاً من 400000 سخان كهربائي لمائتي ألف اسرة (منزل) يؤدي إلى توفير استهلاك في الطاقة الكهربائية بحوالي مقدار 720 ميجاوات.
وأن فترة استرداد ثمن المجمع الشمسي **(Pay-back period)** في حال استبداله بالسخان الكهربائي ستكون خلال فترة لا تتعدي العامين.
في اعتقادنا أن هذا البحث يفتح المجال لإجراء دراسات أكثر شمولية فهو يقدم دراسة علمية معرفية أولية عن أهم التقنيات الشمسية شائعة الاستعمال والمتاحة في مجال تسخين المياه بالطاقة الشمسية ويركز على كيفية الاستفادة من هذه المنظومات على الصعيد المحلي كبديل عن منظومات السخانات الكهربائية ومقدار الوفر الذي تحققه للمساهمة في حل أزمة الطاقة كما هو واضح في النتائج والحسابات.

9. التوصيات

تقدم هذه الورقة نظرة عامة عن بعض أجهزة تسخين المياه بالطاقة الشمسة وتعرض النتائج التي تم الحصول عليها بعد استبدالها بالسخانات الكهربائية المنزلية لترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية والمساهمة في خفض ساعات طرح الأحمال على المواطنين ولتحقيق ذلك بالشكل الأمثل يُوصى بما يلي:

1- ضرورة التركيز وإنجاز المزيد من البحوث التطبيقية لدراسة إمكانية تطبيق هذه المنظومات الشمسية التي تُستعمل في توفير الماء الساخن على كافة الأصعدة وتأثيرها على تنمية الاقتصاد نظراً لما تحققه من وفر في المال والمحافظة على البيئة.
2- التأكيد على ضرورة ربط المراكز البحثية والجامعات ومؤسسات التعليم العالي التقنية والصناعية بحيث توجه الخطط البحثية بما يطرح العديد من الدراسات في هذا المجال.
3- تشجيع المواطنين عبر وسائل الاعلام المختلفة لحثهم على استعمال مثل هذه التقنيات لما لها من فوائد واعدة كالحد من ازمة الطاقة وتخفيض فاتورة الكهرباء والمساهمة في الحفاظ على البيئة.
4- تصميم وتنفيذ المباني العامة والخاصة لإمكانية استيعاب منظومات الطاقة الشمسية بمختلف أنواعها لضمان سهولة تركيبها وتثبيتها.
5- أن تتبني الدولة توطين مشاريع الطاقات البديلة كمشروع وطني يساهم في توفير القدر المطلوب من الطاقة وحل الأزمات الناتجة من محطات توليد الطاقة التقليدية.

المراجـــــــع

[1] نوري امحمد الكشريو & مصطفي الطاهر العائب، دراسة أداء مجمعات شمسية كهر وحرارية تحت الظروف المناخية لمدينة طرابلس باستخدام برنامج المحاكاة (TRNSYS) *المجلة الدولية المحكمة للعلوم الهندسية وتقنية المعلومات*، المجلد 3، العدد 2، يونيو (2017) (8-13)

[2] Kalogirou, S. Solar Energy Engineering: Processes and Systems. In *Solar Energy Engineering*. Elsevier Inc. (2009)

[3] A. A. M. SAYIGH. Solar Energy Engineering, 2nd Edition. (2013) *Handbook*.

[4] Laughton, C., & Jackson, F. Solar domestic water heating. (2010). The Earthscan expert handbook for planning, design and installation.

[5] Kalogirou, S. a. Solar thermal collectors and applications. Progress in *Energy and Combustion Science*, (2004). *30*(3), pp 231–295.

[6] Mahjouri, F. Vacuum tube liquid-vapor (heat-pipe) collectors. *Proceedings of the Solar Conference*, (2004). pp 1–6.

[7] Vinubhai, T. S., *A Review: Solar Water Heating Systems*. April (2014).

[8] Ayompe, L. M., & Duffy, A. Thermal performance analysis of a solar water heating system with heat pipe evacuated tube collector using data from a field trial. *Solar Energy*, (2013). *90*, pp 17–28.

[9] Trier, D. Solar district heating guidelines. (2012). 7.1-3, pp 1–15.

[10] Weiss, W. ,Conversion of solar radiation energy into other energy forms. *Institute for Sustainable Technologies (AEE INTEC) AUSTRIA*, 1–77.

[11] Alwaer, A., & Gryzagoridis, J. Desalination system using evacuated tube heat pipe solar collector with improved insulation of the geyser March 2019. *Proceedings of the 27th International Conference on the Domestic Use of Energy, DUE 2019*, *March*, pp 140–146.

[12] http://bsc.ly/(Bureau-of-Statistics-and-Census-Libya)
[13] WWW.GECOL.LY(General-Electricity-Company-of-Libya)
[14] https://ar.wikipedia.org/wiki/قطاع_الكهرباء_في_ليبيا