المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم
إدارة العلوم والبحث العلمي

الطاقات المتجددة في تنمية المجتمعات الريفية والصحراوية وتطويرها (دراسات)

التجربة المغربية نموذجا

المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم
إدارة العلوم والبحث العلمي

الطاقات المتجددة في تنمية المجتمعات الريفية والصحراوية وتطويرها (دراسات)

التجربة المغربية نموذجا

منسق النشاط :
المهندس خلف العقله

دراسات حول كيفية استغلال الطاقات المتجددة في تنمية المجتمعات الريفية والصحراوية وتطويرها

ع / 2020 / 21 / 014

I.S.B.N. : 978-9973-15-420-0

الفهرس

تصدير 5

تقديم 7

التجفيف الشمسي للمنتجات الفلاحية 9
أ. زجلي إدريس

التبريد وتكييف الهواء بالطاقة الشمسية 27
أ. بنشريفة رشيد

النجاعة الطاقية في البنايات، منطقة مراكش نموذجا 61
أ. بنشريفة رشيد

آليات مبتكرة لتمويل الطاقات المتجددة 91
أ. زجلي إدريس

تحلية المياه باستخدام الطاقة الشمسية 119
أ. زجلي إدريس

ضخ المياه باستخدام الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح 147
أ. د. عبد الفتاح بغدادي، المملكة المغربية

طهي الطعام باستخدام الطاقة الشمسية 167
أ. بنشريفة رشيد

كهربة المناطق الريفية والصحراوية من خلال استخدام الطاقة الشمسية 193
أ. د. عبد الفتاح بغدادي

مردودية المحطة الشمسية الحرارية نور ورززات ا 213
أ. د. عبد الفتاح بغدادي

تصدير :

إن تحقيق أهداف التنمية المستدامة في أفق العام 2030، هو الهدف الأساسي والأسمى للعالم أجمع، ولا يغيب عن أحد أنّ الطاقة هي المحرك الأساسي والعنصر الفاعل لكل تحوّل نحو التنمية، فهي العنصر الأساسي لكافة قطاعات الاقتصاد، كما لا يخفى على أحد أنّ جلّ الطاقة المستخدمة في العالم أجمع هي طاقة تقليدية وغير مستدامة، فضلاً عن أنها ملوثة للبيئة وتسبب انبعاثات ضارة، وهو ما يتعارض مع أهداف التنمية التي تقوم في المقام الأول على حماية البيئة، وضمان الاستخدام الأمثل والتوزيع العادل للموارد بين الجيل الحالي والأجيال القادمة. وقد لفت هذ الأمر انتباه المنظمات الدولية منذ انطلاق قمة الأرض (ريو دي جانيرو 1992) وما تلتها من قمم نادت جميعها بضرورة الالتزام بتنفيذ وعودها في تحقيق تنمية مستدامة، وإيجاد مصادر جديدة ومتجددة للطاقة، تحافظ على البيئة وتوفر فرص عمل جديدة، وتلبي الطلب المتزايد على الطاقة، لذلك بدأت العديد من الدول تخطو خطواتٍ واسعة نحو إقامة وتطوير مصادر الطاقة المتجددة ولاسيما طاقتي الشمس والرياح، وخصوصا في المجتمعات الريفية والصحراوية، وكيف يمكن الاستفادة من هذه المصادر المتجددة للطاقة في تنمية هذه المجتمعات، وتعزيز قدرتها في تحقيق الرؤى الخاصة باستراتيجية التنمية المستدامة في أفق العام 2030.

ومساهمة من المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم (الألكسو) في توعية المجتمعات العربية خصوصا منها الريفية والصحراوية بكيفية الاستفادة من الطاقات المتجددة واستخدامها في تنمية مجتمعاتها، ومواصلة لمساعيها لإثراء المكتبات العربية بكتب ودراسات متخصصة للاسترشاد بها والاستفادة منها في حـــل المشكلات ذات العلاقة بالمجالات الحيوية، قامت الألكسو بإصدار كتاب: "دراسات حول كيفية استغلال الطاقات المتجددة في تنمية المجتمعات الريفية والصحراوية وتطويرها"؛ نظرا لأهمية الطاقة المتجددة في تحقيق التنمية المستدامة، وزيادة الوعى بضرورة ترشيد استهلاك مصادر الطاقة التقليدية من أجل إتاحة فرصة للأجيال القادمة للاستفادة منها، وإيجاد سُبل واستراتيجيات كفيلة بضمان التحول إلى اقتصاديات الطاقة المتجددة في الدول العربية، وحسن استخدامها خصوصا في المناطق الريفية والصحراوية، وتشجيع البحث والتطوير في مجالات الطاقة المتجددة؛

وإذ تصدر المنظمة هذا الكتاب، تتوجّه بالشكر الجزيل والامتنان للخبراء، وتثمّن عاليا ما بذلوه من جهد مقدّر في إعداده.

ويُسعد المنظمة أن تضع بين أيدي قرائها هذا الكتاب، وإتاحته للباحثين والمهتمين في نسختين ورقية وإلكترونية، للاطلاع عليه والاستفادة من محتواه العلمي المتخصص كدليل تثقيفي توعوي يهم مختلف شرائح المجتمع، والمساهمة بدور بارز في تحقيق أهداف التنمية المستدامة في دولنا العربية.

والله ولي التوفيق

المدير العام

أ.د. محمد ولد أعمر

تقديم:

شهد العالم منذ أواخر القرن العشرين تفاقم التحديات البيئية العالمية، وخصوصًا ظاهرة الاحتباس الحراري، والتغيّر المناخي، وثقب طبقة الأوزون، وتلوّث الهواء والمياه العذبة ومياه البحار والمحيطات، وفقدان التنوّع الأيكولوجي، وندرة بعض الموارد الطبيعية...،وغيـــرها. وأمــام هذه المعطيات، أصبحت المشكلات البيئية تطال الإنسان في الدول سواء أكانت نامية أم متقدّمة على حد سواء، بل تُهدد استقرار ها. وهو ما أدّى إلى أن تتصدّر هذه المتغيّرات البيئية العالمية قائمة اهتمامات المجتمع العالمي التي يسخّر من أجلها التكنولوجيات الحديثة، سعيًا وراء إيجاد حلول مجدية لها؛

وعلى الرغم من أن الدول العربية تتمتّع بوفرة في المصادر الطبيعية، خاصة الوقود الأحفوري والطاقات المتجددة مثل الرياح والشمس، فإنّ معظم أراضيها تعتبر مناطق صحراوية قاحلة، ومع تزايد التحضّر وعدم الحصول على الطاقة والخدمات الأساسية فأصبحت فيه الطاقة تمثل أحد أبرز العناصر الأساسية في خطط التنمية الاقتصادية والاجتماعية على المستويين العربي والعالمي، وفي ظل تزايد الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية غير المتجددة، التي تتصف باحتياطي محدود، ومع كل ما تحقّق للإنسان من تطور هائل في حقل العلوم والتكنولوجيا، ورغم التطوّر التكنولوجي الذي تحقق في شتى المجالات، لم يستطع الإنسان حتى الآن من إيجاد طـــاقات بديلة مناسبة أو على الأقل ترشيد استهلاك الطاقة اللازمة للتقدم العلمي والتكنولوجي، وهكذا نرى أن الإنسان يواجه اليوم مرحلة تطورية هامة في مسعاه للانتقال من الاعتماد على مصادر الطاقة غير المتجددة إلى مصادر تتميز بالتجدد المستمر، وعدم النضوب، كالطاقة الشمسية، والجوفية، وطاقة الرياح وغيرها... وهو بذلك يسعى وبشكل جدي إلى ضمان استمرار حياته المستقبلية والحفاظ على حضارته.

ويحظى تطوير استخدام الطاقة الشمسية في المجالات المختلفة للتنمية باهتمام متزايد في كافة أنحاء العالم، بما في ذلك الوطن العربي الذي تقع كامل مساحته في الحزام الشمسي، ويتمتع بشمس ساطعة معظم أيام السنة، مما يعطي الطاقة الشمسية الأولية في الاهتمام والتطوير، لا سيّما كونها تتميّز بأنها طاقة نظيفة خالية من كل أشكال التلوث، خلافا للطاقات التقليدية وام يترتب على استعمالها من تلوث للبيئة وانتشار للأوبئة.

ولا تزال المجتمعات العربية الريفية تعتمد على موارد الطاقة التقليدية غير الكافية لدعم التوسع في سلاسل القيمة الزراعية، وتوسيع الخدمات الأساسية وتحسين نوعية حياة الفئات الذين يمثلون غالبية سكان الريف في الوطن العربي. بالإضافة إلى ذلك، فإن التوقعات بالنمو الاقتصادي بواسطة الشباب وزيادة عدد المتعلمين تستلزم حوكمة أفضل، وإدارة مستدامة للموارد الطبيعية، كلّها قضايا تمثل تحديات رئيسية لتحقيق التنمية المستدامة في افق العام 2030.

لذلك حرصت المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم (إدارة العلوم والبحث العلمي)، على المشاركة في الجهود العربية من أجل تحقيق الاستغلال الأمثل لمصادر الطاقات المتجددة، وخاصة في مجال الطاقة

الشمسية، من خلال تعاونها مع الهيئات الوطنية والعربية والإقليمية، في تنفيذ العديد من الأنشطة المتنوعة، والمشروعات في مجال الطاقات المتجددة تمثلت في عقد المؤتمرات المتخصصة، وورش العمل التدريبية، وإعداد الدراسات والحقائب وغيرها.

ومواصلة لبذل جهودها في هذا المجال، قـامت إدارة العلوم والبحث العلمي بالمنظمة بالتعاون مع عدد من الخبراء المتخصصين من المملكة المغربية بإعداد الكتاب الموسوم بـــــــــــ : «دراسات حول كيفية استغلال الطاقات المتجددة في تنمية المجتمعات الريفية والصحراوية وتطويرها». ويتضمّن هذا الكتاب سبع (7) دراسات متخصّصة في مجالات الطاقات المتجددة، وكيفية الاستفادة منها في تنمية المجتمعات الريفية والصحراوية بوطننا العربي؛ لهدف تعزيز تطبيقات الطاقة المتجددة صغيرة السعة في المناطق الريفية والصحراوية في الدول العربية، للاستفادة من تطبيقات الطاقة المتجددة لتلبية احتياجاتها، وإتاحة الفرص لمزيد من المشاريع في القطاعات الإنتاجية، بما يكفل التخفيف من ضغوط الهجرة إلى المناطق الحضرية، ويُساهم في بناء القدرات على التكيّف مع التغيّـرات المناخية.

وتقدّم إدارة العلوم والبحث العلمي جزيل الشكر للخبراء الذين ساهموا في إعداد هذه الدراسات، وتثمّن عاليا الجهود المتميّزة التي بذلها فريق العمل المشرف على المراجعة العلمية والتدقيق اللغوي. كما يُسعدها أن تضع هذا الكتاب بين أيدي قرّائها، وإتاحته في نسختين ورقية وإلكترونية للباحثين والمتخصّصين والمهتمّين للاستفادة منه.

المهندس خلف العقله
القائم بأعمال مدير إدارة العلوم والبحث العلمي

التجفيف الشمسي للمنتجات الفلاحية

إعداد : الأستاذ زجلي إدريس

جامعة ابن طفيل القنيطرة، المملكة المغربية

مقدمة

يستخدم مصطلح التجفيف بشكل شائع لوصف أي عملية يتم من خلالها إزالة الماء من مادة. ويمكن ذلك باستخدام طريقتين:

- الطريقة الحرارية حيث تتم إزالة الرطوبة عن طريق التبخر. وتعتمد كثافة التبخر أولًا على الطاقة المتراكمة في المادة، وبشكل أكثر دقة على كمية الحرارة المورّدة للمواد المجففة لتبخر الرطوبة.

- عملية ميكانيكية لإزالة الرطوبة من دون انتقال الرطوبة إلى حالة البخار. ويكون ذلك، على سبيل المثال، عن طريق الطرد المركزي أو الضغط الميكانيكي. و يركز هذا البحث فقط على عملية التجفيف الحراري. وتتميز هذه السيرورة بنقل للحرارة والكتلة في وقت واحد. و يتم توفير الطاقة اللازمة للتبخر إلى المادة من مصدر حرارة خارجي، ويتم نقل الرطوبة في نفس الوقت إلى الوسط المحيط في شكل بخار.

تتميز المادة المجففة التي يتم الحصول عليها بخصائص فيزيائية وميكانيكية قابلة للتغيير، ناتجة عن الانخفاض التدريجي لمحتوى الرطوبة في المادة. ويمكن أن نرى خصائصها تتغير أثناء عملية التجفيف، من هيكل بلاستيكي إلى لزج مرن ومن هيكل مرن إلى هش/1/.

يعتبر التجفيف وسيلة لحفظ وتثمين الفوائض من زراعة منتوج معين لبيعها في السوق في فترة النقص. ويمكن تجفيف جميع الفواكه تقريبًا، باستثناء الفواكه الحمضية. وعلاوة على الفواكه المجففة تقليديا (التمور والمشمش والعنب ...) يتم تطوير منتجات جديدة مثل البابايا والمانجو.

أما بالنسبة للمنتجات البستانية، فكلها جيدة للتجفيف، باستثناء عدد قليل. فالطماطم والبصل والملفوف والفلفل والفاصوليا الخضراء والبطاطا والفلفل الحار والباذنجان والكوسا تمثل المنتجات المجففة في معظم الأحيان/2/.

يعتبر التجفيف في بعض الحالات مرحلة في معالجة بعض المنتجات، وهو يساهم في تلبية حاجيات العالم القروي من خلال تجفيف المنتجات الزراعية والأسماك ... الموجهة للاستهلاك العائلي، وكذلك حاجيات العالم الصناعي من خلال الصناعات الغذائية والنسيجية وصناعة القرميد، والطوب، والورق...

يمكن أن تكون التقنيات المستخدمة بدائية كما في التجفيف"الطبيعي "الذي يعود إلى فجر الحضارة، أو متطورة كما في بعض المجففات الصناعية/3/.

I. لمحة تاريخية

يعتبر الحفاظ على الأغذية عن طريق التجفيف أحد أقدم تقنيات تحويل المواد الفلاحية المستخدمة من قبل البشر. لقد تطورت لأول مرة في الشرق الأوسط متزامنة مع زراعة الحبوب. ومنذ ذلك الحين، انتشرت هذه العملية في جميع أنحاء العالم . وطريقة الاستعمال هي نشر المحاصيل في الهواء الطلق على الأرض وتعريضها لعمل التجفيف الشمسي/4/ .

وقد جفف أجدادنا الطعام واحتفظوا به لفترة طويلة دون اللجوء إلى استخدام التبريد/5/.

على مر القرون الماضية، تم الحفاظ على الفواكه في منطقة الشرق الأوسط عن طريق لفّها في سعف النخيل المجفف ودفنها في الرمل الساخن لتجف. وفي القطب الشمالي، تم تخزين فائض لحم حصان البحر بتجفيفه في البرد تحت كُدس الحجارة. و من جانبهم، كان الهنود في شمال الولايات المتحدة قد استخدموا دخان النار لتجفيف اللحم والأعشاب والخضار أو السمك بتعريضها للهواء الساخن.

ولسنوات عديدة، جفف هنود البيرو البطاطا حتى كانت مقرمشة بما فيه الكفاية، من خلال عملية بسيطة لتجميد / ذوبان الجليد على التوالي خلال الليل والنهار.

في كل مكان تقريبا في العالم، استخدم الناس أساليب مختلفة لتجفيف الأطعمة للحفاظ على المنتجات الغذائية والاحتفاظ بها من موسم إلى آخر، سواء الحبوب أو اللحوم أو الفواكه أو الأعشاب، وغيرها.

ومع مرور الوقت، تم تحسين التجفيف. وعلى سبيل المثال، جفف الإغريق والرومان بنجاح البازلاء والزبيب. وتعلم الفرس الحفاظ على المشمش والبطيخ. وطور الصينيون واليابانيون فن الحفاظ على الأسماك المعالجة والمأكولات البحرية . وينبغي التنبيه إلى أن السمك هو النوع الأكثر صعوبة في التجفيف، من بين المواد الغذائية، نظرا لسهولة تلوثه بالبكتيريا بسرعة إذا لم يعالج بسرعة.

و بموازاة ذلك، تم علاج لحوم مختلفة مثل الأسماك بملح القديد أو محلول الماء المالح، الأمر الذي يساهم في القضاء على ماء اللحوم/5/.

II. أنواع المجففات الشمسية

II 1.مقدمة

اعتمادا على طريقة استخدام الطاقة الشمسية، هناك ثلاثة أنواع من المجففات الشمسية: المجففات الطبيعية والمجففات المباشرة والمجففات غير المباشرة.

II 2 .المجففات التقليدية أو الطبيعية

يمارس التجفيف التقليدي للفواكه والخضراوات على الأرض وعلى طول الطرق وعلى الحصائر وعلى الصخور المسطحة وعلى أسطح المنازل/2/ .

إنهم يعرضون المنتوج الذي ينبغي تجفيفه مباشرة للشمس والرياح، حيث يتم توزيع المنتوج على الرفوف أو الحصير، في أسرة، أو وضعه على الأرض. ويتم توجيه الأسرة اتجاها عموديا مع اتجاه الرياح السائدة.

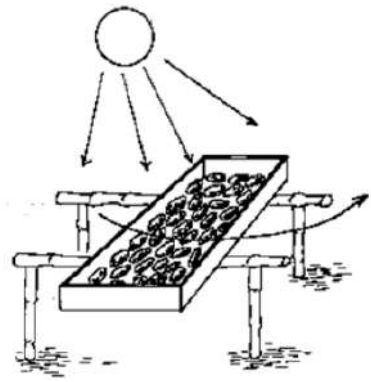
هذه المجففات رخيصة جدا، ولكنها تفترض تدخلا بشريا منتظما ومستمرا: حماية أو جمع المنتوج في حالة المطر، والخلط المتكرر لمنع ارتفاع درجة حرارة الطبقة العليا وتجانس المنتوج للسماح للطبقة السفلية بأن تجف.

يعرف هذا النوع من المجففات جوانب سلبية: ضياع منتجات غير تامة التجفيف أو إهدار خلال التحريك وتدمير الفيتامينات A وC بالتعريض المباشر لأشعة الشمس، والتدهور بسبب الطقس والآفات (الحشرات والفئران، والغبار)/6/ .

إن الخسائر ما بعد الحصاد (أثناء التجفيف ثم التخزين) هائلة، وقد تبلغ، على سبيل المثال، 40 إلى 60٪ في الأسماك و10 إلى 50 ٪ حسب المناطق للحبوب الاستوائية/3/ .

يتم تحسين هذه الأنظمة من خلال بعض العمليات البسيطة والسهلة التنفيذ، والتي هي، في كثير من الحالات، كافية لزيادة جودة المنتجات بشكل ملحوظ:

- الصواني المرفوعة والمثقبة تسهل مرور الهواء، فيكون التجفيف إذن أسرع.
- الرفوف المرفوعة تحسن الجودة، لأنها تحد من التلوث عن طريق الغبار أو الحيوانات.
- وضع ستارة ناموسية على شكل أشرطة للحد من التلوث وللحماية من الحشرات والذباب بشكل خاص.

نوع التجفيف التجفيف الطبيعي أو تحت الشمس **مواصفات** - تكلفة منخفضة للغاية. - مجهود كبير من طرف اليد العاملة. - ضياع المنتوج. **تعليقات** - الفواكه والخضروات موضوعة على رفوف. - مرور الهواء أسهل.	 **الشكل: 1** التجفيف الطبيعي تحت الشمس على طبق مرتفع/2/.

فوائد	عيوب
-تجفيف أسرع مقارنة مع التقنيات التقليدية. -حماية أفضل ضد الغبار والحشرات و الحيوانات ولكن المنتجات تبقى في الهواء الطلق معرضة للذباب. -آلة قابلة للتصنيع من قبل المصنع نفسه. -تكلفة منخفضة جدا للمجفف/2/.	-لا مراقبة للسيرورة. -سرعة التجفيف تعتمد على الظروف الجوية. -التجفيف نادرًا أقل من يوم. خلال الليل، يمكن للمنتوج استعادة الرطوبة من الهواء والتعرض لتكاثر العفن. -تدهور الجودة من جراء التعرض المباشر للشمس: تدمير للفيتامينات أ و س، وذبول، وتلون. -حاجة كبيرة إلى اليد العاملة لإعادة المنتوج وتحريك الصواني/2/.

إن نجاح هذه التقنية يمكن أن يعزى إلى بساطتها وانخفاض تكلفتها . في الظروف المناخية المواتية، فإنها تجعل من الممكن الحصول على منتجات ذات نوعية جيدة. من ناحية أخرى، في المناخات المتغيرة، تكون الخسائر الناتجة عن التدهور كبيرة جدا في بعض الأحيان . في المناخات الرطبة أو الممطرة، يكون انخفاض نسبة الرطوبة أحيانًا متقطعًا وغير منتظم، فتتباطأ سرعة التجفيف؛ وهذا يزيد من خطر الخسائر ويغير جودة المنتوج، إذ إن بعض الأطعمة تكون جافة جدا، في حين أن البعض الآخر يكون فيه محتوى مائي زائد، وذلك حسب موقع الأطعمة في الدفعة. وأما التلوث بالغبار وغزو الحشرات فلا مفر منهما. وقد تكون الطيور والحيوانات

قادرة على استهلاك جزء من الحصاد وتصير بنفسها مصدرا للتلوث. لذا يجب الحرص على تغطية الحصاد في حالة المطر الغزير أو عاصفة الغبار وإبعاد الحيوانات المفترسة في محاولة للحد من الخسائر عند التجفيف تحت الشمس/4/ .

3. II. المجففات الشمسية المباشرة

في المناطق التي يكون فيها المصدر الرئيسي للطاقة هو الإشعاع الشمسي، يمثل التجفيف الشمسي حلا أكثر إرضاء من التجفيف تحت الشمس .من الممكن، بفضل التجفيف الشمسي، الحصول على درجات حرارة أعلى، وبالتالي رطوبة نسبية أقل من التي تكون عند التجفيف تحت الشمس؛ إذن، يكون التجفيف أسرع والمنتوج الذي يتم الحصول عليه يحتوي على ماء أقل. يتم تقليل خطر الفساد خلال نفس المرحلة من التجفيف وأثناء التخزين.

درجات الحرارة الأكثر ارتفاعا المتحصل عليها بهذه الطريقة تمنع تطور الحشرات والميكروبات . يتميز التجفيف في منطقة مغلقة أيضًا بتوفير الحماية ضد المطر والغبار والحشرات والطيور والحيوانات. كل هذه العوامل تجعل من الممكن الحصول على جودة أفضل وتجانس أكثر.

للوهلة الأولى، يبدو أن التجفيف الشمسي هو الحل المثالي للعديد من مشاكل تجفيف الطعام، فالمرافق بسيطة ويمكن إنشاؤها بمواد معظمها محلية/4/.

المجففات المباشرة هي منشآت بسيطة في الاستخدام والإنشاء . إنها توفر إمكانات تصميمية واسعة : من المجفف الصندوق، وهو قابل للنقل وملائم للإنتاجات الصغيرة، إلى المقصورة المجففة التي تسمح بالتعامل مع الكميات الكبيرة، مرورا بالخيمة المجففة الصغيرة.

- مبدأ التشغيل

تضرب أشعة الشمس المنتجات مباشرة . يتكون المجفّف الشمسي المباشر من قطعة واحدة تستخدم كغرفة تجفيف ومجمّع شمسي.

يتم طلاء الجزء السفلي من غرفة التجفيف باللون الأسود لزيادة سعة امتصاص الحرارة. تستخدم ورقة بلاستك من البولي إيثلين الشفاف عادة كسقف ولكن يمكن أيضا استخدام مواد أخرى أكثر تكلفة مثل الزجاج أو البلاستكيات الخاصة (البولي إيثلين الزراعي مقاوم للأشعة فوق البنفسجية) /2/ .

إن أشعة الشمس تضرب مباشرة المنتجات لتجف في هذه المجففات . فهي أجهزة بسيطة وبدائية ذات إطار مزجج، ورفوف يتم تجفيف المنتجات فوقها.

هذا النوع من التجفيف له ميزتان:

-المنتجات محمية بشكل أفضل ضد هجوم الذباب والحشرات الأخرى،

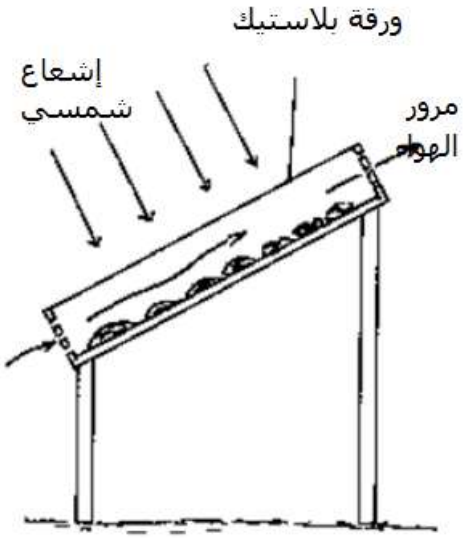
- تخضع لتأثيرات الاحتباس الحراري، مما يؤدي إلى نقص في الإشعاعات المنبعثة من الأرض وزيادة في درجة حرارة المنتوج المراد تجفيفه، وهوما يقلل بشكل كبير من أوقات التجفيف مقارنة بالنظم التقليدية.

من بين عيوب هذا النوع من الأجهزة، يمكن ملاحظة تدمير بعض الفيتامينات والأكسدة الضوئية للمنتوج، وذلك بسبب جزء من الأشعة فوق البنفسجية التي ينقلها الغطاء ومخاطر تجاوز الحد الأقصى لدرجة الحرارة التي يسمح بها المنتوج، والناتجة عن ضعف مرور الهواء، المتكرر في هذه النظم.

لبناء هذه المجففات يجب أن تكون المواد والتقنيات المستخدمة متوافقة مع الهواء الحار والرطب والمنتجات المراد تجفيفها.

هذه الأجهزة مناسبة تمامًا للإنتاج الحرفي، الموزّع والمتنوع. إنتاجيتها منخفضة جدا، من5 إلى 10 كجم من المنتجات الطازجة لكل متر مربع من الرفوف. اعتمادا على الظروف المناخية المحلية والمنتجات التي ستتم معالجتها، تكون مدة تعرض المنتجات للشمس تتراوح بين بضع ساعات وثلاثة إلى أربعة أيام/6/ .

في حالة التجفيف على مستوى عائلي، يوجه الخيار نحو المجففات ذات القدرات الصغيرة، من 0.3 إلى 2 كغ من المنتجات الجافة في كل دورة/2/ .

نوع التجفيف تجفيف شمسي مباشر **مميزات** -بساطة الاشتغال والبناء. -منتوج محمي. -تجفيف سريع. **تعليقات** المجفف الشمسي المباشر يجمع بين اثنين من التأثيرات: -درجة الحرارة التي تزيد تحت تأثير الاحتباس الحراري. -حركة المرور الطبيعية للهواء في المجفف/2/.	 **الشكل2:** التجفيف الشمسي المباشر على الطبق المائل والمرفوع/2/.

فوائد	عيوب
-حماية أفضل ضد الغبار والحشرات والحيوانات والمطر مقارنة بالتجفيف التقليدي. -لا حاجة للعمالة الماهرة. -إمكانات تصميم كبيرة: مجفف صندوق، خيمة، كوخ. -منخفض إلى متوسط التكلفة/2/.	إنتاجية ضعيفة: من 5 إلى 10 كغ من المنتجات الطازجة / م^2 - تدهور الجودة عن طريق التعرض المباشر للشمس: تدمير فيتامين أ و ج، ذبول، تلون. -هشاشة المواد من البولي إيثلين التي يجب تغييرها بانتظام. -ارتفاع درجة الحرارة نسبيا في المجفف التي مما يساهم مع التعرض لأشعة الشمس في تدمير المواد المغذية. -انخفاض دوران الهواء الذي يحد من سرعة التجفيف ويزيد من مخاطر التعفنات/2/.

II . 4 المجففات الشمسية غير المباشرة

غالبًا ما يكون هذا النوع من الأجهزة أكثر تعقيدًا وأكثر تكلفة في الإنشاء من المجفف المباشر، ولكنه أكثر كفاءة، ويتمتع بميزة الحفاظ على خصائص الطعام بشكل أفضل في لونه ومظهره وقيمته الغذائية . فهو إذن مناسب خاصة لتجفيف المواد الغذائية.

ومع ذلك، فإنه يفرض تعقيدا أكبر في التصميم والبناء والقيادة.

حتما، تكلفة الجهاز أكثر. يجب على المنتجات المجففة بهذا الجهاز أن تباع بسعر أعلى لتغطية هذه التكاليف/2/ .

يمكن تصنيعه بمقاييس مختلفة ويستخدم بشكل أساسي من أجل المنتجات الحساسة جدا للإشعاع الشمسي أو التي يجب التحكم في مستوى درجة حرارتها.

مدة التجفيف متغيرة جدا ويمكن أن تكون أكبر من التجفيف الطبيعي.

أثناء التجفيف، غالبا ما يكون من الضروري عمل دوران أو أكثر للرفوف لأنه، في العديد من النماذج، تجف المنتجات الموضوعة في الجزء العلوي من المجفف بسرعة أقل من تلك الموجودة في الأسفل/6/ .

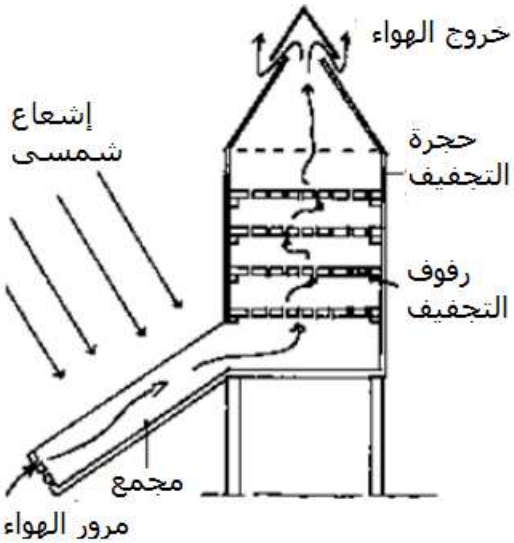
مبدأ التشغيل

لا يتم تعريض المنتجات المراد تجفيفها مباشرة إلى أشعة الشمس بل يتم ترتيبها على رفوف داخل حجرة.

ويقع إدخال الهواء النقي في حجرة التجفيف بعد المرور عبر سخان شمسي للهواء.

يمكن إنتاج حركة الهواء بشكل ميكانيكي (مروحة) ولكن غالبا ما يكون من الممكن استخدام السحب الطبيعي مع مدخنة شمسية إذا اقتضى الأمر/6/ .

يتكون المجفف الشمسي غير المباشر من جزأين :السخان الشمسي للهواء الذي يحول أشعة الشمس إلى حرارة، وغرفة التجفيف حيث يودع المنتوج إلى أن يجفف. يدخل الهواء في السخان الشمسي للهواء، فتزداد درجة حرارته. يرتفع الهواء الدافئ عن طريق الحمل الحراري الطبيعي إلى حجرة التجفيف. وتكون مدة التجفيف متغيرة جدا وفقًا للظروف المناخية وتهوية المجفف/2/ .

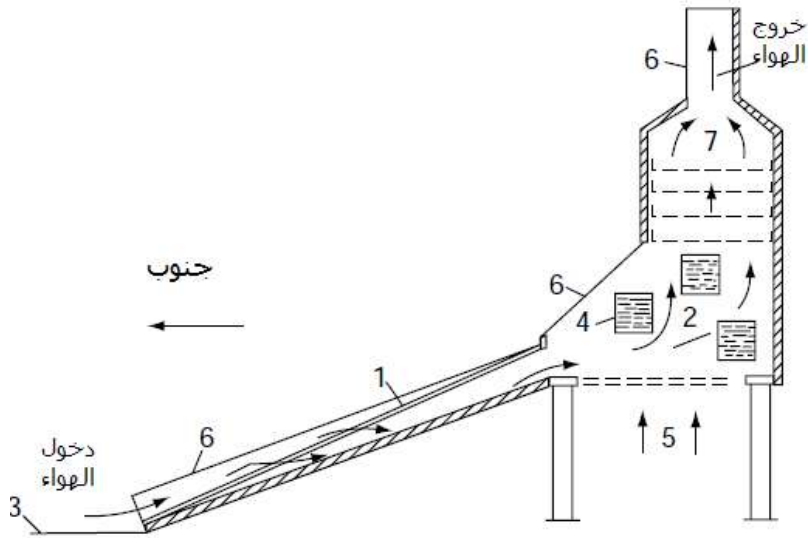
نوع التجفيف التجفيف الشمسي غير المباشر **مواصفات** -منتوج محمي تماما. -الحفاظ على جودة الأغذية. -التجفيف السريع بالسرعة الكافية. -التكلفة والتعقيد أكثر أهمية. **تعليقات** -يتم تسخين الهواء في السخان الشمسي للهواء من خلال الأشعة الشمسية. -الهواء الساخن يصعد إلى حجرة التجفيف حيث يجف المنتوج على رفوف/2/.	 **الشكل : 3** المجفف خزانة/2/.

إيجابيات	سلبيات
لا يتعرض المنتوج مباشرة لأشعة الشمس .إنه يحتفظ أفضل بلونه وقيمته الغذائية (ولا سيما فيتامينات A و/2/. (C.	-تكلفة عالية. -سرعة التجفيف متغيرة للغاية حسب الظروف المناخية وتصميم المجفف. -هشاشة المواد البلاستيكية التي يجب تغييرها بانتظام. -التصميم والإنشاء يتطلبان شخصًا مؤهلا. تدريب ضروري للمستخدمين/2/ .

II 5 مجففات ذات تخزين للحرارة

قد تم تطوير مجففات من أ نواع ذات تراكم للحرارة من أجل تمديد سيرورة التجفيف إلى فترات بدون إشعاع . رسم تخطيطي يظهر هذا النوع من المجفف في الشكل (4) . يمر الهواء عبر السخان الشمسي للهواء "1"إلى مساحة التخزين "2 ". يتم وضع لوحة الانعكاس " 3 " بالقرب من الهواء الداخل إلى السخان الشمسي للهواء، مما يساهم في ارتفاع قليل لدرجة حرارة هذا الهواء. تستخدم الحاويات المملوءة بالماء " 4 " لتخزين الحرارة . جدران تخزين الحرارة

معزولة عن طريق الألواح العاكسة التي يمكن طيها بعد غروب الشمس .أثناء الليل، يمكن إدخال الهواء الخارجي إلى مساحة تخزين الحرارة من خلال فتحات "5" في الجزء السفلي من فضاء تخزين الحرارة . يتم تغطية الجدران الأمامية والجانبية لمساحة تخزين الحرارة بصفيحة شفافة، مثل الجدار الجانبي الجنوبي للمدخنة "6 ". الجدار الخلفي واللوحة السفلية ومساحة التجفيف معزولة بشكل جيد . في مساحة التجفيف"7 " ، ينتشر المنتوج المراد تجفيفه على صواني ذات قاع مثقب /7/ .



الشكل :4 خزان نوع المجفف الشمسي ومدخنة مع تراكم الحرارة/7/

III المنهجية التي ينبغي اتباعها لإجراء عملية التجفيف بالطاقة الشمسية كما ينبغي

لأخذ قرار إنشاء مجفف شمسي أو أكثر في مكان معين، يجب على المرء أن يهتم بالنقاط التالية.

تحديد قيود المنتوج

من الضروري أولا تحديد خصائص المنتوج من أجل قياس نطاق البرنامج الذي سيتم تنفيذه، وبصورة أدق حجم المجففات، وثانيا تحديد طرق التجفيف.

لا يمكن الشروع في البناء الجدي للمجففات الشمسية دون معرفة دقيقة للمعطيات التالية:

1- طبيعة المنتوج (الفواكه، الأسماك، الحبوب،...) التي تحدد شكل المجفف من خلال فرض شروط للتجفيف،

2- الكمية التي يتم حصادها وخاصة الجزء الذي ينبغي تجفيفه يوميا والذي يحدد حجم عملية المجفف،

3- وقت الحصاد لأنه من الطبيعي أن لا يتطابق مع موسم الأمطار،

4- الوقت الذي يمكن فيه تخزين المنتوج دون فساده بين الحصاد وبداية التجفيف أو تجفيفه في يوم الحصاد.

5- التحضير : غسل، نزع القشرة، تجريد أو إماطة الغلاف،تقشير، تقطيع،...

6- العلاجات المسبقة: الكبرتة، التبييض، تمريغ في المحاليل الكاوية،...

7- درجة التجفيف المطلوب، حجم المجفف هو أيضا يعتمد على كمية المياه التي سيتم تبخرها. وكلما كانت هذه الكمية أكبر، كان التجفيف أطول.

8- درجات الحرارة المطلوبة لأداء التجفيف.لا غنى عن معرفتها لسببين، أولا لاختيار طريقة التقاط الإشعاع الشمسي، وثانيا للسيطرة على سلوك التجفيف.

ويجب التذكير أنه إذا كان ينبغي ألا تتجاوز درجة حرارة التجفيف 70 درجة مئوية، فإن هذه العتبة تنطبق أيضًا على غالبية المنتجات كما يظهر في الجدول1.

وكذلك يجب احترام هذه القيم الحاسمة من أجل أن يحقق التجفيف هدفه المتمثل في الحفاظ على المنتوج والحفاظ على صفاته الغذائية . بالفعل، فإن الخضوع لدرجات حرارة عالية للغاية، يجعل الثمار، على سبيل المثال، تخرج عصيرا حلوا (يسمى اللعق) ، والحبوب تتصدع، وتفقد قوتها المولدة . وعلى العكس، فإن درجات الحرارة المنخفضة جدا لا تكبح فساد المنتوج. تختلف درجة الحرارة الحرجة هذه، في بعض الأحيان، بالنسبة لمنتجات معينة وفقًا للاستخدام الذي يرغب المرء في استعمالها من أجله. وبالتالي، بالنسبة للحبوب المعدة للعلف الحيواني، فإنه يمكن لدرجة الحرارة أن تصل إلى 74 درجة مئوية، ولكن يتم تخفيضها إلى57 درجة مئوية إذا كانت مخصصة للبشر وحتى إلى 43 درجة مئوية إذا كانت بذورا.

كمؤشر، يعطي الجدول 1 عددًا من المنتجات وقيم الرطوبة الأولية والرطوبة النهائية ودرجة حرارة التجفيف القصوى.

ثم علينا الانتقال إلى الخطوة التالية، والتي تتضمن معرفة الموقع.

الجدول1

المنتجات	الرطوبة الأولية (٪) على أساس رطب	الرطوبة النهائية (٪) على أساس رطب	أقصى درجة حرارة(درجة مئوية)	المعالجة
1- أرز غير مقشور، خام	24 - 22	11	50	
2- أرز غير مقشور، نصف مطبوخ	35 - 30	13	50	نصف الطهي
3- الذرة	35	15	80 - 60	
4- القمح	20	16	45	
5- الدخن	21	14		
6- الفول		15		تبييض
7- البازلاء الخضراء	80	5	65	قطع
8- القرنبيط	80	6	65	قطع تبييض
9- الجزر	70	5	75	تبييض قطع
10- حبوب الفاصوليا				تنحيف، تبييض
11- البصل والثوم	70	5	75	أجزاء
12- براعم	80	4	55	أجزاء
13- بطاطا حلوة	80	4	55	
14- البطاطس				
15- خضروات ذات أوراق	75	7	75	
(السبانخ، أوراق الكسافا، إلخ)	75	13	65	
16- الفلفل	80	10		أجزاء
17- الكسافا			77	معالجة بالكبريت
18- الخوخ	62	5		قطع
19- التفاح		17	70	قطع ومعالجة
20- المشمش والخوخ		25	55	بالكبريت
21- العنب	85	24		معالجة بالكبريت
22- الموز		18	70	القسم الطولي
23- الجوافة		20 - 15		قطع، حلج
24- التين	80		70	معالجة
25- الشاي		15	65	بالكبريت
26- القهوة		7	50 - 45	
27- حبوب الكاكاو	52 - 50	24	70 - 65	تقشير
28- القطن		11	36	تخمير
29- بذور القطن	50	8 - 7		
		9		
		8	55	

30- كوبرا	30	5	90	قطع،
31- فول سوداني	40	9	90	
32- التوابل	70 - 68		50 - 45	
33- الكاجو		12 - 10	80	
34- الحوت				
35- شرنقة دودة القز				

البحث عن ميزات الموقع

العوامل المناخية

دراسة جدوى التجفيف الشمسي في مكان معين تمر بالضرورة من دراسة مكمن الطاقة الشمسية . من المرغوب فيه خمس ساعات من أشعة الشمس على الأقل في اليوم . لكن هناك عوامل أخرى مهمة يجب أخذها بعين الاعتبار، خاصة في البلدان الحارة الرطبة.

يجب أن تكون قيم المعطيات المميزة للموقع (درجة حرارة الهواء والرطوبة واتجاه الرياح وقوتها وتواترها وكثافتها وشدة ومدة الإشعاع) مرتبطة بطبيعة الحال بأشهر الحصاد.

البيانات المتعلقة بالحرارة والإشعاع الشمسي والرطوبة النسبية والأمطار والرياح يتم تسجيلها نظريا في محطات الأرصاد الجوية.

والهدف هو تحديد إلى أي مدى تسمح العوامل المناخية المذكورة أعلاه، أو تحد أو تحظر استخدام المجففات الشمسية.

من الضروري أن نأخذ بعين الاعتبار مدة إشعاع الشمس وقيمة شدة الإشعاع، بصفة عامة، ولكن نسبة الإشعاع المنتشر في الإشعاع العام ضرورية أيضا.

تفرض درجات الحرارة العالية للغاية في الهواء الطلق، خاصة في المناطق القاحلة، اتخاذ احتياطات لمنع درجة حرارة الهواء الجاف من تجاوز القيمة المسموح بها لكل منتوج .على وجه الخصوص، يجب التأكد من أن التهوية جيدة وتجنّب أن يركد الهواء في الغرفة في المجففات الدفيئة حيث يتم امتصاص الإشعاع مباشرة من قبل المنتوج.

في الحالة التي تكون فيها الرطوبة النسبية للهواء عالية، يكون تبخير ماء المنتوج محدودا والحمولة المائية النهائية ليست منخفضة بما يكفي لضمان الحفاظ على المنتوج. وبالتالي فإن الرطوبة النسبية للهواء هي معيار لا ينبغي إهماله، خاصة في المناطق ذات المناخ المداري الرطب حيث غالباً ما تتجاوز 60 ٪.

إذا كانت الرياح لا تمنع تركيب المجففات الشمسية، فمن المفيد معرفة سرعتها واتجاهها وكذلك التغيرات اليومية والشهرية والسنوية للأسباب التالية:

- يمكن أن تقلل الرياح من حرارة السخان الشمسي للهواء أو حرارة حجرة التجفيف، خاصة عندما تتجاوز سرعتها 2 م / ث، تنخفض كفاءة السخان الشمسي للهواء كثيرًا،

- يجب دراسة اتجاه المجفف وموقع مجاري الهواء الداخلية فيما يتعلق بالرياح السائدة،

- يجب أن يتم بناء المجفف ليتحمل أكبر قدر من قوة الرياح.

من الواضح أنه يجب على مانع التسرب لمختلف مكونات المجففات أن يكون أكثر أمانا لأن الأمطار متكررة ومكثفة . وعلاوة على ذلك، إذا كانت فترة الحصاد تتزامن مع فترة هطول الأمطار، كما هو الحال، على سبيل المثال، بالنسبة للفول السوداني في الهند، والكاكاو في كوت ديفوار.، قد لا يكون التجفيف الشمسي الحل الأفضل.

ميزات أخرى للموقع

من الضروري التأكد من أن الموقع يحتوي على تجهيزات ملائمة معينة عن طريق طرح الأسئلة التالية على سبيل المثال:

- ما هي المساحة المتاحة ؟

- هل توجد كهرباء؟؟ هل تموينها مؤتمن؟ ما هو السعر لكل كيلو واط ساعة؟ في حالة عدم توفر الكهرباء، ما هي تكلفة توفيرها؟

تعتمد الإجابة على هذه الأسئلة جزئيًا على نوع المجفف المراد بناؤه . إذا كان الموقع مزودًا بالكهرباء، فيمكن استخدام المراوح، على سبيل المثال، بالإضافة إلى التدفئة الإضافية.

-هل هناك نفايات من الصناعات الغذائية الزراعية، لتشغيل سخان لتزويد تدفئة إضافية ؟

- هل المياه متوفرة؟ فاستخدامها ضروري من أجل المعالجة المسبقة لمنتجات معينة.

- مواد البناء الضرورية (الخشب، الزجاج، الزجاج الشفاف، البولي فينيل كلوريد، الصوف الزجاجي ...) هل هي متوفرة محلياً ؟ أين يمكن أن نجد البدائل المحلية ؟ من الضروري في هذه الحالة، في بعض الأحيان أن تكون البدائل مُبدَعة.

- ما هي وسيلة التخزين، وقدرتها، وموقعها ؟

- أين يتم تسويق المنتجات المجففة، كم يبعد السوق عن مكان التجفيف؟

- ما هي تسهيلات النقل ؟

العوامل البشرية

أ / لقد نظرنا حتى الآن فقط في العوامل المادية التي قد تمضي قدما بتركيب مجففات أو إعاقتها. لكن العوامل البشرية مهمة أيضًا، فهي تتحكم في نجاح مشروع المجفف . من الضروري أن توجد في عين المكان يد عاملة مختصة قادرة على تشغيل الجهاز، لمواجهة أي مشكلة والشروع في الإصلاحات عند أدنى عطب، وإلا توقفت عملية التجفيف الجارية . يجب تدريب هذه القوى العاملة لتوفير الصيانة.

ب / ومن المفيد للمسؤولين على التجفيف أن يعرفوا:

- أنه لا يمكن أن يكون تصميم المجفف الشمسي الفعال مرتجلا ولكن يجب أن يستند إلى أساس علمي وإلا فإنه سيعمل بشكل سيئ،

- أنه يمكن أن نصنع مجففات ذات تعرض مباشر، بسيطة وبدائية، من المواد المتوفرة محليّا لمعالجة كميات صغيرة من المنتجات بمشاركة العمال المحليين : الحرفيين والحدادين.

- يمكن إنشاء المجففات الشمسية على مواقع الإنتاج الفعلية، وبالتالي تجنب النقل غير الضروري للمياه وبالتالي تقليل الحجم المطلوب نقله . وبذلك يتم تبسيط المشاكل التي يفرضها النقل غالبا (سعره، وجوده.)

هذه هي بعض مزايا التجفيف الشمسي، خاصة بالنسبة للبلدان النامية، حيث يمكن أن تؤدي، إلى جانب ذلك، إلى تصنيع داخلي صغير(بناء المجففات) و خلق فرص عمل، وخفض الاعتماد الاقتصادي على البلدان الصناعية حتى لو تم شراء بعض المكونات في أوروبا، وبالتالي سيزيد مستوى المعيشة.

على العكس، من المهم أن يعرف المهندسون والمصنعون المعايير الاجتماعية والثقافية للوسط الذي سيتم فيه إنشاء المجففات لحشد القدرات كما ينبغي. يجب أن يتم تبادل المعلومة بين الخبراء في التجفيف الشمسي والمستعملين حتى ينشأ تعاون يشارك فيه الطرفان.

من جهة أخرى، من المفيد كذلك الاطلاع على الجودة المطلوبة خصوصا إذا كان المنتوج مصّدرا.

بعد جمع هذه المعلومات، ينبغي إذن الشروع في إنجاز المجفف كما ينبغي.

إنشاء المجفف

-اختيار نوع المجفف الأكثر ملاءمة للعملية المتوخاة /3/.

قائمة المراجع

1 S . J. Kowalski. Thermomechanics of Drying Processes. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003.

2 Ph . Dudez. Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes. Edit ions du GRE T. Institut de l'Energie et de l'Environnement de la Francophonie.

3 M . Daguenet. Les séchoirs solaires : Théorie et pratique. UNESCO, 1985.

4 CI Speirs. Le séchage solaire Méthodes pratiques de conservation des aliments. Organisation internationale du Travail 1989.

5 J. del Real-Olvera. Introductory Chapter: Principles of Sustainable Drying. In: Jorge del Real Olvera. Sustainable Drying Technologies. ExLi4EvA, 2016 .

6 « le séchage solaire des produits alimentaires ». Dossier N°8 du GRET-GERES /

7 A . S. Mujumdar. Handbook of Industrial Drying. Third Edition. CRC, 2006 .

التبريد وتكييف الهواء بالطاقة الشمسية

إعداد : الأستاذ بنشريفة رشيد

جامعة محمد الخامس الرباط، المملكة المغربية

مقدمة

أدى ارتفاع درجات الحرارة في الصيف وزيادة الطلب على الراحة في المساكن خلال السنوات الأخيرة إلى تطوير قوي لتكنلوجيات التبريد وتكييف الهواء في المباني. ونتج عن هذا التطور ارتفاع حاد في استهلاك الكهرباء، حيث يقترب توليد الكهرباء ونظام نقل الكهرباء أحيانًا من حدود السعة. وفي المقابل هناك الطاقة الشمسية، التي هي نظيفة وفي المتناول.تتميز أنظمة التبريد وتكييف الهواء بالطاقة الشمسية بالاستجابة لشروط بيئية سليمة، ويمكن أن يصل استهلاك الكهرباء إلى 20 مرة أقل من استهلاك النظام التقليدي. كما أن المبردات المستخدمة غير ضارة بالصحة، لأنها عبارة عن مياه ومحاليل ملحية، كما يتم التخلص من الإزعاج الصوتي والاهتزازات الناتجة عن الضاغط الميكانيكي، وبالتالي فإن هذه التكنلوجيات البديلة تتطلب صيانة محدودة ولها عمر طويل. ولكن على العموم في المناطق ذات المناخات الحارة، يمكن تقليل الطلب على التدفئة والتبريد في المنازل بشكل كبير باستعمال موادالعزل الحراري الجيدة، والزجاج المزدوج، واستخدام الكتلة الحرارية والتهوية، ويبقى التبريد الشمسي مكملا لهذه التدابير.

التبريد وتكييف الهواءبالحرارة الشمسية

الأشعة الشمسية هي أحد المصادر الطاقية لإنتاج الهواء البارد. ونظرا للتأثير السلبي لتكنولوجيات التبريدولمكيفات الهواء التقليدية على البيئة، فقد وجب الاهتمام بهذا الإشكال والبحث عن البديل،خاصة وأن هناك تزامنامثاليا بين طلب التبريد والتكييف من جهة وتواجد وفيرللإشعاع الشمسي من جهة أخرى مما يرشح التقنية الشمسية لعديد من التطبيقات. فالمبدأ الأساسي لعملية التبريد بسيط،إذ نحتاج للحرارةللتبريد. لذلك نجد دائما وراء الثلاجة أو مكيف الهواء مضخة حرارية عكسية،تؤمن عملية التبادل الحراري، وتقوم بالتبريد باستعمال سائل مُبرِّد مضغوط.

مضخة الحرارة هي عبارة عن جهاز حراري ديناميكي يقوم بنقل الحرارة من بيئة جد باردة إلى بيئة جد ساخنة، ويحصل بالتالي زيادة تبريد الوسط الأول وتسخين أكثر للثاني. في حين أن الحرارة تنتشر بشكل طبيعي من الوسط الساخن إلى البارد ويستمر الانتشار الحراري حتى تتساوى درجات الحرارة. في حالة مضخة الحرارة، تسمى دورة التبريد الدورة الديناميكية الحرارية. الثلاجات ومكيفات الهواء التقليدية، هي أمثلة جيدة لمضخات الحرارة. لشرح نظاممضخة الحرارة، نحدد أولاً مصدرين: المصدر البارد، الذي تُستخلص منه الحرارة، والمصدر الساخن الذي يتم تسخينه. عملية نقل الحرارة تتم عن طريق الاتصال المباشر أوالحمل

الحراري، أي عن طريق تبادل المادة بينالغاز والسوائل. في حالة مضخة الحرارة، يتم تحرير الطاقة الحرارية من خلال تغيير حالة المبرد (سائل أو غاز) ويُجبر على الدوران داخل دائرة التبريد. لذا فإن مضخة الحرارة ضرورية للتبريد، سواء للتخزين (الثلاجة، الفريزر) أو للراحة (تكييف الهواء).

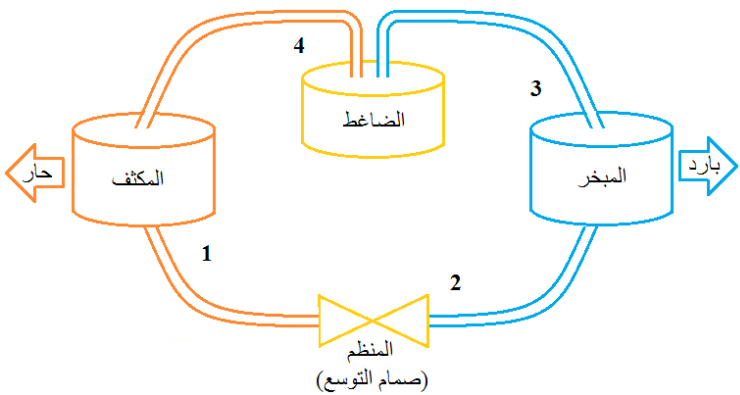
يتم تقييم أداء مضخة الحرارة بواسطة معامل الأداء، ويمثل النسبة بين كمية الطاقة المنقولة بواسطة مضخة الحرارة والطاقة المستهلكة لتحقيق هذا النقل. فمثلا مضخة الحرارة التي تنتج 3 كيلووات ساعة من الحرارة لاستهلاك 1 كيلوواط ساعة من الكهرباء لديهامعامل الأداء يساوي 3. وكلما زادمعامل الأداء، كان اشتغال مضخة الحرارة أفضل.وتتم العملية على أربع مراحل:

•المرحلة الأولى : ينقل غاز التبريد تحت الضغط حرارته إلى السائل الثانوي (الهواء أو الماء) عن طريق المرور من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة في المكثف (المصدر الساخن).

•المرحلة الثانية : تفقد مادة التبريد التي هي الآن في الحالة السائلة الضغط في المرخاة أي مخفض الضغط.

•المرحلة الثالثة : تؤخذ الحرارة من السائل الثانوي (الهواء والماء) لتبخير المُبرد في المبخر (المصدر البارد).

•المرحلة الرابعة : ينتقل المبرد الى الحالة الغازية مع ارتفاع الضغط والحرارة في الضاغط، ويستعمل في هذه المرحلة محرك كهربائي.

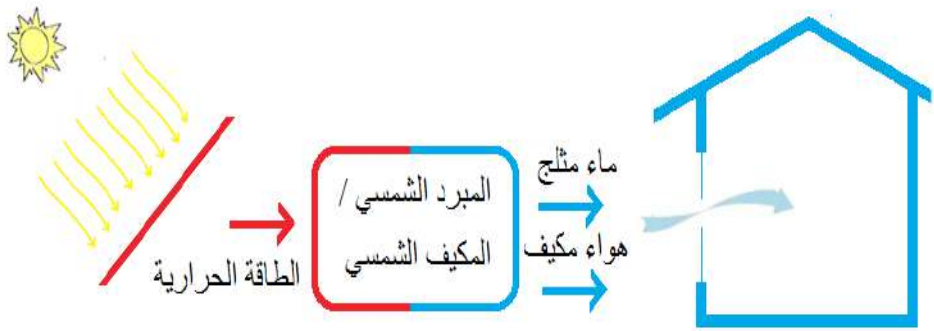


الشكل 1 : رسم تخطيطي لمضخة الحرارة

عندما تتكون مضخة الحرارة من دائرة واحدة، تسمى مضخة الحرارة للتوسع المباشرفي حالة التبريد في ثلاجة،تمر مادة التبريد إلى شبكة (المكثف) في الجزء الخلفي من الجهاز الملامس

لهواء المحيط، ثم في (المبخر) داخل الثلاجة لالتقاط حرارة الطعام، وبالتالي تبريدها. أما في حالة التكييف،فتمر مادة التبريد إلى مكثف خارج المبنى ملامس لهواء المحيط، ثم ينتقل إلى مبخر يتم من خلاله تدوير الهواء بواسطة مروحة داخل الغرفة المراد تبريدها.

إن الفائدة الرئيسية منتبريد أو تكييف الهواء هو القدرة على توفير برودة أكثر عندما يكون الوسط ساخنا، ويتوافق عموما الطلب على التكييف مع الفترات التي تكون فيها الشمس أكثر إشعاعا. استخدام الطاقة الشمسية للتبريد هو مفهوم جد مطلوب، لأن الحاجة للهواء البارد تتزامن في معظم الوقت مع توافر الإشعاع الشمسي. وتتمثل التقنية المستخدمة في التكييف الشمسي للهواء في تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية عن طريق التجميع، يتم بعدها توجيه الحرارة الناتجة إلى آلة يتم فصلها عن طريق الغليان مثل محلول ماء وبروميد الليثيوم. بعد التبريد،تنتج عملية إعادة تجميع للمكونين للبرودة. ويتم توزيع البرودة من خلال شبكة مياه جليدية يمكنها تغذية وحدة تهوية.بشكل عامتتكون محطات الطاقة الشمسية للتبريد كما يقدمه الشكل 2من العناصر التالية: حقل تجميع الطاقة الشمسية ودائرته الأساسية، مبادل ودائرة ثانوية تغذي الجهاز البارد، آلة امتصاص أو امتزاز أو نظام عن طريق التجفيف.



الشكل 2 : مخطط لشكل عام لمبرد ولمكيف هواء شمسي

المبادئ العامة للتبريد وتكييف الهواء

يُنتج مكيف الهواء التقليدي برودة عن طريق ضغط سائل يسمى «المبرد» الذي يمتلك القدرة على امتصاص كمية كبيرة من الحرارة عندما يتحول من سائل إلى غاز عند مستوى المبخر. ولهذا يستهلك مكيف الهواء الكهرباء لتشغيل الضاغط. وبالتالي فإن تأثيرات استهلاك الكهرباء جد سلبية على البيئة،ولذلك يهدف استخدام الطاقة الشمسية لهذه المرافق إلى الحد من هذه التأثيرات.

في حالة التكييف الشمسي للهواء، يتم استخدام النظام الشمسي بواسطة آلات التبريد أو المعالجة بالهواء لإنتاج طاقة التبريد لضمان تبريد المباني. عندما يعمل الجهاز بالطاقة الشمسية فقط، فإن النظام يحصل فقط على تخفيض في درجة حرارة الهواء في الغرفة ببضع درجات مقارنة بالهواء الخارجي، على العكس من ذلك، فإن الجهاز الذي يجمع بين الأنظمة الشمسية والنظم المساعدة يجعل من الممكن الحفاظ على بيئة حرارية ورطوبة ثابتة في المبنىمهما كانت الظروف الخارجية.

كيفية استخدام الطاقة الشمسية للتبريد وتكييف الهواء

هنالك ثلاث طرق: الأولى استخدام الطاقة الحرارية الشمسية وتحويلها إلى طاقة ميكانيكية إلى جانب مكيف الهواء المضغوط. والطريقة الثانية استخدام الطاقة الشمسية الحرارية لتشغيل آلة التبريد وتسمى اشتراب (امتصاص أو امتزاز)، والثالثة باستخدام الطاقة الحرارية الشمسية لتشغيل نظام تكييف الهواء التبخيري (أي نظام التبريد عن طريق التجفيف). ويحظى حاليا المساران الأخيران باهتمام متزايد لأنهما الأكثر نجاحًا.

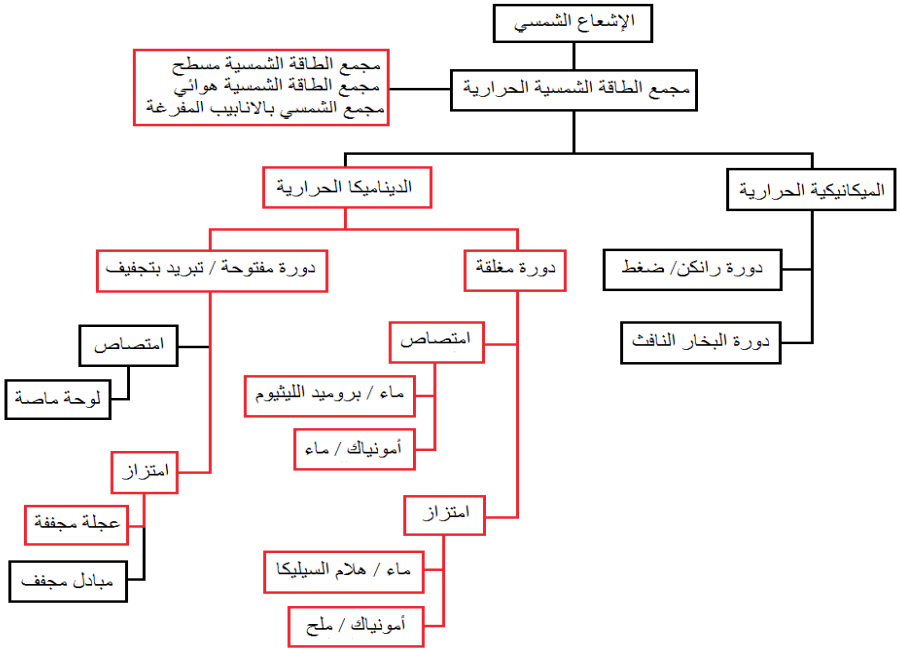
مزايا التبريد وتكييف الهواء بالطاقة الشمسية

تعتبر أنظمة التبريد بالطاقة الشمسية بديلا واعدا لأنظمة التبريد التقليدية لضغط البخار:

1. يمكن أن ينخفض استهلاك الكهرباء عموما إلى 20 مرة أقل من نظام الضغط التقليدي،
2. لا يوجد تأثير على البيئة باستعمالالمياه، أو محاليل الأمونيا و/ أو الملح كمبردات،
3. مستوى ضجيج منخفض لغياب أي محرك ميكانيكي،
4. تتزامن الحاجة للتبريد في معظم الوقت مع توفر الإشعاع الشمسي.

ومن الوجهة النظرية، هناك العديد من الطرق للتبريد وتكييف الهواءباستخدام الطاقة الشمسية.

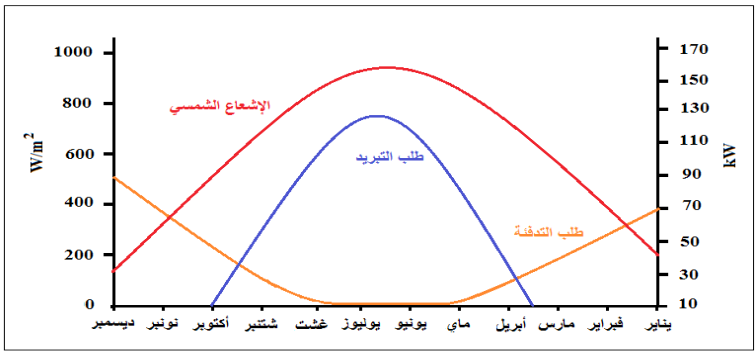
يقدم الشكل 3 جميع التقنيات المستخدمة.



الشكل 3 : ترتيب التقنيات المختلفة للتبريد والتكييف باستعمال الطاقة الشمسية

تكييف الهواء بالطاقة الشمسية بالمباني

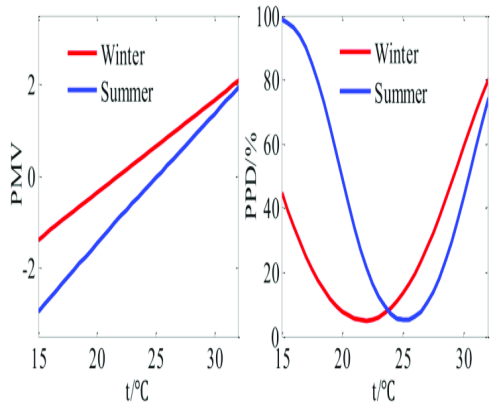
واحدة من الخصائص المثيرة جدا للاهتمام و من المزايا الرئيسية لتكييف الهواء الشمسي هي التزامن بين الحاجة للتبريد ولتكييف الهواء والوفرة الشمسية وخاصة في فصل الصيف. وكما يتبين من المنحنى التقريبي (الشكل 4)، فإن التطابق السنوي وكذلك اليومي يكاد يكون مثاليا.



الشكل 4 التزامن بين الطلب ومصدر الطاقة الشمسية

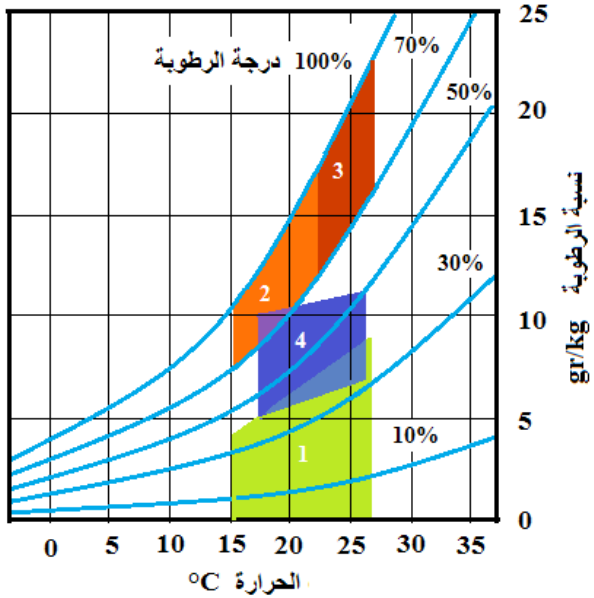
بما أن درجة حرارة الجسم أعلى من درجة حرارة البيئة، فيجب تحقيق توازن حراري لضمان راحة الإنسان، طبيعيا يملك هذا الأخير آليات تتحكم في توازن حرارة الجسم مع الظروف الحرارية للبيئة لتحقيق الراحة الحرارية. وعموما يشعر الفرد بالارتياح إذا لم يتم التبادل الحراري بسرعة أو ببطء شديد. وعموما الشعور بالراحة أو بعدم الراحة يعتمد على درجة حرارة الهواء المحيط.

يتم تقييم الراحة الحرارية بشكل عام باستخدام المعلومات السابقة لتحديد مناطق الراحة القياسية. يقدم الشكل 5 مثالا على النسبة المئوية المتوقعة من عدم الرضا (predicted percentage dissatisfied) وفقا لدرجة حرارة الهواء ونشاط الفرد.تتوافق أدنى نقطة في كل منحنى مع درجة الحرارة التي، بناءً على النشاط،تمثل حدا أدنى من عدم الرضا، ومن ثم درجة الحرارة المطلوبةللحصول على حالة الراحة الحرارية.ويوصى بأن تكون النسبة المئوية المتوقعة من عدم الرضا أقل من 10٪.



الشكل 5: تطور النسبة المئوية المتوقعة من عدم الرضا مع درجة الحرارة

يقدم الشكل 6 نسبة الرطوبة والحرارة. ويستخدم هذا الرسم أساسا في تصميم مكيفات الهواء ووحدات معالجة الهواء.ووفقا لهذا الشكل يجب اجتناب المنطقة 1 لتفادي مشاكل الجفاف، واجتنابالمنطقة 2 و 3 حيث تتطور البكتيريا والفطريات الدقيقة، فيما تمثل المنطقة 4 منطقةالراحة.



الشكل 6 : تطور نسبة الرطوبة في الهواء مع درجة الحرارة

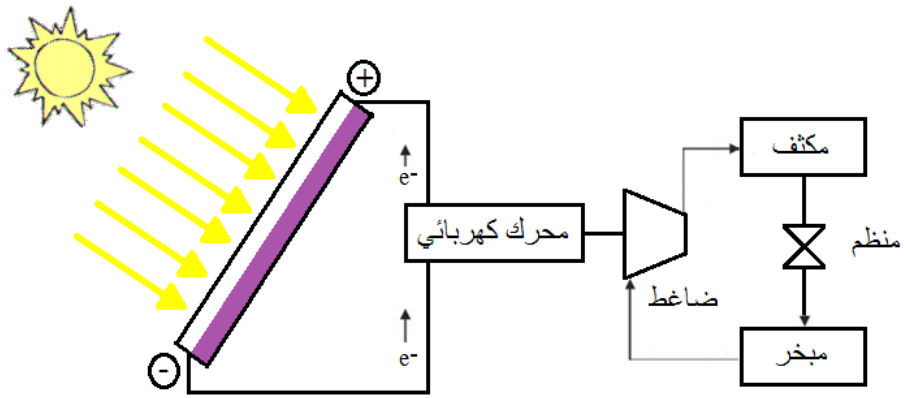
هندسة المباني ذات المناخ الحيوي

أصبحت تقنيات التحكم في درجة الحرارة السلبية غير مستعملة إلى حد كبير في المباني، وأخطاء التصميم في المباني غالبا ما تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة غير مريحة بالنسبة للساكنة. ومن الحلول الأكثر شيوعا التعويض عن أخطاء التصميم باعتماد وسائلالتكييف التقليدي للهواء. والحل الصائب هو جعل المبنى فعالا بهندسته وموقعه وتوجيهه بالنسبة لمسار الشمس قبل البحث عن أساليب لتبريده. وإذا كان التكييف ضروريا بعد اتخاذ مختلف التدابير لتعزيز التبريد السلبي، فيمكننا عند ذلكاعتماد آلية تكييف الهواء باستعمال الطاقة الشمسية. توجد العديد من تقنيات التحكم في درجة الحرارة السلبية، منها تصميم المبنى بهدف تقليل مكاسب الحرارة الداخلية والخارجية وتحسين اتجاه المبنى والنوافذ والحماية الشمسية للمبنى والعزل الجيد والتهوية. عندما تكون درجات الحرارة خارج المبنى أعلى من الداخل، يصبح التخلص من الحرارة الداخلية أمرًا صعبًا بدون تكييف الهواء، وباهظ التكلفة بالتكييف. ولذلك يجب استخدام معدات موفرة للطاقة، كتحديد اتجاه المبنى عند البناء والأسطح الزجاجية واستعمال مواد عازلة للحرارة.

تقنيات للتبريد/ التكييف معتمدة على الطاقة الشمسية

- تقنية مبنية على عملية كهربائية

يمكن أن تعتمدالتقنيات الشمسية التقليدية للتبريد على استخدام الكهرباء. وفي هذه الحالة، يتم تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء باستعمال الألواح الكهروضوئية، ويتم استخدامها في أنظمة الضغط التقليدية للتبريد (الشكل 7). يُعتبر النظام التقليدي المستخدم حاليا في التبريد،والذي يستخدم الأجهزة الكهروضوئية، ذا تكلفة كبيرة، حيث يتطلب الضاغط قوة طاقية كبيرة تصل حوالي 130 واط للمتر المربع. بالإضافة إلى ذلك، فإن تخزين الكهرباء باهظ الثمن. وتظل أكبر ميزة لاستخدام الألواح الشمسية للتبريد هي البناء البسيط.



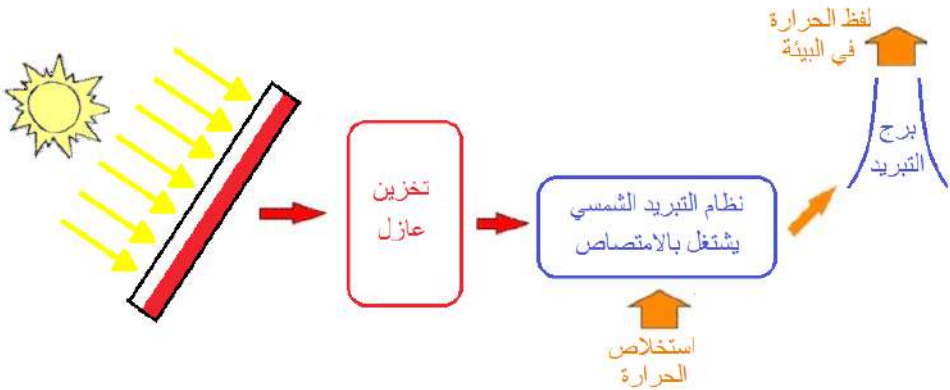
الشكل 7 : رسم بياني لمكيف هواء بضاغط كهربائي بالطاقة الشمسية

- تكييف الهواء بالطاقة الشمسية عن طريق الامتصاص

التكييف الشمسي للهواء عن طريق الامتصاص هو واحدة من أكثر التقنيات المستخدمة حاليا،وتعتبر تكنولوجيا حديثة ولا تمثل أي صعوبات في تطبيقها.ويتطلب تكييف الهواء بالطاقة الشمسية عن طريق الامتصاص درجة حرارة عالية، بحيث يعتبر القيد الوحيد الذي يفرضه هذا النظام هو اختيار نوعية مجمعات الحرارة الشمسية ذات الأنابيب المفرغةالتي تتمتعبقصور حراري أفضل من مثيلتها المسطحة.

مبدأ التشغيل: توفر مياه المجمع الشمسي الساخنة الطاقة الحرارية للمولد. تتراوح درجة حرارة الماء الذي يزودالمولد بالحرارة بين 70 و100 درجة مئوية، وهذا هو السبب في استخدام المجمعاتذات الأنابيب المفرغة من الهواء لتوفير الحرارة اللازمة. تتراوح قدرة التبريد لآلات

الامتصاص المتاحة والمناسبة باستخدام المجمعات الشمسية بين 10 و500 كيلو واط، مما يجعلها مخصصة لاستعمالات كبيرة الحجم ولا توجد حاليا أي تطبيقات للاستعمال المنزلي (الشكل 8).



الشكل 8: رسم تخطيطي لنظام التبريد الشمسي يشتغل بطريقة الامتصاص

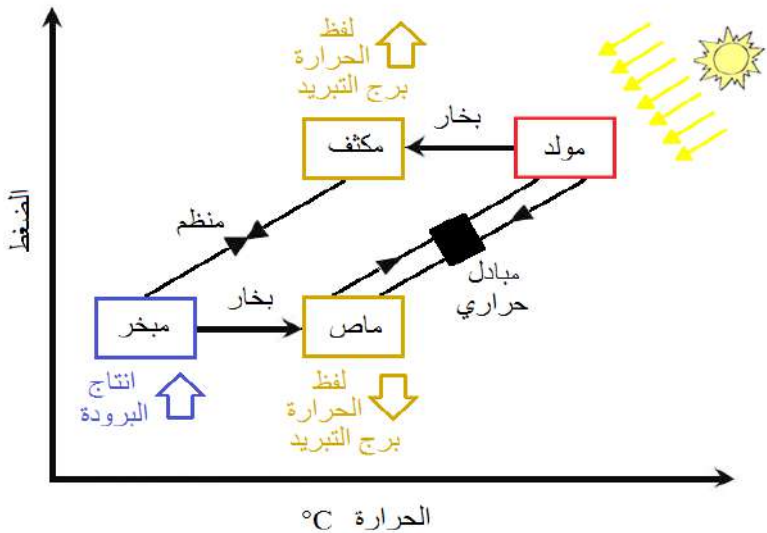
يمكن تعريف مبدأ التبريد بالامتصاص بأنه تفاعل طارد للحرارة، حيث تستخدم الخواص الكيميائية لجزيئات المبرد الأكثر تطايرا(ماص)، اعتمادا على الطبيعة السائلة أو الصلبة للممتص. وهناك نوعان من عملية الامتصاص:

الامتصاص الرطب: يستخدم هذا النوع من الآلات خصائص ذوبان المبرد الغازي في مذيب سائل. المثال الأكثر استعمالا هو الزوج (NH_3/H_2O). والتفاعل بين المواد الماصة (absorbant) هو تفاعل كيميائي. وعموما فإن الحل الذي يتم اختياره في أنظمة الامتصاص الرطب يحقق دورة مستمرة.

الامتصاص الجاف: المادة الماصة عبارة عن مادة صلبة، وتفاعل الامتصاص يكون دائمًا ذا طبيعة كيميائية. والأزواج الماصة (absorbant) الأكثر استخداما في عملية الامتصاص الجاف هي ($H_2O/LiBr$) و($H_2O/LiCl$)وتستعمل هذه الأنظمة في التبريد، خاصة في تكييف الهواء.

مبدأ تشغيل الآلة ذات النظام الفردي (simple effet) هو نفسه في نظام الضغط التقليدي، فالمبرد يتبخر عند درجة حرارة منخفضة (إنتاج البرودة) ويتكثف عند درجة حرارة أعلى (طرد الحرارة). وبهذا يتم استبدال الضاغط الميكانيكي بضاغط حراري (المولد/امتصاص)، ويستخدم الزوج (المبرد/الماص السائل).والماص السائل عبارة عن محلول ملحي، ويستعمل كذلك مصدرا للحرارة.

يتم تسخين محلول ملحي ذي تركيز منخفض في المولد من خلال حرارة المصدر الساخن(الشكل 9)، ويحرر بالتالي الماء في شكل غاز.بعد ذلك يتكثف بخار الماء في المكثف (condenser). وبذلك يتم تركيز المحلول الملحي. يتبخر المبرد في المبخر ويتم امتصاصه بواسطة المحلول المركز في الماص. والامتصاص هو ظاهرة طاردة للحرارة، ولهذا يجب تجنب ارتفاع درجة الحرارة باستخدام جهاز التبريد.وعادة يستعمل برج التبريد الرطب للتخلص من الحرارة المتولدة في الماص ومكثف.يوجد مبادل حراري بين جهاز الامتصاص والمولد للتسخين المسبق للمحلول البارد القادم من الماص وتبريد المحلول الخارج من المولد. وتعتمد دورة الامتصاص على كون درجة حرارة غليان الخليط أعلى من درجةغليان سائل خالص.



الشكل 9 : رسم تخطيطي لعملية دورة امتصاص أحادية التأثير

مزايا آلات الامتصاص

-انخفاض استهلاك الكهرباء 20 مرة مقارنةً بآلات الضغط الميكانيكية،

-انعدام الضوضاء الناتجة عن حركة الضاغط،

-غياب الجزء الميكانيكي في الدوران، وبالتالي صيانة مبسطة،

-المبرد غير ضار (باستثناء زوج الأمونيا + المياه)،

-تكلفة أقل مقارنة بالآلات الكهربائية،

-عمر الخدمة بين 25 و 30 سنة.

سلبيات آلات الامتصاص

-كفاءة الطاقية منخفضة من 0,5 إلى 0,8،
-الحاجة لمساحات مهمة للمجمعات الشمسية،
-وجود الحد الأدنى لدرجة حرارة التشغيل،
-ارتفاع تكلفة الاستثمار بسبب ارتفاع تكلفة مجمعات الطاقة الشمسية،
- كون الاستخدام في الوقت الحاضر لإنتاج قدرات التبريد الكبيرة فقط.

نظام الامتصاص يعتمد على الزوج (ماء / بروميد الليثيوم)

بشكل عام يُستخدم للتكييف الشمسي للهواء زوج (H_2O/LiBr). وتكون درجة حرارة المصدر الساخنعادة بين 80 و 100 درجة مئوية. وقد تطور، في السنوات الأخيرة، تحسين كفاءة أجهزة الامتصاص، بحيث وصل معامل أدائها الحراري عند التشغيل المثالي 0,7. وأدت هذه التطورات إلى إنتاج آلات التكييف ذات المفعول المزدوج والتي يصل فيها معامل الأداء الحراري ما بين 1 و 1,2 مع درجة حرارة التوليد المطلوبة من 130 إلى 160 درجة مئوية، وهو ما يتطلب مجمعات متقدمة لتركيز أشعة الشمس. وحاليا تختلف القدرات الطاقية لآلات الامتصاص ذات التأثير الفريد المتاحة من قبل العديد من الشركات المصنعة،فهي تتراوح بين 15 كيلوواط وعدة مئات كيلوواط. وتركز أعمال البحث والتطويرحاليا على إنتاج آلات امتصاص صغيرة متوافقة مع الطاقة الشمسية، وموجهة في نهاية المطاف إلى السوق السكنية.

وصف دورة الامتصاص للزوجين (ماء / بروميد الليثيوم)

- في المبخر (evaporater)- الشكل 10، يتم رش مادة التبريد (الماء في هذه الحالة) في بيئة ذات ضغط منخفض جدا.وداخل المبخر يوجد فراغ قوي يقارب7 مليبار. يتم تدوير المياه بالمبخر، عند تبخرالماء يكتسب المبرد البرودة، وبالتالي يمكنه تبريد وحدة تكييف الهواء.

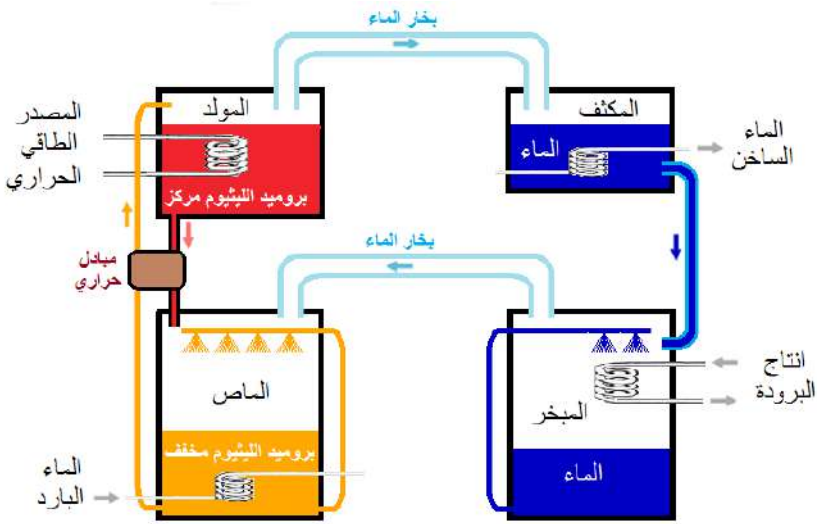
- يُدفع بخار الماء الذي تم إنتاجه في المبخر إلى الماص الذي يحتوي على المحلول الماص (LiBr) الذي يتم ضخه باستمرار من قاع الوعاء للرش. يمتص (LiBr) بخار الماء القادم من المبخر وبالتالي يحافظ على الضغط المنخفض المطلوب لتبخير المبرد.

- يتم تجديد المحلول في المولد ويتم تسخينه بواسطة المصدر الطاقي إلى أن يتبخر، بخار الماء يتجه نحو المكثف والمحلول المركز يعود إلى الماص.

- وأخيراً، يتم نقل بخار الماء المستخرج من المولد (إلى المكثف، حيث يتم تبريده عن طريق تدوير الماء البارد. يعود الماء المكثف إلى المبخر وتبدأ دورة التبريد مرة أخرى- يقوم السائل

الساخن الذي يخرج من المولد ويعود إلى الماص بالتسخين المسبق للسائل الذي ينتقل إلى المولد من خلال المبادل الحراري، مما يوفر بعض الطاقة.

ظاهرة الامتصاص تولد حرارة. يمنع تدوير الماء البارد في السائل الماص ارتفاع درجة الحرارة. بعد ذلك، يمكن لمياه التبريد أن تمر في دائرة تبريد بالمكثف ثم العودة إلى برج التبريد.



الشكل 10: تخطيط لدورة الامتصاص (ماء / بروميد الليثيوم)

نظام الامتصاص يعتمد على الزوج (الأمونياك/ الماء)

قد تم تطوير نظام للتبريد بالامتصاص يعتمد على الزوج (H_2O/NH_3) في بداية القرن العشرين، وقد اقتصر استعماله على التطبيقات الصناعية الكبيرة. وتطبيق هذه التقنية بقدرات طاقية صغيرة، أقل من 10 كيلوواط، يواجه صعوبات في الانجاز. وتعمل آلة الامتصـــاص (NH_3/H_2O)وفقًا للدورة التالية:

المُولد: يتلقى المُولدأو المُقومالحرارة من مصدر ساخن (الشكل 11). يدخل المحلول المركز بضغط عالٍ في المبادل الحراري‰. يخرج بخار التبريد (NH_3) نقيا تقريبا، ويخرج من جهة أخرى المحلول المخففŠ،

المكثف: يخرج البخار المكثف والمبردƒ، ويتم طرد الحرارة المستخلصة إلى البيئة.

مرخاة للتبريد (مروحة): تخفض المرخاة من ضغط المبردات،بحيث يخرج المبرد في حالة تُنَائِيّ الْمَرْحَلَة عند درجة حرارة منخفضة„،

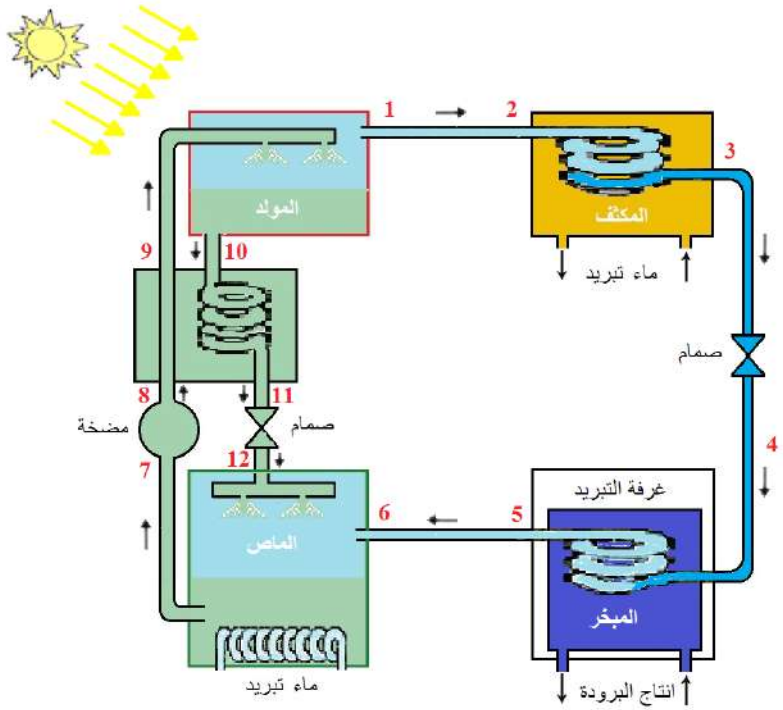
المبخر: حيث يتم تبخير مادة التبريد عند ضغط منخفض ودرجة حرارة منخفضة. يتم تسخين خفيف لمادة التبريد...عن طريق أخذ الحرارةمن المصدر البارد، وهوما يسمى تأثير التبريد .

الماص: يدخل المبرد المتبخر في الماصحيث المحلول المبرد مخفف†، ومن الماص يخرج المحلول المركز ‡، ويتم طرد الحرارة المستخلصة إلى البيئة ؛

المبادل المحلول: يجعل من الممكن إجراء تجديد داخلي بين المحلول المركز والمحلول المخفف،

المضخة: ضرورية لضغط المحلول المركز قبل دخوله المبادل،

المرخاة في مخرج المبادل:لتخفيض ضغط المحلول المخفف ليصل إلى ضغط الماص⓫.



الشكل 11: نظام الامتصاص الذي يعتمد على الزوج (الأمونياك/ الماء)

مزايا نظام الامتصاص الذييعتمد على الزوج (الأمونياك/ الماء)

تُمكن هذه الأنظمة من الوصول إلى درجات حرارة سالبة، وإمكانية تطبيقها بشكل رئيسي في التبريد وتكييف الهواء.

-تعتبر قدرة التبريد الناتجة في المبخر مهمة للغاية،

- يُستخدم هذا النظام بكثرة في تكييف الهواء للمباني، والتبريد الصناعي.

سلبيات نظام الامتصاص الذي يعتمد على الزوج (الأمونياك/ الماء)

- يحتوي البخار الخارج من المولد على بقايا من الماء، وبالتالي يتطلب وجود عضو إضافي يسمى المقوم وذلك لإزالة الماء من البخار قبل إدخاله إلى المكثف.

- سعر هذا التثبيت مكلف للغاية لأننا نضيف مقومًا.

- نظرًا لأن الأمونيا مبرد، فإن مستويات الضغط تكون مشابهة لمثيلاتها في أجهزة الضغط التقليدية.

عموما التكييف الشمسي للهواء له معامل أداء محدد في نسبة الطاقة الباردة المنتجة على الطاقة المطلوبة للتسخين، ويصل هذا المعامل إلى 0,7 في أنظمة أحادية المرحلة،في حين يصل إلى 1 في الأنظمة متعددة المراحل وبدرجات حرارة مدخل المبخر تتراوح ما بين 130 و160 درجة مئوية مقارنة بـ 80 و110 درجة مئوية في أنظمة أحادية المرحلة. ومع ذلك، هناك آلات امتصاص مزدوجة التأثير يصل معاملها إلى 1,3، ويتطلب هذا المستوى درجات حرارة أعلى لمياه المولد. في حالة التبريد بالإمتصاص، تزداد الكفاءة بشكل عام كلما ارتفعت درجة حرارة التسخين، وبالتالي يكمن تطوير هذه التكنلوجيات باختيار أفضل المجمعات الشمسية، خاصة ذات الأنابيب المفرغة.عموما نظام الامتصاص الشمسي بدرجة حرارة عالية يكون أكثر كفاءة لتشغيل محطة تبريد. وهناك زوجانيستخدمان بشكل واسع في أنظمة التبريد الشمسية الامتصاص هما(H_2O-LiBr) و(NH_3-H_2O). حيث إن (H_2O) هو المبرد و(LiBr) هو الماص،وفي الحالة الثانية:(NH_3)هو المبرد و(H_2O) هو الماص. ولكل زوج مزاياه وعيوبه. وبشكل عام، غالبا ما تستخدم أنظمة (NH_3-H_2O) للتبريد والتطبيقات الصناعية، في حين أن أنظمة (H_2O-LiBr) أكثر ملاءمة لأغراض تكييف الهواء. ويجب ملاحظة أن هنالكأزواجا أخرى تدرس على مستوى البحث والتطوير.

- التبريد وتكييف الهواءبالطاقة الشمسية عن طريق الامتزاز

عندما يتم تثبيت الغاز على مادة مسامية، تسمى عملية التثبيت بالامتزاز. يتم استخدام هلام السيليكا أو الزيوليت مع بخار الماء في آلات الامتزاز لتحقيق دورة التبريد. عند استخدام المواد الصلبة يتم تشغيل هذه الآلات بشكل دوري، ويتم بالتناوب تسخين كتلتين من مادة ممتزة بواسطة المصدر الحراري الذي هو الطاقة الشمسية، وذلك لإنتاج بخار الماء الذي يتكثف

من بعد في المكثف، ثم يتبخر بعدها الماء في المبخر حيث يتم إنتاج البرودة. ويُمتص بخار الماء على المادة الممتزة وتبدأ الدورة مرة أخرى.

الامتزاز هو العملية التي يتم فيها ربط جزيئات السائل (الغاز أو السائل) التي تسمى المبردات، بسطح مواد صلبة تسمى الممتزات. ويشير سطح المادة الصلبة إلى مجموع الأسطح الخارجية والداخلية التي تولدها شبكة المسامات والتجاويف داخل الممتز . وتتكون عملية امتزاز الغاز بواسطة مادة صلبة من ثلاث مراحل:

- المرحلة الغازية: تتكون من جزيئات الغاز.
- المرحلة المزازة: تتكون من جزيئات ممتزجة على السطح.
- المرحلة الصلبة:تتكون من الممتز

عموما، هناك نوعان من عمليات الامتزاز التي تختلف في طبيعتها من التثبيت والطاقات المستعملة. وهما الامتزاز الفيزيائي و الامتزاز الكيميائي.

الامتزاز الفيزيائي: ينتج عن عملية الامتزاز الفيزيائي روابط مادية ذات طاقات تفاعلية منخفضة، وهي لا تغير الطبيعة الكيميائية للجزيء الممتز. ويتم تثبيت جزيئات السائل على سطح المادة الصلبة بواسطة قوى فان دير فالس (Van der Waals)ومن خلال استقطاب الشحنات الكهربائية. هذا الارتباط الضعيف لجزيئات المزازة (adsorbat) على المادة الصلبة لا يسبب أي تغيير في البنية الجزيئية للمادة الصلبة ولكن هناك اختلاف بسيط في كتلتها. وبالتالي فإن الامتزاز الفيزيائي قابل للانعكاس لأنه يمكن بسهولة لفظ الجزيئات الممتزة عن طريق زيادة درجة الحرارة.

الامتزاز الكيميائي: تنتج عملية الامتزاز الكيميائي بتفاعل كيميائي مع تكوين روابط كيميائية بين جزيئات المزازة وسطح الممتزات، مما يؤدي إلى قوى ربط قوية. درجة حرارة الامتزاز المستخدمة عادة ما تكون كبيرة. وغالباً ما يكون الامتزاز الكيميائي غير قابل للانعكاس بمقارنة بالامتزاز الفيزيائي.

آلة التبريد بالطاقة الشمسية عن طريق الامتزاز

تشتمل آلة التبريد بالامتزازية في أبسط الحالات على المكونات التالية (الشكل 12) :

•ماز: يتكون من ممتزات صلبة تلامس المصدر الساخن،

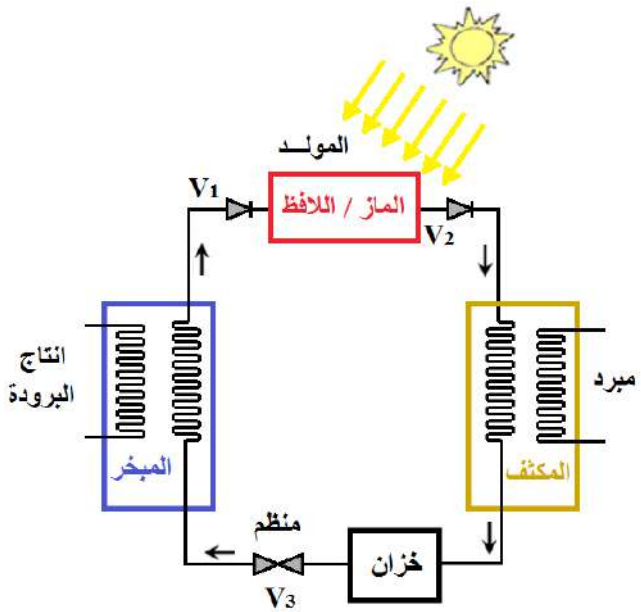
•مكثف: متصل بمصدر وسيط، يتكثف فيه غاز التبريد،

•خزان: يُستخدم لتخزين مادة التبريد السائلة من المكثف.

•صمام توسعة: V_3

•مبخر، متصل بمصدر بارد، حيث يتبخر المبرد عند ضغط التبخر.

•صمامافحص أو صماما عدمالرجوع: V_1 و V_2



الشكل 12: رسم بياني لآلة التبريد بالامتزاز

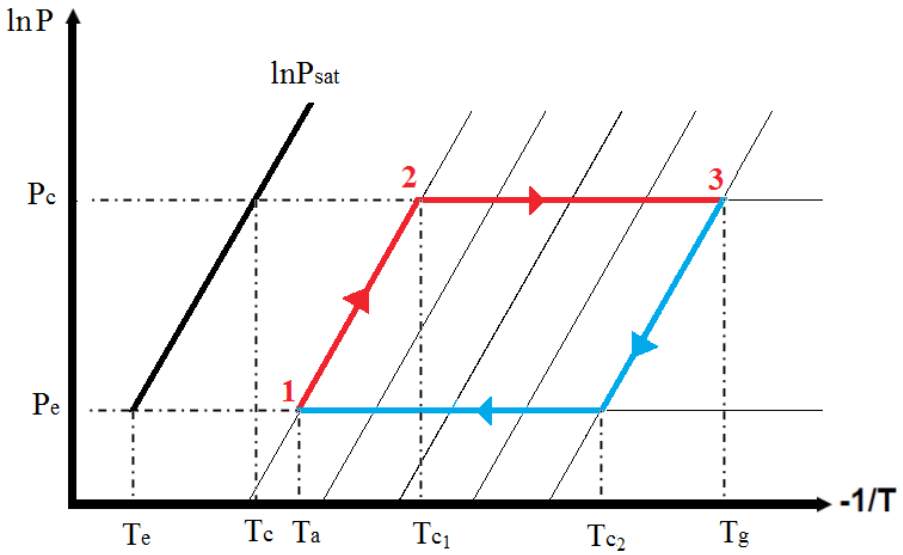
تعمل آلة التبريدالامتزازية وفقًا لدورة حرارية امتزازية تعتمد على مبدأ قابلية انعكاسعند الامتزاز الفيزيائي: تثبيت بخار مادة المزازة على الممتز عند تبريده وإطلاقه عند تسخينه. وهذا يعني أن تركيز غاز التبريد هو دالة على درجة الحرارةوالضغط. ويمكن وصف التوازن إما عن طريق مُتساوي الضغط (isobares)(الشكل 13)، أو مُتساوي الحرارة، أو متماثل تجسمي حيث يكون التركيز الممتز ثابتًا.يتم تمثيل دورة الامتزاز بشكل عام في مخطط (Clausius-Clapeyron) . تمثل هذه الدورة النموذجية ما يسمى تطور حالة الخليط الممتز /المزازة الموجود في المولد(الماز أو اللافظ. تشتمل كل دورة على مرحلتين رئيسيتين تحكمان العملية: مرحلة تسخين خليط الممتز/المزازة (1،2،3) ومرحلة أخرى لتبريد نفس الخليط(3،4،1)(الشكل 13). يتم تحديد الدورة الديناميكية الحرارية من خلال درجات حرارة التشغيل الأربع:

(Ta) درجة حرارة الامتزاز: درجة الحرارة الدنيا التي تم التوصل إليها عن طريق مزيج الممتز/ المزازة.

(Tg) درجة حرارة التجديد: درجة الحرارة القصوى التي تم التوصل إليها من خلال مزيج الممتز/ المزازة.

(Tc) درجة حرارة التكثيف.

(Te) درجة حرارة التبخر.



الشكل 13 : المسار الديناميكي الحراري لدورة التبريد

مرحلة التسخين عند آلة التبريد بالامتزاز

مرحلة تسخين متماثل تجسمي (2-1)

في بداية الدورة (الشكل 13)، يكون الخليط الممتز/المزازة عند درجة الحرارة الدنيا (Ta)، وهي درجة حرارة الامتزاز وعند ضغط النظام الذي هو نفس ضغط تشبع المزازة عند درجة حرارة الامتزاز (Te). في هذه المرحلة، يتم توصيل المولد بالمصدر الساخن، ويتم عزله عن المكثف / المبخر بإغلاق الصمامات (V_2-V_1) (الشكل 12). تُسخن حرارة المصدر المولد، مما يزيد من درجة الحرارة وضغط النظام بالشكل 13. تنتهي مرحلة الضغط هذه بمجرد أن يصبح الضغط مساويا للضغط السائد في المكثف (Pc). وتسمى درجة الحرارة التي يتم الوصول إليها درجة حرارة عتبة اللفظ (T_{cl}).

مرحلة اللفظ - التكثيف (2-3)

بمجرد أن يصل ضغط المزيج في المولد إلى ضغط التشبع المقابل لدرجة حرارة المكثف (Tc)، يتم وضع المكثف في اتصال مباشر مع الماز (V_2). خلال هذه المرحلة، يلفظ الممتز السائل الذي يحتوي عليه، وبالتالي يقلل من تركيزه من المزازة.تستمر الطاقة التي يوفرها البخار في زيادة درجة الحرارة، ولكن ضغط النظام يتبع خط (isobare)الذي يفرضه المكثف. اكتمال اللفظ عند النقطة *f* عندما يصل الممتز إلى درجة الحرارة القصوى (Tg)، وهي درجة حرارة التجديد المحددة للدورة. يتم دفع المكثف إلى المبخر عن طريق الجاذبية البسيطة أثناء تكوينه.

تسمى مرحلة التسخين (3-2-1) بشكل عام مرحلة التجديد لأنها تجعل الماز مستعدالمرحلة جديدة من إنتاج التبريد.

مرحلة التبريد عند آلة التبريد بالامتزاز

مرحلة التبريد متماثل تجسمي (4-3)

يتم عزل المولد عن طريق إغلاق الصمام. يبدأ تبريد المزيج الممتز/المزازة عند النقطة *f*، حيث تنخفض درجة الحرارة والضغط حتى يصبح الضغط مساويا للضغط السائد في المبخر. تسمى درجة الحرارة التي يتم الوصول إليها درجة حرارة عتبة الامتزاز (T_{c2})- النقطة „. يبقى تركيز السائل الممتز ثابتًا في هذه المرحلة.

مرحلة امتزاز- تبخر (4-1)

هذه المرحلة هي المرحلة الدافعة في الدورة التي يتم خلالها إنتاج البرودة. عند النقطة „، يبدأ تبخر المبرد وينتج بالتالي البرودة. يتم فتح الصمام الذي يربط المولد والمبخر، تاركا الممتز يمتص المزازة، وبالتالي يتم امتصاص البخار الناتج بالماز حتى تصل درجة حرارة الخليط الممتز/ المزازةإلى الحد الأدنى (T_a).خلال هذه المرحلة، يتبع النظامخط مساوي الضغط الذي يفرضه المبخر، والذي يتوافق مع ضغط تشبع المبرد عند درجة حرارة التبخر. في هذه اللحظة، تكون آلة الامتزاز جاهزة لدورة جديدة.

يتم توجيه التصميم والاختيارالتكنولوجي لآلات التبريد بالامتزاز من خلال بحث تحسين هذه الدرجات الحرارية الأربع. نظرا للتناوب في مراحل (اللفظ - التكثيف – الامتزاز - التبخر). لا يحدث التبخرإلا خلال جزء من الدورة. هذا هو السبب في أن هذه الدورة تسمى متقطعة. تتم مزامنة هذا التقطع مع مصدر الطاقة. وللملاحظة فإن عكس الامتزاز يشار إليه في المراجع بالانتزاز أو المج أو اللفظ أو الالتفاظ.

آلة التبريد بالامتزاز تعمل بدورة مزدوجة

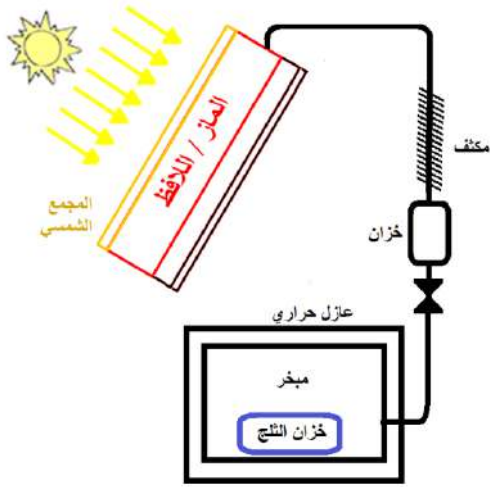
من المعروف أن المبرد الشمسي الذي يشتغل بالامتزاز يتكون من ماز أو أكثر،ويحتوي على ممتز (المبادل الحراري) متصل بالتناوب بمكثف ومبخر. يقترن كل واحد بحلقة حرارة ساخنة أو باردة. ويحدث نقل الحرارة بفضل سوائل نقل الحرارة.

عملية استرداد الحرارة

الوسيلة الأولى تتمثل ، في نهاية التسخين،في استعادة جزء من الحرارة من المازالأكثر سخونة لنقله إلى الأكثر برودة. بهذا يتم تسخين الماز بأقل كلفة طاقية، التي يوفرها مصدر الحرارة المرتفعة، ويتم بالتالي زيادة في مردودية التبريد. الوسيلة الثانية لزيادة المردودية هي استرداد الكتلة في نهاية مرحلة التسخين، بحيث يكون الماز 1 الأكثر سخونة عند أعلى ضغط في دورة، في حين أنالماز 2 الأبرد يكون عند أدنى ضغط في دورة، وفتح صمام بين المادتين يسمح بانتقال كتلة ماز نحو الآخر.يعطي الماز 1 البخار إلى الماز 2 ذي الضغط المنخفض. الماز 1 الذي كان في مرحلة اللفظ قلّ أكثر، في حين أن الماز 2 الذي كان في مرحلة الامتزاز زاد أكثر.

في جهازالتبريد الشمسي الذي يعمل بالامتزاز، يمكن امتصاص الطاقة الشمسية مباشرة بواسطة المفاعل الموجود داخل المجمع الشمسي. إن دور محول الطاقة الشمسية هو تحويل الإشعاع الكهرومغناطيسي إلى حرارة تنتقل إلى الممتز خلال النهار، وإلى تحرير الطاقة الحرارية التي يطلقها الجهاز طوال الليل.

مجمع الطاقة الشمسية يقوم بدور المحول. في الواقع الماز يكون بحجم كافٍ لاحتواء الممتز. بالإضافة إلى ذلك، لا يوجد دوران لسائل نقل الحرارة في المجمع الطاقي. التشغيل المتقطع للدورة يسمح باتصال منفرد، مع تشغيل وظيفة الإدخال والإخراج لمبرد التبريد بالتناوب (الشكل 14).

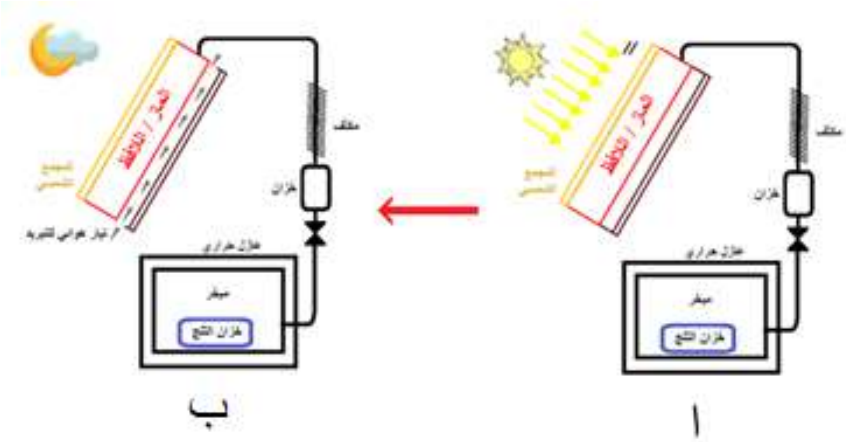


الشكل 14:
رسم بياني لآلة التبريد الشمسي بالامتزاز.

اشتغال الآلة التبريد بالطاقة الشمسية لدورة ذات التأثير المنفرد

آلة التبريد الشمسي بالامتزاز التي تعمل وفقا لدورة التأثير المفرد بسرير واحد على أساس ظاهرتين (الشكل 15):

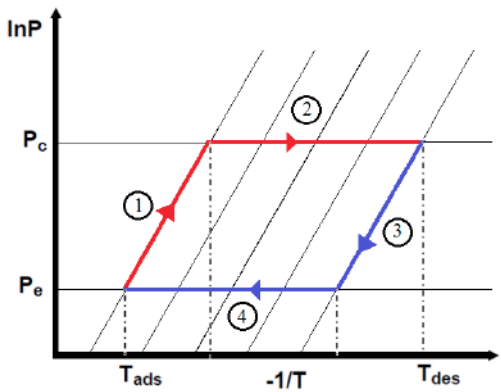
- تحويل الإشعاع الشمسي إلى حرارة تنتقل إلى الممتز أثناء النهار.
- تبديد الطاقة الحرارية الصادرة عن النظام بالليل



الشكل 15: آلة التبريد الشمسي بالامتزاز التي تعمل وفقا لدورة التأثير المفرد

يتم تقسيم الدورة إلى أربع مراحل (الشكل 16):

في مرحلة التسخين(الشكل 15أ)، يتم تسخين المجمع الحراري صباحا حسب خط متساوي الحرارة إلى الساعة العاشرة مثلا. وبالتالي يتم تسخين الماز، في هذه الفترة ترتفع حرارة البخارمع ارتفاع الضغط. في مرحلة اللفظ ,، عندما يصل الضغط التشبع إلى مستوى درجة حرارة المكثف، تتكثف الأبخرة وتتدفق إلى المبخر وتستمر هذه العملية إلى حوالي الرابعة مساءً. في مرحلة التبريد *f* تتم عملية التبريد تدريجيا حسب خط المتماثل التجسيمي، عندما تغرب الشمس، يبرد المجمع الحراري وينخفض الضغط في النظام للوصول إلى ضغط المبخر. تتم عملية التبريد بفتح رفرفة التهوية الموجود خلف المجمع والماز(الشكل 15ب). وتستمر هذه العملية إلى السابعة مساء. مرحلة الامتزاز والتبريد „: تستمر عملية التبريد إلى صباح اليوم الموالي،يكون الممتز خلالها غير متوازن بحيث يقوم بامتزاز البخار المتكون والمتواجد في المبخر. يتم إنتاج هذا البخار عن طريق تبخر السائل في المبخر، مما ينتج عنه تأثير التبريد. عندما تصل درجة الحرارة في المبخر إلى نقطة التجمد، يتكون مخزون من الجليد يسمح للجهاز بالبقاء في درجة حرارة منخفضة لليوم التالي أو حسب الظروف الجوية.



الشكل 16 : المسار الديناميكي الحراري لدورة التبريد

مزايا آلات التبريد بالامتزاز

تتميز آلاتالتبريد بالامتزاز بـ :

- عدم وجود ضغط ميكانيكي، لا اهتزازات ولا ضوضاء.
- هذه الآلات قابلة للتكيف تماما مع الطاقة الشمسية.
- التشغيل المتقطع يقلل من عدد مكونات النظام.
- تكاليف التشغيل والصيانة منخفضة للغاية وعمر خدمة هذه الآلات طويل.

عوائق آلات الامتزاز

- معامل الأداء الحراري محدود (0,5)،
- حرارية عالية تنبعث للخارج،
- أداء حساس للظروف البيئية (الرياح، درجة الحرارة).

تكييف الهواء بالطاقة الشمسية عن طريق الامتزاز

يعمل نظام الامتزاز لتكييف الهواء في دائرة مغلقة ويستخدم مادة ممتزة صلبة كهلام السيليكا (Silica Gel). وعلى النقيض من أنظمة الامتصاص التي يمكن أن تصل قدرتها إلى خمسة ميكاواط، فإن تكييف الهواء بالطاقة الشمسية باستعمال الامتزاز لا يصل إلىنصف ميغاواط .

يتكون جهاز تكييف الهواء بالامتزاز من وعاء مفرغ مقسم إلى أربع حجرات (الشكل 17).

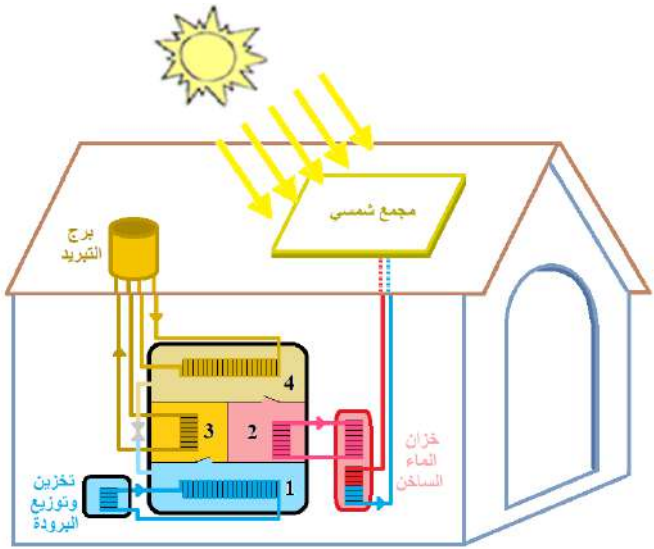
المبخر (1)، يتبخر المبرد تحت الضغط المنخفض وعند درجة حرارة منخفضة. يتم استخراج حرارة التبخير الضرورية من الماء المراد تبريده.

اللافظ (2)، يتوصل بالحرارة من المجمع الشمسي، حوالي 80 درجة مئوية. المبادل الحراري عبارة عن لفائف نحاسية مغطاة بهلام السيليكا الذي يملأ الحجرة. الحرارة الشمسية "تطرد" مادة التبريد التي يمتصها هلام السيليكا.

الممتز (3)، يتم امتزاز بخار الماء بواسطة هلام السيليكا الذي يغطي لفائف نحاسية كما هو الشأن في الحجرة الثانية. يتم دفع الحرارة الناتجة إلى برج التبريد. ولذلك يوجد تبادل بين الحجرتين (اللافظ) (الممتز) بعد كل دورة (تبريد / تسخين).

المكثف (4)، يتم تكثيف سائل التبريد ثم يُدفع إلى المبخر.

ترتبط جميع الحجرات بصمامات، يتم تشغيلها أوتوماتيكيا حسب الضغط السائد، بحيث يتم إنشاء عملية دائرية مغلقة. في نهاية المطاف يمكن استرداد الحرارة المفقودة. تستغرق الدورة الكلية حوالي سبع دقائق مع مرور عشرين ثانية خلال المرحلة الانتقالية للتدفق بين الحجرتين، بحيث يتم استرداد الحرارة.



الشكل 17 : رسم تخطيطي لتكييف الهواء بالامتزاز

تكييف الهواء الامتزاز نظام تصميم بسيط يتكون من الأجزاء المتحركة (صمامات) قليلة، وهو نظام تشغيل فعال من حيث التكلفة بالمقارنة مع تكييف الهواء التقليدي. في حالة إيقاف تشغيل النظام بشكل مفاجئ يمكن إعادة التشغيل بسهولة وبدون أضرار.يتم الوصول إلى درجة حرارة التبريد عند بدء التشغيل في دقيقتين. درجة حرارة مدخل الماء الساخن يمكن أن تصل إلى مائة درجة مئوية. يمكنك بسهولة الوصول إلى درجة حرارة 5 درجات مئوية في الماء البارد، وهي كافية لتكييف الهواء. وهو صديق البيئة بحيث لا يستعمل إلا مزيجا من الممتص هلام السيليكا والماء،ويعاد توليد هلام السيليكا بشكل دوري أثناء دورات التشغيل دون أي تلف. أماعيوب الامتزازفتتمثل في التكلفة العالية وحجم الآلات أثقل وأضخم من مجموعات الامتصاص.

الأزواج الرئيسية الممكن استعمالها هي سوائل (المبردات/الممتزات) كالماء/هلام السليكا، والماء/ الكربون المنشط، والماء/ الزيوليت، والأمونيوم/ كلوريد الكالسيوم، والأمونيا/الزيوليت،

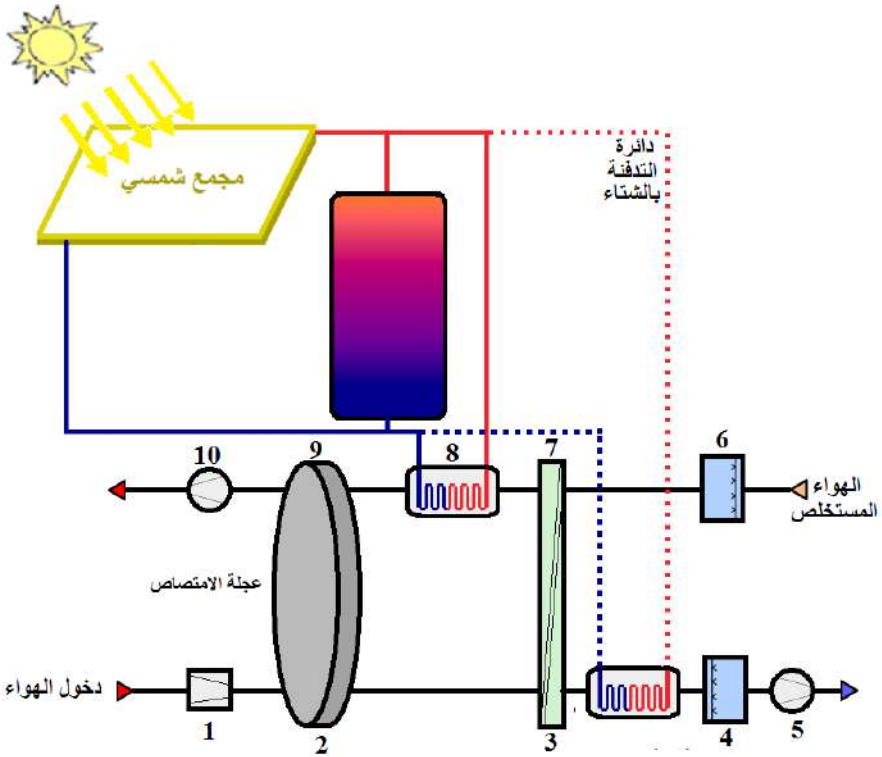
وكحول الميثيل/الكربون المنشط، وكحول الميثيل/زيوليت، إلخ. ومع ذلك، فإن مجموعات الامتزاز التي تستخدم الزوجين الماء / هلام السليكا متوفرة في السوق بشكل واسع.

فيما يخص الكفاءة الطاقية لآلة الامتزاز فهي عموما بين 0,4 و0,6. وتجدر الإشارة إلى أن قيمةالكفاءة الطاقية لآلة الامتزاز أقل بكثير من مثيلها بآلة الضغط الميكانيكية التقليدية. ومع ذلك، فإن قيمةالكفاءة الطاقية هي في الأساس دالة على الطاقة الحرارية المقدمة إلى حجرة الامتصاص من أجل تجديد الممتز.

تكييف الهواء بالطاقة الشمسية عن طريق التجفيف

التكييف الشمسي للهواء عن طريق التجفيف نظام مفتوح، يعمل مباشرة عن طريق تجفيف وتبريد الهواء،ولا يتطلب درجات حرارة عالية للاشتغالتبتدئ بـ45 درجة مئوية وتصل الى المائة درجة. ولذلك تعتبر المجمعات الشمسية المسطحة كافية. في حالة التبريد التبخيري المجفف (Dessicant Evaporating Cooling)، يتم تجفيف الهواء الخارجي باستخدام عجلة الامتزاز، وباستعادة الحرارة، ثم يتم رشه بالماء، بعدها يتبخر الماء مع امتصاص الهواء الحرارة اللازمة لتبخر الماء وبالتالي تبريد البيئة. وهكذا يمكن تبريد الهواء حتى يصل 16 درجة مئوية.

تعتبر عجلة الامتصاص النقطة المركزية في نظام التبريد بالتجفيف (الشكل 18). تحتوي العجلة على هلام السيليكا، المجفف المحايد بيئيا.يتم تصفية هواء الخارج (1) ثم يعلق الماء (الرطوبة) المتواجد في الهواء بهلام السيليكا في عجلة الامتصاص (2).يمسك هلام السيليكا جزيئات الماء حتى يتشبع.يمر الهواء المجفف بعد ذلك من خلال وحدة حرارية (3) تمتص السعرات الحرارية للهواء الجاف وبالتالي تبرد.عن طريق تمرير الهواء عبر مُبرِد مائي (4)، يمتص الماء السعرات الحرارية المتبقية في الهواء قبل أن يتم دفعه ليبرد المبنى بواسطة مروحة (5). لتنقية هلام السيليكا في عجلة الامتزاز من المياه، يمر الهواء الساخن الخارج من المبنى في دائرة عكسية.يتم تمرير الهواء من خلال مبرد الماء (6) ومن ثم إلى وحدة استرداد الحرارة(7).بفضل إمدادات الحرارة (8) القادمة من مجمعات الطاقة الشمسية ذات درجة الحرارة المنخفضة نسبيا، يتم طرد جزيئات الماء الموجودة في هلام السيليكا في عجلة الامتزاز(9) بالبخار الناتج عن التسخين المفاجئ للهواء المبرد (6 و 7) عند ملامسته للحرارة الشمسية (8) وطرده بواسطة المروحة (10) في البيئة. وبالتالي تكون عجلة الامتزاز جاهزة لدورة تبريد أخرى.



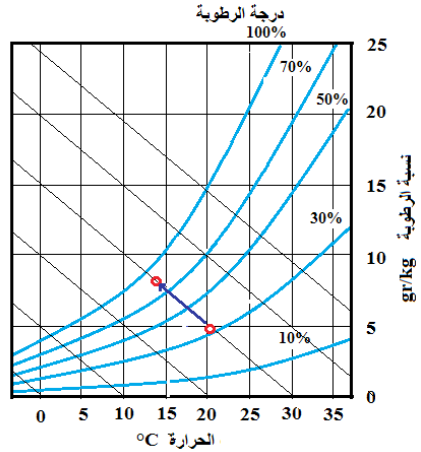
الشكل 18: تكييف الهواء بالطاقة الشمسية عن طريق التجفيف

الأنظمة الشمسية للتبريد عن طريق التجفيف فعالة في المناخ الجاف.

بالنسبة للمناطق الرطبة، يتم استخدام الأنظمة الشمسية "الامتصاص" أو "الامتزاز". تنتج وحدات التبريد التبخيري مباشرة الهواء النقي، على عكس وحدات التبريد الميكانيكية أو الامتصاص أوالامتزازية التي تبرد السوائل الوسيطة. من خصوصيات هذا النظام أنه يتكون من تيارات هوائية (الهواء الداخل والهواء الخارج)، بالإضافة إلى وحدة معالجة الهواء التقليدية، وهناك أيضًا عجلة تجفيف أو إزالة الرطوبة موضوعة جنبًا إلى جنب مع عجلة حرارية.

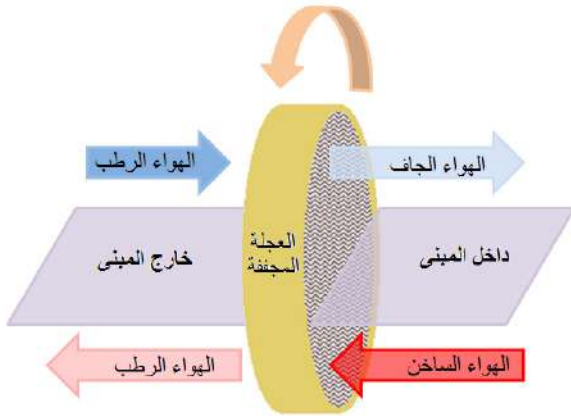
تعتمد هذه التركيبات على فكرة تبريد الهواء الجاف عن طريق ترطيبه. وذلك عن طريق رش تيار الهواء بالماء، تتبخر بعدها كمية الماء المستعملة عن طريق سحب الطاقة من الهواء الذي يمر عبرها وبالتالي تبريده.بشكل عام. في النظام (الماء + الهواء)، يتم الحفاظ على التوازن الطاقي: طاقة الهواء «الجاف والساخن» تساوي طاقة الهواء «البارد والرطب. يتطابق منحنى تطور رطوبة الهواء مع خط المحتوى الحراري الثابت (الشكل 19). يمكن للهواء أن يصل إلى

التشبع، مثلا في الرسم البياني: الهواء عند 20 درجة مئوية ونسبة الرطوبة 30٪، يُرطب ليصل إلى 12 درجة مئوية و 60 ٪ كدرجة الرطوبة. الطاقة (المحتوى الحراري) للهواء عند نقطة 1 تساوي قيمة الهواء عند النقطة 2 بعد تحولها.



الشكل 19:
مخطط نسبة الرطوبة
إلى الحرارة ودرجة الرطوبة

إن الغرض من العجلة المجففة هو تقليل رطوبة الهواء الداخل بفضل ظاهرة الامتزاز (الشكل 20). تجفف العجلة (الجزء العلوي) الهواء القادم قبل أن يمر في المرطب. تعمل العجلة أيضًا على تحسين تبريد الهواء وتجنب الحصول على مستوى الرطوبة بالقرب من مستوى التشبع. تتكون العجلة المجففة ذات دوران بطيءمن تراكم مادة هلام السيليكا في شكل أسطواني (الشكل20).

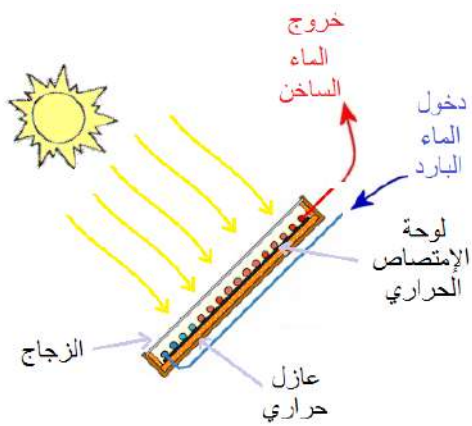


الشكل 20: العجلة المجففة

مجمعات الطاقة الشمسية

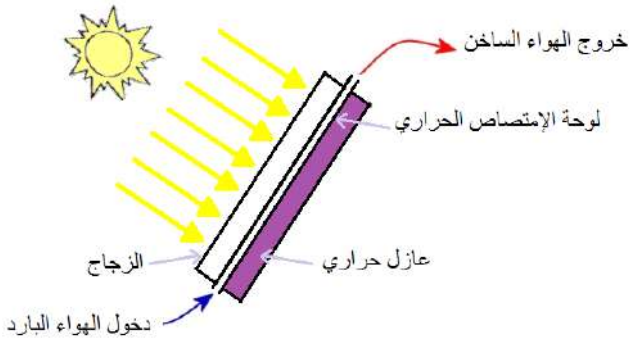
مجمع الطاقة الشمسية الحرارية هو جهاز مصمم لجمع الطاقة الشمسية التي تنتقل عن طريق الإشعاع ونقلها إلى سائل نقل الحرارة لإنتاج الطاقة الحرارية. هناك أنواع من المجمعات الحرارية الشمسية تختلف حسب نوع التطبيق وطبيعة عنصر نقل الحرارة المستخدم ومستوى درجة الحرارة التي تحققها. عند الاستعمال يجب اختيار نوع المجمع الشمسي الذي يتوافق بشكل أفضل مع مستوى درجة الحرارة المرغوبة.

المجمع الشمسي المسطح: يتكون المجمع الشمسي المسطح عمومًا من صندوق عازل حراري ومغطى بزجاج. يحتوي الصندوق على ألواح ماصة لأشعة الشمس وملامسة لأنابيب معدنية سوداء اللون تسخن سائل التبريد (الشكل 21).التطبيق الأكثر شيوعا لهذا النوع من الأجهزة هو سخان المياه بالطاقة الشمسية. يمكننا استخدامه أيضا للتدفئة، إما عن طريق الماء أو عن طريق الهواء. كما تستخدم أنظمة الطاقة الشمسية المسطحة لتسخين أحواض السباحة، وسخانات المياه في الفنادق، والمستشفيات، والتبريد بالهواء أو تحلية مياه البحر في الأماكن التي تقل فيها مياه الشرب.



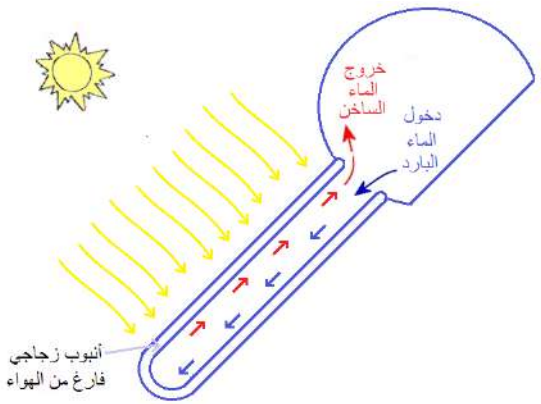
الشكل 21: رسم تخطيطي لمجمع الطاقة الشمسية مسطح

المجمع الشمسي الهوائي: تستخدم أساسا مجمعات الطاقة الشمسية الهوائية لتدفئة (الشكل 22). يمكن استخدام هذه مجمعات أيضًا في أنظمة تكييف الهواء بتجفيف. مبدأ التشغيل هو نفسه باستثناء أنه لا يوجد مضخة دوران ولكن تستعمل المراوح لتدوير الهواء.إن مجمعات الشمسية الهوائية تصميم بسيط ولكنها يتطلب توفير مروحة، هذه الأخيرة تجعل النظام أكثر تكلفة بالإضافة إلى ضعف أدائها بالنسبة للمجمعات المسطحة.



مجمع الطاقة الشمسية هوائي

المجمع الشمسي بالأنابيب المفرغة: يتكون المجمع الشمسي بالأنابيب المفرغة من سلسلة أنابيب زجاجية شفافة (الشكل 23). في كل أنبوب يوجد ماص لالتقاط الإشعاع الشمسي ومبادل حراري يسماح بنقل الطاقة الحرارية، يتم إفراغ الأنابيب من الهواء لمنع فقدان الحمل الحراري للماص، ويصنع الماص بشكل يمنع الإشعاع. وبالتالي يمكن تحقيق مجمع الطاقة الشمسية عالي الأداء دون عزل الحراري أو واقي مكلف. مع مجمع الشمسي بالأنابيب المفرغة يمكننا تقليل سطح المجمع الغادي بنسبة 20 ٪، ويتميز بكفاءة أفضل من المجمع الشمسي المسطح، خاصة عند درجات الحرارة المرت



الشكل 23 :مجمع الشمسي بالأنابيب المفرغة

الخاتمة

إن استعمال أنظمة تكييف الهواء تعتبر اليوم المصدر الأساسي للإستهلاك العالمي للطاقة،استهلاك ناتج عن انفجار معدل نمو السكان وعن تطوير شعور بالراحة التي يوفرها تبريد المباني. إن استعمال الطاقة المتجددة والنظيفة له دور جد هامفي تكييف الهواءبالمباني، فهناك تطابق بين الاشعاع الشمسي والحاجة إلى التبريد، فعندما تكون أشعة الشمس في حدها الأقصى يزيد الطلب على التبريد. فاعتماد الطاقة الشمسية كبديل يمكن من توفير نسبة استهلاك سنوي من الطاقة الأولية تصل إلى 20٪.إن تطور تكنولوجيات الشمسية للتبريد وتكييف الهواء لا زالت في بدايتها ولا يمكن تحقيق تقدم هذا قطاع إلا بالإرادة السياسية بالعمل على تخفيض تكاليفها، وتسهيل ادماجها في الاقتصاد الطاقي.

يتوفر نظام التبريد بالامتصاص على معامل للأداء الحراري جيد جدًا، في المقابل يتطلب برج للتبريد، ودرجة حرارة تجديد عالية على مستوى الماص مع وجود خطر تبلور السائل الناقل للحرارة. يمكن أن تصل قدرة أنظمة الامتصاص إلى بضع الميغاواط مع تحقيق معامل أداء جيد. في حين يعمل نظام شمسي يعمل بالامتزاز عند درجة حرارة تجديد متوسطة ويتسم بالبساطة والقوة، ولكنه يتطلب أيضًا برج التبريد. تحقيق الربح الاقتصادي أكثر صعوبة مع نظام تبريد يعمل بالامتزاز، لأن تكاليف الاستثمار تصل إلى ضعف نظيرتها في أنظمة التبريد التقليدية.بينما يعمل نظام التجفيف على درجة حرارة منخفضة نسبيا مع تكاليف منخفضة عند تثبيت، ولكن نظام التبريد الهوائي غير مناسب لجميع المباني، ويتطلب صيانة دقيقة وغير فعال في المناخات الحارة والرطبة. وتعتبر الأنظمة تكييف الهواء الشمسي بالتجفيف الأقل كلفة، على الرغم من أنها فعالة فقط في المناطق ذات المناخ الجاف، ويتجنب استخدامها في المناطق ذات الهواء الرطب.

يمكن أن يكون تكييف الهواء بالامتزاز منافسًا في أنظمة تكييف الهواء الكبيرة. ولكن بالنسبة للأنظمة الصغيرة أو المتوسطة الحجم، فإنها تميل إلى أن تكون ضخمة جدًا ومكلفة. وفيما يتعلق بالآفاق المستقبلية للبحث والتطوير في التبريد الشمسي، فمن الأفضل التركيز على أنظمة الامتصاص ذات درجة الحرارة المنخفضة لأن سعر المجمع الشمسي يزداد مع درجة الحرارة التي يحققها.

يحقق التبريد الشمسي اقتصاد كمية كبيرة من استهلاك الطاقة الأولية. وهذا يقلل من ذروة إنتاج ثاني أكسيد الكربون واستهلاك الكهرباء في فصل الصيف، وهو ما يمثل فائدة هامة للبيئة والاقتصاد. ولكن عندما يتعلق الأمر بالربح المالي، فإن الوضع ليس مشجعا.وسيكون من غير

المنصف لبرامج تطوير الطاقات المتجددة، وبالتالي تطوير تكييف الهواء الشمسي إذا اعتمدنا فقط على الجانب الاقتصادي فقط. يجب أن نتذكر أن الهدف الأساسي لاستخدام مصادر الطاقة النظيفة ليس تطوير الجانب الاقتصادي بل الحفاظ على البيئة.، فهو العامل الأكثر أهمية في نظر العالم حاليا. مما يسمح لنا أن نفهم أن استخدام هذه الطاقات النظيفة ليس مجرد استثمار مالي أو مصدر للربح، بل هو انخراط في تنمية مستدامة، أكثر نضجا، وتكاملا، وبالتالي أكثر فعالية.

المراجع

R. Z. Wang et all, Adsorption refrigeration – an efficient way to make good use waste heat and solar energy ; international sorption heat pump conference , June 22-24, 2005 Denver , USA

S. Kherris, D. Zebbar, M. Makhlouf, S. Zebbar et K. Mostefa ; Étude et analyse d'une machine frigorifique à absorption-diffusion solaire NH_3-H_2O-H_2 ; Revue des Énergies Renouvelables Vol. 15 N°3 (2012) 373 - 382

S. Sadek, M.Atalla, M. Salem Ahmed, M. Hassan and Ibrahim M. Shafie ; Solar Powered Adsorption Icemakers- Review ; Proceedings of 3rd International Conference on Energy Engineering ; Faculty of Energy engineering - Aswan University - Aswan – Egypt ; December 28-30, 2015

C. Hildbrand, Ph. Dind, F. Buchter ; A NEW SOLAR POWERED ADSORPTION REFRIGERATOR WITH HIGH PERFORMANCE ; Article parudans EUROSUN 2002, ISES Europe Solar Congress, Bologna, June 23-26 2002, ed. ISES Italia, Roma.

Julien Mayor et Philippe Dind ; Construction et test d'un réfrigérateur solaire à adsorption transportable ; École d'ingénieurs du Canton de Vaud / HES-SO / LESBAT – EIVD ; Rte de Cheseaux 1, CH-1400 Yverdon-les-Bains, 2003.

BENAHMED Lamia et BEN MOSTEFA Fatima Zahra ; Intégration d'un système de rafraichissement solaire au bâtiment. Faisabilité technico-économique, 2013, Faculté de Technologie ; UNIVERSITE ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN

FELLAH Ilyas et DJAIDER Rafik , Étude et conception d'un système

de climatisation utilisant l'énergie solaire, 2012, Faculté De Technologie ; UNIVERSITE ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN

Rémi CHEILAN ; la climatisation solaire ;école nationale d'ingénieurs deSaint-EtienneJuin 2004

Khaled BELHADJ ; Étude d'un refroidisseur d'une installation de réfrigération solaire à adsorption ; Université de Biskra ; Faculté des Sciences et de la Technologie, 2014.

D.S. Kima and C.A. InfanteFerreirab ; Solar refrigeration options – a state-of-the-art review ; International a l journal of refrigeration 31 (2008) 3 – 15

Thibaut VITTE ; Le froid solaire par dessiccation appliqué au bâtiment: Proposition d'une stratégie de régulation du système ; L'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2007.

ADEREE ; Guide techniquepour le chauffage,laventilationet la climatisation ; 2012.

Technology Brief; Solar Heating and Cooling for Residential Applications; IEA-ETSAP and IRENA© Technology Brief E21 – January 2015

R.Z. Wang, et all ; Technical development of rotary desiccant dehumidification and air conditioning: A review ; Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 130–147

Jianyong Chen ; Investigation of Vapor Ejectors in Heat Driven Ejector Refrigeration Systems ; ISBN 978-91-7595-387-8 ; Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration ; Department of Energy Technology ; Royal Institute of Technology, KTH

A.Alami, Benzaama.M, Lekhal.M.C, Makhlouf.M ,Khalfi.A; Machine frigorifiquesolaire à adsorption ; University of SidiBel Abbes, Laboratory of materials and reactive systems LMSR, BP 89, Cité ; 3èmeconférenceInternationale des énergiesrenouvelables CIER-2015 ; International Journal of Scientific Research & Engineering Technology (IJSET)

P. Bourseau et R. Bugarel ; Réfrigération par cycle d'absorption-diffusion : comparaison des performances des systèmes ; 206 Int. J. Refrig. 1986 Vol 9 July

Catherine Hildbrand, Olivier Cherbuin, Julien Mayor ; La Réfrigération Solaire A Adsorption ; Projet GebertRüfStiftung ; Article à paraître dans la Revue Générale du Froid, 2005

CATHERINE HILDBRAND, PHILIPPE DIND, MICHEL PONS, FLORIAN BUCHTER; A NEW SOLAR POWERED ADSORPTION REFRIGERATOR WITH HIGH PERFORMANCE; HES-SO - ECOLE D'INGENIEURS DU CANTON DE VAUD - LESBAT; 2012

M.KADJA, A.ZAATRI, H.CHEMANI, R.BESSAIH, S.BENISSAAD and K. TALBI ; ETUDE DES PERFORMANCES D'UN SYSTEME FRIGORIFIQUE A EJECTION ; Fourth International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution.ICEMAEP 2018, April 29-30, 2018, Constantine, Algeria.

Catherine Hildbrand, Olivier Cherbuin, Julien Mayor et Philippe Dind ; LA REFRIGERATION SOLAIRE A ADSORPTION ; PROJET GEBERT RÜF STIFTUNG ; la Revue Générale du Froid ; 2005.

النجاعة الطاقية في البنايات، منطقة مراكش نموذجا

الأستاذ بنشريفة رشيد

جامعة محمد الخامس الرباط، المملكة المغربية

مقدمة

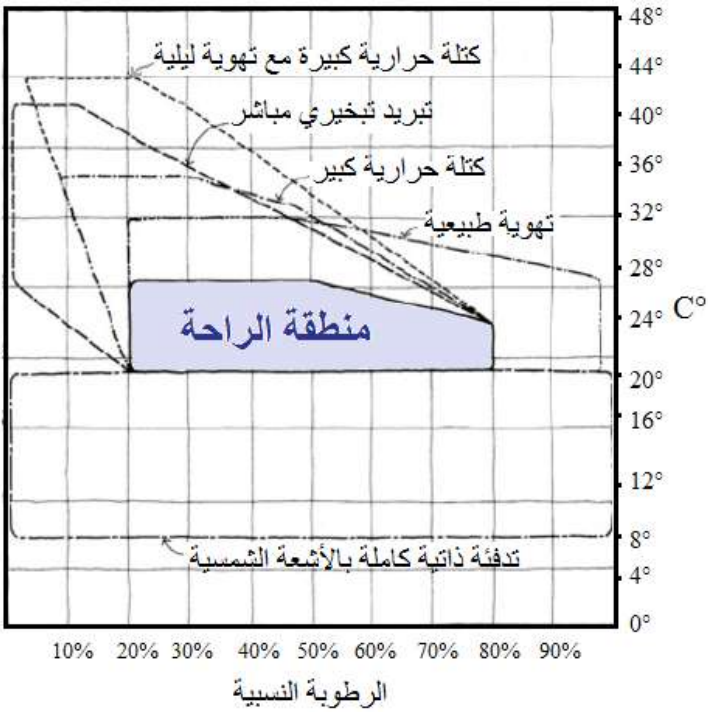
يحظى موضوع النجاعة الطاقية في البنايات الموفرة للطاقة حاليا باهتمام متزايد. عادة تمر مشارع البناء الحديثة بمراحل حاسمة، تبدأ باختيار الموقع المناسب لتحقيق توفير الطاقة بقربه منالخدمات ومن وسائل المواصلات الجماعية البديلة للسيارات الخاصة.وتحظى مرحلة تهيئة التصاميم بأهمية كبيرة، فالمباني الكبيرة تستهلك عادة الكثير من الطاقة في بنائها وعند استعمالها للسكن، فلهذا يجب الأخذ بعين الاعتبار النجاعة الطاقية للمبنى وكذلك توفير الراحة بتحديد حجم مناسب لشكل البناء يتناسب معمناخ المنطقة وكذلك مع التراث المعماري. تتم النجاعة الطاقية في البناياتبترشيد استهلاك الطاقة الخاصة بأنظمة التدفئة والتبريد والإضاءة أثناء التصميم وتوجيه البناية حسب مسار الشمس من الشروق إلى الغروب. سنحاول في هذه الدراسة تقديم نظرة شاملة عن الموضوع من الناحية العلمية والعملية وتقديم نظام البناء وبعض المشارع السكنية بالمغرب، وخاصة المشاريع المبرمجة في إطار المدن الاكولوجية الجديدة بمراكش ونواحيها.

النجاعة الطاقية في البنايات

فمن الأهداف الأساسية للنجاعة الطاقية استعمال الطاقات المتجددة في تغطية ما تحتاجه الساكنة من طاقة كهربائية وحرارية. واستعمال عوازل حرارية جيدة ونوافذ مناسبة والعمل على تحييد الجسور الحرارية التي تسمح بتدفقات حرارية سريعة. عموما يمتاز تصميمجيد لغلاف المبنى بتوفير حدود حرارية مناسبة بين البيئة الداخلية والخارجية للبيت، ويمنع تسرب الحرارة والهواء. ومن أهداف النجاعة الطاقية توافق تصميم البنايات مع مناخ الموقع وتناسبه مع اختيار وسائل التبريد والتدفئة والتهوية .

عموما يمكن تحقيق الراحة الحرارية والحد من الحاجة إلى التدفئة أوالتبريد في نفس الوقت.يأخذ تحقيق الراحة الحراريةبالاعتبار درجة حرارة الهواء ونسبة الرطوبة وسرعة حركة الهواء ومتوسط درجة حرارة الإشعاع الشمسي، وطبيعة أشعة الشمس المباشرة بالنسبة للمبنى، (الشكل 1). تُحدد عادة الراحة البيئية وفقا للإدراك الحسي للفرد، من درجة الحرارة والرطوبة ومستوى الإضاءة الموجودة في بيئته،وتتعلق الراحة الحرارية مباشرة بالعلاقة بين أداء الجسم البشري وشعورهبالرفاه،وبأنشطة الفرد داخل البيت وبنوع الملابس المستعملة، بحيث يُحول النشاط الذي يقوم به الفرد الطاقة الكيميائية إلى طاقة حرارية. وغياب ظروف الراحة الحرارية بالمباني له مخاطر صحية على الساكنة.

تتراوح نسبة تحقيق الراحة الحرارية من 80 % إلى 90 % من سكان المبنى عندما تتراوح الرطوبة النسبية بين20 % و50 % ودرجة الحرارة بين 20 درجة و27,7 درجة، وعندما ترتفع الرطوبة النسبية إلى 80 %، فإن مستوى درجة الحرارة المقبولة ينخفض من 27,7 درجة إلى 24 درجة.



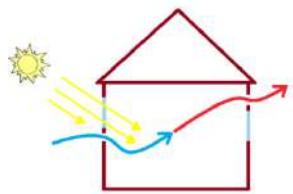
الشكل 1: تحديد منطقة الراحة الحرارية للإنسان

تُعتمد خريطة المناخ الحيوي في تحديد منطقة الراحة بناءً على درجة الحرارة والرطوبة النسبية، وذلك باستخدام وسائل ذاتية كالتدفئة الشمسية والتهوية الطبيعية، والكتلة الحرارية، والتهوية الليلية للكتلة الحرارية، والتبريد التبخيري.يُوظف المحتوى الحراري للمياه عند التبخر الذي يقوم بتخفيض درجة حرارة الهواءالجاف خلال انتقاله من الماء السائل إلى بخار الماء، وتتطلب هذه العملية طاقة أقل بكثير من أنظمة التبريد الميكانيكة.

أثبتت التدفئة الذاتية بالأشعة الشمسية فاعليتها في تحقيق الراحة الحرارية للإنسان، فدخول أشعة الشمس إلى المبنى عندما تنخفض الحرارة إلى أقل من 20 درجة تدفئ البيئة في الداخل، وجزء مهم من حرارة أشعة الشمس تخزنها الأرضية الخرسانية والجدران. وفي

المساءتعيد إشعاع هذه الحرارة للمحيط، وبالتالي تعمل على تدفئة السكان والمحيط الداخلي للمنزل عند انخفاض درجة حرارة الجوبالخارج.

أما فيما يخص دور التهوية (الشكل 2)، فهي تلعب دورا هاما في زيادة حدود منطقة الراحة الحرارية بحوالي 4 درجات عند نسبة الرطوبة ما بين 20 % إلى 50 %. وتحتفظ بهذه الزيادة في درجة الحرارة كلما ازدادت نسبة الرطوبة الى أن تصل 80 %، بعدها تعمل التهوية الطبيعية على تبريد السكن باعتمادها على حركة الهواء منخلال النوافذ ومداخل ومخارج المبنى. وللتحكم جيدا في حركة الهواء عند وجود سرعة عالية للرياح يتم استعمال المراوح.

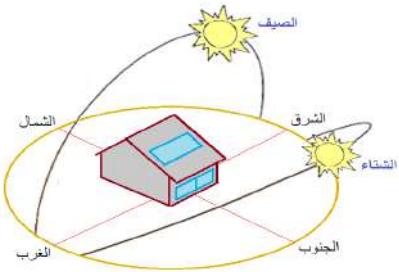


الشكل 2:

دور التهوية الطبيعية في تكييف الهواء بالسكن

يلعب تصميم المبنى دورا رئيسيا في تحديد العوامل المؤثرة على خفض الكسب الحراري والتبريد محققا بذلك ترشيد استهلاك الطاقة. يتحكم التصميم في الكمية الإشعاعية للشمس التي يتلقاها المبنى،ويتحكم في حركة الهواء داخل الفضاءات الداخلية. يرتكز التصميم على عدة عوامل لتحقيق الكفاءة الحرارية منها: الأداء الحراري لمواد البناء المستعملة في تكوين غلاف المبنى، والمواد والأساليب المستعملة لتحقيق عزل حراري جيد، والشكل الهندسي للمبنى، وتحديد حجم النوافذ والمساحات الزجاجية بالنسبة للغلاف الكلي.

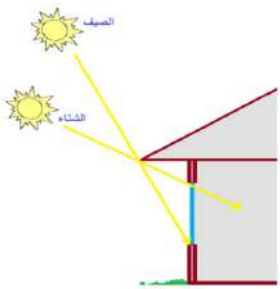
لتحقيق كفاءة حرارية جيدة للمبنى، يجب تحديد توجيه المبنى بالنسبة لمسار الشمس على مدار السنة (الشكل 3)، وعموما يُؤخذ المحور الطولي للمبنى في اتجاه شرق-غرب، بحيث تتوصل الواجهة الشمالية للمبنى بأقل كمية حرارية، والواجهة الجنوبية تكون معرضة أكثر لأشعة الشمس، وتتوصل بكمية مهمة من الحرارة في فصل الشتاء. ويجب الأخذ بعين الاعتبار شكل وارتفاع المباني المجاورة بالنسبة لمسار الشمس في فصلي الشتاء والصيف، وذلك لتحديد المناطق التي تقع في الظل والمناطق المُوَجهة مباشرة للشمس، ويجب أن تكون جميع مكونات المبنى التي لا تحتاج إلى إضاءة كثيرة في الجهة الشمالية كالممرات والسلالم ودورات المياه، أما الغرف الخاصة بالنوم وغرف المعيشة فتكون في جهة جنوب شرق أوجنوب غرب.



الشكل 3 :
توجيه المبنى بالنسبة للمسار الشمسي على مدار السنة

يحدد الشكل الهندسي للمبنى العلاقة بين المبنى وعناصر المناخ بالمنطقة، بحيث يُمَكِّن من تقليل تأثير عوامل المناخ المتغيرة في البيئة الداخلية للمبنى. فتنوع أشكال المباني من مساكن متصلة ومساكن منفصلة ومساكن تتوفر على فناء، ومساحة الغلاف الكلية الخارجية للمبنى، تلعب دورا هاما في تحديد كفاءة الأداء الحراري. الكفاءة المنشودة هي تحقيق حمل حراري في فصل الصيف وفصل الشتاء يوفر الراحة الحرارية على مدار السنة، والتقليل بالتالي من استهلاك الطاقة سواء للتدفئة أوالتبريد.يلعب التصميم المحكم لمكونات غلاف المبنى دورا هاما في التحكم المباشر في كمية الحرارة النافذة من خلال تلك المكونات سواء كانت مكونات الجدران أومكونات السقف أوالأرضية. لقد تطورت خصائص مواد البناء وأصبحت أكثر فعالية واستجابة لحاجيات الإنسان ومتطلباته لتحقيق العزل الحراري، فالمواد لها خاصية عازلة للحرارة تحد من تسرب وانتقال الحرارة من داخل المبنى إلى خارجه في فصل الشتاء ومن خارجه إلى داخله في فصل الصيف.

يسمح تظليل المباني بتجنب الكسب الحراري الشمسي المباشر، ويتم ذلك عبر استخدام حواجز لأشعة الشمس الساقطة على النوافذ، خاصة في فصل الصيف. وتسمح بنفاذها إلى داخل المبنى في فصل الشتاء حين يتغير المسار الشمسي. وهناك عدة أساليب لتحقيق الظل في المباني كالمانعات الشمسية أو كواسر الشمس العمودية أوالأفقية، والتشجير بالأشجار التي تسقط أوراقها في فصل الخريف وتكون عارية في فصل الشتاء، بحيث تسمح بوصول أشعة الشمس إلى داخل المبنى، وتورق عندما يقبل الربيع وبالتالي تحمي المبنى من أشعة الشمس الحارة في فصل الصيف.



الشكل 4 :
تظليل المباني لتجنب الكسب الحراري الشمسي المباشر

النظام الحراري في البنايات

تهدف الاستراتيجية المتبعة إلى تحقيق تخفيض الاستهلاك في المبانيبوضع النظام الحراري. الهدف من النظام هو تقديم الحد الأدنى من الشروط لتحسين احتياجات التدفئة والتبريد مع تحسين الراحة الحرارية، وتتلخص هذه الشروط في الحد من استهلاك الطاقة الخاصة بالإضاءة وبتسخين المياه والتدفئة وتكييف الهواء، وفي تحسين الراحة الحرارية والبصرية للساكنة، وتحسين تصميم الأنظمة الطاقية.

تحدد مراسيم التطبيق للنظام الحراري معايير اختيار المعدات الطاقية، فتحدد التدفئة في فصل الشتاء في 20 درجة وتكييف الهواء في فصل الصيف في 26 درجة، وهي الحرارة التي توازن بين الراحة الحرارية في الغرفة واستهلاك الأجهزة. يتم استعمال المصابيح المنخفضة الاستهلاك للإضاءة وإنتاج المياه الساخنة بتركيب سخانات المياهالخاصة بالطاقة الشمسية، مع عزل حراري لأنابيب المياه الساخنة، مع العلم أن الأنابيب السيئة العزل تتسبب في فقدان 25٪ من الطاقة الحرارية.

ولتعميم هذه التكنولوجيات الجديدة للنجاعة الطاقية وإظهارجدواها التقنية وتقييم أثرها الاقتصادي، يجب تشجيع استعمال معايير كفاءة استخدام الطاقة في المبنى،ودعم استعمال العزل الحراري من الداخل والخارج للمباني الجديدة مما يتيح توفير 20 في المائة من استهلاك الكهرباء سنويا. يشمل الدعم كذلك تركيب سخانات المياه بالطاقة الشمسية واستعمال الزجاج المزدوج لتحقيق الراحة الحرارية والصوتية وتخفيض متطلبات التدفئة والتبريدبنسبة 10٪.

تدبير الحرارة بالمباني

المسكن عبارة عن مجمع مكون من مواد مختلفة، لها علاقة مباشرة بالبيئة باردة أوساخنة حسب الموسم والظروف الجوية.ولتلبية راحة السكان، من المستحسن تنظيم التبادلات الحرارية بالتحكم في التدفق الطاقي من خلال العزل الحراري.

وقبل التطرق للفعالية الحرارية لمواد البناء، والعزل الحراري للمواد، سنعرض بعض الجوانب الفيزيائية الخاصة بالحرارة في البنايات. تنتشر الحرارة في مبنى سكني بثلاث طرق مختلفة: عن طريق التوصيل الحراري، أوعن طريق الحمل الحراري، أوعن طريق الإشعاع الحراري. وهذا له تأثير مباشر على كيفية تصميم المبنى وعلى اختيار المواد المستعملة في البناء.

يتم التوصيل الحراري عن طريق انتشار الحرارة من خلال عنصر واحد أو أكثر في اتصال مباشر. واتجاه تدفق الحرارة يكون دائما من العنصر الساخن إلى أبرد عنصر. الكمية الحرارية التي تنتشر تتناسب مع عامل التوصيل الحراري الخاص للمادة والفرق في درجة الحرارة بين

جهتين. إذا لم يكن هناك فرق في درجة الحرارة، لا يوجد تدفق حراري. في فصل الشتاء مثلا، فإن تدفق الحرارة يخترق طبقات مختلفة من الموادالمكونة لجدار المبنى من الداخل، بسرعات مختلفة اعتمادا على طبيعة المواد المستعملة في بناء الجدار، وتنتشر لتصل إلى الخارج. ويكون هذا الانتشار الحراري بطيئا بالمواد الأقل توصيلا حراريا،وهذا التأثير جد مطلوب في فصل الشتاء. أما فيما يخص الحمل الحراري، فهونقل الحرارة من الجسم الصلب إلى الجسم السائل أوالغازي أوالعكس، وكمية الحرارة المنقولةتتناسب مع الفرق في درجة الحرارة بين العناصر، ومع سرعة الهواء وكذلك مساحة سطح الاتصال. فمثلا الجدار المعرض لرياح باردة وقوية سيبرد بسرعة كبيرة. وأخيرا التوصيل الحراري عن طريق الإشعاع الحراري، حيث تنقل الحرارة من جسم الى آخر بواسطة الأشعة تحت الحمراء. ففي المباني، يتم انتقال الحرارة من الهواء المحيط إلى الجدار جزئيا من الإشعاع وجزئيا من الحمل. وداخل الجدار، تنتشر الحرارة عن طريق التوصيل الحراري.

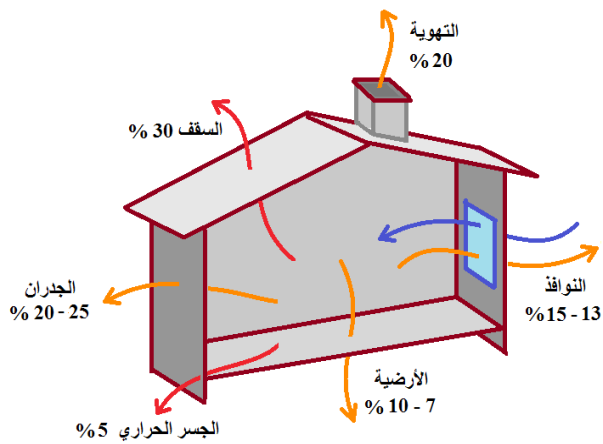
تتلخص الخصائص الحرارية للمواد في معامل التوصيل الحراري والمقاومة الحرارية. يمثل معامل التوصيل الحراري التدفق الحراري للمتر المربع الذي يمر من خلال متر واحد من مادة متجانسة. وتتميز المواد العازلة بمعامل توصيل حراري منخفض.مع أن هذا المعامل لا يساوي أبدا الصفر، لأن هناك دائما نقل الحرارة. ويعبر عن معامل التوصيل الحراري ب λ وبوحدة قياس (واط/ م كلفن). أماالمقاومة الحرارية فتتميز مثلا في قدرة الجدار على مقاومة مرور الحرارة. بالنسبة للمواد المتجانسة فهي تساوي نسبة سماكة المادة بالمتر لمعامل التوصيل الحراري، ويعبر عنها ب R وبوحدة قياس(متر مربع/واط). لهذا يمكن أن نرفع المقاومة الحرارية بالزيادة في سمك المواد المستعملة في البناء. وهناك ما يسمى بالمقاومة الحرارية السطحية وتمثل المقاومة الحرارية لمرور الحرارة الهوائية.

تبادل الغازات والخسائر الحرارية في المباني

كما هوالحال مع التدفقات الحرارية، يحدث تبادل الغازات بين داخل المبنى وخارجه. في بعض الحالات يكون هذا التبادل للغازات مرغوبا فيه، لأن غيابه قد يزيد من خطر التلوث في الأماكن المغلقة، ويتسبب في تكثيف البخار الذي ينتج عنه التعفن والتسمم. ومن الضروري التحكم في تبادل الهواء بين الداخل والخارج.في فصل الشتاء مثلا، يكون الهواء الداخليأكثر دفئا ورطوبة منالهواء الخارجي، مما يؤدي إلى تكون تيار غازي من البخار يتسرب للخارج من خلال الجدران. بخار الماء يمر أساسا عن طريق الحمل الحراري، أي مع تدفق الهواء،ويمر أيضا من خلال الانتشار الحراري من خلال الجدران. في الصيف يحدث العكس: التيار من خارج المبنى

إلى داخله. وإذا دخل بخار الماء في اتصال مع عنصر بارد، يتكثف ويتسبب في نموالفطريات. وتحدث هذه الظاهرة في المنازلالغير معزولة حراريا وسيئة التهوية.

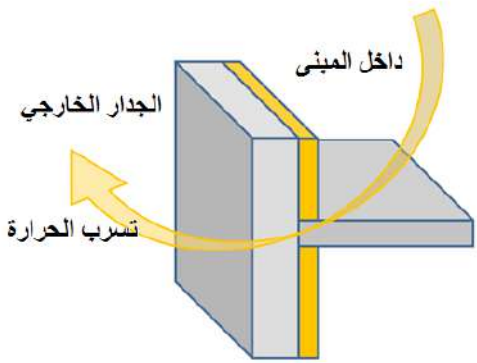
ولمقاومة التسربات الهوائية من داخل المبنى إلى خارجه أو العكس يجب العمل على تحديد أماكن التسربات في جميع أنحاء غلاف المبنى ومعالجتها. فعلى سبيل المثال الاتصالات بين الجدران والسقف والجدران والنجارة، ونقاط عبور الأنابيب أوالشقوق في هيكل البناية .ولذلك يجب أن يكون العزل جيدا، لمنع تسرب الهواء الساخن. وهذا يعني أن العناصر العازلة يجب أن ترتبط تماما مع بعضها البعض ومع هياكل المبنى. والشيء نفسه ينطبق على الحواجز البخارية، لأنهاتشارك أيضا في مقاومة تسرب الهواء.تحدث الخسائر الحرارية بالمباني بشكل دائم بسبب خصائص المواد المستعملة في البناء أوطبيعة الغلاف الخاص بالمبنى. وهي إما: خسائر حرارية عن طريق الانتقال الحراري أوعن طريق التهوية. في منزل غير معزول حراريا، عادة تكون الخسائر الحرارية أكبر في فصل الشتاء على مستوى الجدران. تزيد التهوية الطبيعية وغير المتحكم فيها من الخسائر الحرارية (الشكل 5). وعمومايتسرب حوالي 30٪ من الحرارة من خلال السقف، و25٪ من خلال الجدران، و13٪ من الجدران الزجاجية، و7٪ على الأرض و5٪ من الجسور الحرارية.



الشكل 5: توضيح لفقدان الحرارة بمبنى

عموما تتواجد بالمباني أماكن يكون العزل الحراري بها ضعيفا، وتكون عادةعلى مستوى تغيّر واجهات الجدران (الشكل 6). وتسمى هذه النقاط الجسور الحرارية، ويتم قياسها من خلال

معامل خطي، ووحدة قياسها (واط/متركلفن). وهنالك نوع آخر من الجسور الحرارية تسمى الجسور المدمجة، وغالبا ما توجد عندالتقاء المواد العازلة للحرارة.إن تأثيرات الجسور الحرارية ذات شقين: فهي مصدر مهم لفقدان حوالي 40 في المائة من الحرارة ويمكن أن تسبب مشاكل تكثيف البخار. وتتواجد هذه الجسور عند زوايا الجدران الخارجية، ومواضع التقاء الجدران بالأسقف وعند التقاء الجدران بالأرضيات والسقف.



الشكل 6 : تسرب الحرارة عبر الجسور الحرارية

التصميم المناخي الحيوي للمباني

الهدف الرئيسي من التصميم لمناخ حيوي في المباني هوالحصول على ظروف معيشية طبيعية ومقبولة من حيث درجات الحرارة والإضاءة الجيدة والرطوبة والمجال الصحي.ويتم ذلك باستخدام الطاقة الشمسية، والطاقة الحرارية الأرضية، والرياح، واستخدام الوسائل التقنية الميكانيكيةما أمكن، مع تجنب استعمال طاقة أحفوريةعادة ملوثة وغير متجددة ومكلفة. ولترشيد استهلاك الطاقة وزيادة راحة المنزل، تؤخذ العديد من التدابير الفعالة والإيكولوجية، كاختيار هندسة ملائمة لبناء متراص، واختيار اتجاه ملائم للبناية حسب الشمس والظل، وكذا استعمال مواد البناء والعوازل الحرارية اللازمة.تنقسم استراتيجيات الهندسة المعمارية المناخية الحيوية إلى قسمين، الأول خاص باستراتيجية الشتاء، حيث يجب العمل على الاستفادة ما أمكن من الحرارة الشمسية والقسم الثاني خاص باستراتيجية الصيف حيث يجب حماية المبنى من الحرارة المفرطة.

استراتيجية الشتاء : لتحقيق أقصى قدر من المكاسب الشمسية السلبية، والهندسة المعمارية

المناخية الحيوية التي تفي بالوظائف التالية: الالتقاط والحفظ والبث أوالنشر. يلعب غلاف المبنى دور المحافظ، ولكن أيضا دور اللاقط كما هوالحال في الدفيئة، بحيث يتم التقاط أشعة الشمس من خلال الأسطح الزجاجية. فتصل هذه الإشعاعات إلى الجدران والأثاث والأرضيات داخل المبنى وتعمل على تسخينها وفقا لألوانها. ينتج عن هذا التسخين إعادة انبعاث الأشعة، ولكن على طول موجي أطول. الأشعة تحت الحمراء التي لا يسمح لها الزجاج بالمرور يعاد توزيعها داخل المنزل.للحصول على مسكنذي مناخ حيوي وعلى أفضل كفاءة ممكنة، يجب ملاءمة هندسة البناية وترتيب الغرف، وإحكام العزل الحراري للمبنى، واستعمال مواد بناء ثقيلة وكبيرة لتخزين الحرارة وتخفيف أثر التقلبات في درجات الحرارة.في الجهات ذات المناخات المعتدلة، يجب أن يكون القصور الذاتي للمبنى، أي قدرته على الحفاظ على الحرارة، مُهما ليكون قادرا على الاستفادة من الطاقة الشمسية السلبية بمجرد التقاط الحرارة وتخزينها، يجب أن يعاد انتشارها، لهذا فتخطيط المنزل مهم جدا، فمن الضروري أن تكون الغرف الرئيسية تصل إلى الواجهة الجنوبية للبناية، الجهة التي تمثل مصدرا للحرارة، ثم تنتشر الحرارة إلى الغرف التي تتواجد في الجهة الشمالية. يجب ترتيب الغرف لتحقيق هذه الغاية. أما المواقع التي تحتاج إلى تدفئة أقل أومتقطعة مثل المرآب، والحمام، والمرحاض فيتم تصميمها في الجهة الشمالية للمنزل.استراتيجية الصيف: للحصول على راحة حرارية جيدة في الصيف، من الضروري حماية المنزل من الإشعاعات الشمسية العالية، فالإشعاع الشمسي المفرط يمكن أن يسبب ارتفاع درجة الحرارة وخلق حالة عدم الراحة الحرارية وضعف الراحة البصرية للسكان. ولهذا يجب اعتماد واقيات طبيعية أواصطناعية من الشمس للحد من اختراق الإشعاع. ويجب كذلك تقليل مساهمة الحرارة الخارجية المتولدة عن الهواء الساخن للمحيط والحد من التنقل الحراري بين داخل وخارج المنزل. وللحصول على الراحة الحرارية يجب كذلك الحد من تسلل الهواء الطفيلي المحمل بالغبار والتلوث إلى الداخل وتجديد الهواء باستخدام أفضل للتهوية الطبيعية المتحكم فيها، بحيث يتم تعميم الهواء داخل المنزل وإلى الغرف التي لا تصل إليها أشعة الشمس. فالتهوية تعد عنصرا أساسيا في بنية المناخ للمنزل. وعلى العموم يجب تجنب أن تكون ترتيبات الراحة الشتوية مصدرا لعدم الراحة في فصل الصيف. فالهندسة المعمارية الحيوية لديها أدوات وشروط كشكل ترصيص وتهيئة المنزل وشكل السقف، وبهوخاص لمدخل البناية، وتوجيه البناية بالنسبة لمسار الشمس في الشتاء والصيف، وتوجيه النوافذ، واستعمال مواد بناء لها قصور ذاتي حراري يمكنها من تخزين واستعادة الطاقة الحرارية.

أدوات الهندسة المعمارية المناخية الحيوية

من أجل تحقيق الهندسة المعمارية المناخية الحيوية،يجب اعتماد أدوات وأساليب هندسية ذكية لتطبيقها على مغلف المبنى، وذلك لتقليل فاتورة استهلاك الطاقة مع الحفاظ على بيئة لطيفة داخل المنزل مع تعاقب فصول السنة. وسنقتصر على تقديم تصميم السكن وشكل السقف وبهومدخل المبنى وتوجيه المنزل والنوافذ.

جميع تصاميم المباني ليست متساوية من حيث أداء الطاقة،وكلما كانت مساحة أسطح الجدران الخارجية كبيرة، زادت الخسائر الطاقية. ولذلك يجب اعتماد بناءبأعلى تراص ممكن. التصاميم المدمجة تحسن توزيع الحرارة،والتجويفات، والشرفات، والأجزاء البارزة في المباني تزيد من تسريب الحرارة.فالبيوت المتراصة بجانب بعضها البعض مثلا أكثر كفاءة من الناحية الحرارية من المنازل المستقلة بنفسها. ومنزل من طابقين لديه خسائر أقل من منزل على مستوى واحد. عموما كلما كان الشكل أقرب إلى مكعب، كان الأداء الحراري أفضل والمبنى أكثر كفاءة في استخدام الطاقة. عادة لتحقيق العمارة المناخية الحيوية يجب استخدام أسقف منخفضة ومنحدرة لأن لها ميزة تحويل الرياح يعمل بهومدخل البناية على معادلة الضغط والحرارة عند مدخل المبنى، بحيث يسمح بإنشاء مساحة عازلة بين الداخل والخارج، ودرجة حرارة متوسطة. وبهذه الطريقة يتم تقليل الخسائر الحرارية بشكل كبير، وتجنب الصدمات الحرارية التي تنتج من الفرق كبير في درجة الحرارة بين داخل وخارج المنزل.

كمصدر للطاقة الحرارية، فإن أشعة الشمس هي عامل مناخي ينبغي أن نستفيد منه من خلال النوافذ الزجاجية، فأشعة الشمس تعتمد على مسار الشمس الذي يختلف وفقا للمواسم، فالجنوب مشمس على مدار السنة، ومن السهل التحكم في قوة ضوء الشمس التي تكون في حدها الأقصى في فصل الشتاء وفي الحد الأدنى في الصيف. في فصل الشتاء، تخترق الشمس المنخفضة بعمق المنزل، بينما في فصل الصيف، تكون الشمس في مستوى أعلى بحيث تخترق المنزل بعمق أقل. في حين لا يتلقى الشمال أي إشعاع شمسي بحيث يستوى مستوى الضوء طيلة العام. أما في الشرق والجنوب الشرقي والغرب والجنوب الغربي، فتكون أشعة الشمس أفقية تقريبا، تخترق مجال الغرفة ويصعب التحكم فيها. ولهذا يجب الأخذ بالاعتبار كل هذه المعطيات عند تصميم المبنى.

توجيه المنزل له مؤثرات مباشرة على استهلاك الطاقة. عموما يجب اختيار التوجه الجنوبي للواجهة الرئيسية مع الأخذ بعين الاعتبار الرياح السائدة، بحيث يكونالسقف منخفضا ليُحول اتجاه الريح دون معارضته. الشرفة وغرف المعيشة، وهي من أهم عناصر المنزل، يجب أن

تقع في الجهة الجنوبية للاستمتاع مجانا بشمس منخفضة في فصل الشتاء.وتقع باقي الغرف في الشرق، المكان المثالي للاستمتاع بالشمس في الصباح. ويمكن وضع الغرف الفنية (الحمام، المرحاض،محل الغسيل، المرآب، الخ) ومساحات التخزين في الشمال، مع فتحات صغيرة للخارج. وتشكل هذه الغرف، الأقل سخونة، منطقة عازلة بين الخارج ومساحة المعيشة.

تنظيم وتصنيف البناء الحديث في المغرب

يرتكز نظام البناء الحديث على مكونين، مكون سلبي يتعلق بمتطلبات أداء الطاقة لغلاف المباني (العزل الحراري للجدران، والتوجه، ومواد البناء) ومكون فعال (الإضاءة، وتكييف الهواء، والتدفئة، والتهوية، والأجهزة الكهربائية..). لتطبيق تنظيم حديث يتم اعتماد خريطة تقسيم المناطق المناخية بالمغرب، بالارتكاز على مقاربتين، مقاربة قائمة على الأداء الخاص بمستوىالمتطلبات السنوية محددة للتدفئة والتبريد، بوحدة قياس (كيلوواط ساعة/مترمربع. سنة)، بالمقارنة مع درجات الحرارة في الأماكن المرجعية،ومقاربة توجيهية مكملة للأولى، وخاصة بالمستويات لكل نوع من المباني وكل منطقة مناخية، على شكل معاملات قصوى للانتقال الحراري بالجدران والسقفوبالأرضيات المنخفضة والعوامل الشمسية بالنوافذ. ويتم تقديم الآثارالاجتماعية والاقتصادية والطاقية والبيئية المتوقعة لهذا التنظيم الحراري وفقا لكل منطقة مناخية ولكل نوع من المباني.

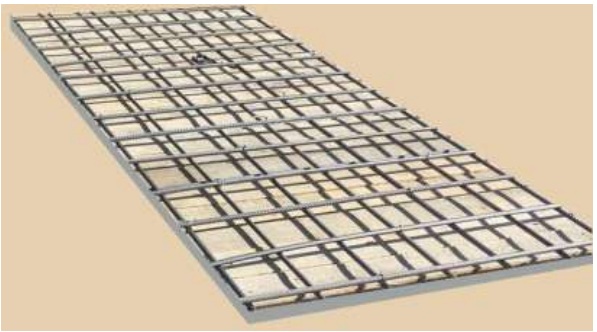
المبنى عموما هوالبناء المستدام للعقار ويستعمل للسكن أولنشاط اقتصادي أوصناعي. ويرتكز تصنيف المبنى المغربي على تطوير قطاع سكني وقطاع للخدمات، والقطاع الزراعي، وهي قطاعات مهمة في تنمية البلد، ويرتكز كذلك على الحفاظ على ما هوتقليدي في المغرب والتكيف مع الاتجاه الذي يهدف إلى الجمع بين تقنيات البناء الحديثة في البلدان الأكثر تقدما، مع العادات التقليدية النموذجية في العمارة المغربية. والنتيجة النهائية تسعى إلى توفير راحة جيدة للساكن مع الحفاظ على التراث الثقافي.عموما، يتم تصنيع العناصر الهيكلية في الموقع. بعض شركات مواد البناء تقدم منشآت مسبقة الصنع. ويعتبر هذا البديل أكثر تكلفة، ولكنه يسمح للباني بتوفير الوقت.تتكون الجدران الخارجية للمبنى من عدة أنواع من المواد، جدار من الطوب أوجدار خرساني أوجدار الحجر أوجدار الجص.وعموما، نجد في المغرب جدرانا مبنية بالطوب والخرسانة. الطوب مادة مقاومة له صفات حرارية جيدة،وتتواجد الإنشاءات الطوبية في جميع أنحاء المغرب. هناك أنواع مختلفة من الطوب للبناء. يقدم الجدول 1 أنواع الطوب الأكثر استعمالا.يتكون الجدار الخارجي النموذجي (من الخارج إلى الداخل)، منالجص الخارجي المكون من مزيج من الجير والإسمنت والرمال ثم الطوب الخارجي المجوف ، والهواء بين الجدار

الخارجي والداخلي، ثم الجدار الداخلي ثم الطلاء الداخلي والخارجي. أما أرضيات الطوابق فهي مسطحات أفقية تفصل بين طابقين من مبنى وقادرة على تحمل الأثقال المثبتة بالطابق، في حالة الطابق الأرضي من المبنى فالأرضيات عبارة عن سطح عازلة للحرارة والصوت. ويمكن أن تكون إما بلاطة مصمتة أو بلاطة مضلعة أي مفرغة.

الجدول1: أنواع الطوب الأكثر استعمالا في المغرب

نوع الطوب	الصورة	الاستعمال
جوفاء الطوب		الطوب الأكثر استعمالا، يمتاز بوزنه الخفيف وعازل للحرارة.
الطوب الأحمر		طوب تقليدي وصلب، يستخدم لبناء جدار حامل أوغير حامل،ويستعمل لفرق الغرف في البناية. يختلف لون الطوب الأحمر حسب المنطقة التي يتم فيها تصنيعه.

البلاطة مصمتة(الشكل 7) : البلاطات هي الأرضيات،وتتكون من الخرسانة الصلبة المسلحة. وهي إما مسكوبة بالكامل بالموقع،أوجزئيا جاهزة أومسبقة الصنع بالكامل. وهذه البلاطات لديها سمك أكبر من 160 مم تسمح بعزل الصوت فيما يخص المباني الجماعية،ويتم تسليحها على النحوالتالي :



الشكل 7 : صورة لبلاطة مصمتة

بلاطة مفرغة (الشكل 8): تتكون الأرضيات المجوفة من 3 عناصر رئيسية، وهي إما بلوك

مفرغ يسمى غالبا بالهوردي على شكل قوالب، وإما الحزم الخرسانية المقواة أوالمسبقة الصنع التي تسمح بعقد جميع الأطراف وتقاوم جهد الشد بفضل تعزيزها بخرسانة مسلحة.

الشكل 8: صورة لبلاطة مفرغة

نظام البناء الحراري في المغرب

يحدد نظام البناء الحراري في المغرب مكونات غلاف المبنى، ومستويات الأداء وفقا للمنطقة المناخية ونوع المبنى. ويحدد الأشكال المختلفة لغلاف المبنى: الهندسة المعمارية لتوجيه المبنى حسب مسار الشمس، وشكل الجدران غير الشفافة، والزجاج المزدوج، كما يحدد شكل السقوف والأرضيات،وكذلك استعمال مواد العزل الحراري المتاحة في السوق، مع خصائصها الفيزيائية، وكيفية التعامل مع تقنيات تنفيذ العزل أثناء تشييد المبنى.

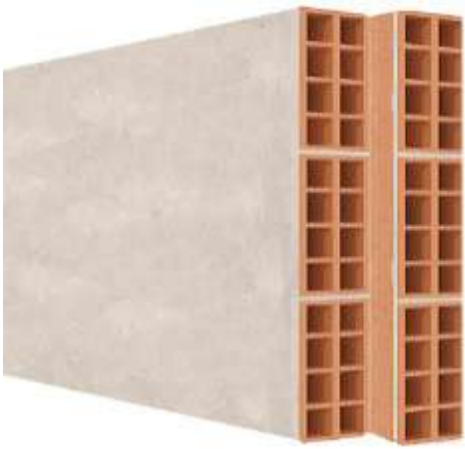
يشهد حاليا قطاع البناء السكني توسعا كبيرا في المغرب، وتتوقع زيادة كبيرة في تشييد المساكن في المستقبل. تقدر المساكن الجديدة التي سيتم بناؤها في العشرين سنة المقبلة بنحوثلاثة ملايين وحدة. وبالإضافة إلى ذلك، أصبح السكان أكثر طلبا للجودة من حيث الراحة في المباني، سواء الراحة الحرارية أوالصوتية، وتحقيق انخفاض في استهلاك الطاقة.وتصل التقديرات الممكنة لتوفير الطاقة في قطاع البناء إلى 40 في المائة. قياس تحسين الأداء الحراري لغلاف المبنى وحده يغطي 50٪ من هذه الإمكانيات، وذلك بفضل توفير الطاقة الخاصة بالتدفئة والتبريد بتحسين غلاف المبنى. ووفقا لعلم المناخ ونوع البناء، فأهم الخسائر الحرارية هي تلك التي يولدها السقف، تليها الجدران والنوافذ. ويعتبر تحسين الأداء الحراري لغلاف المبنى أحد أهم تدابير كفاءة الطاقة في قطاع البناء، نظرا لطول مدة تأثيره.ويعمل نظام البناء بالمغرب على إدماج النجاعة الطاقية في مشاريع البناء الجديدة.

العمارة المغربية جميلة ومتنوعة. لقد شكلها تاريخ المغرب الطويل، فضلا عن التأثيرات الدينية والثقافية والأنماط المعمارية. وتتميز العمارة المغربية بأنماطها الهندسية وألوانها الزاهية. ويستند بناء الرياض المغربي على مبادئ البيت التقليدي الذي يجمع بين الهندسة المعمارية المحلية، والظروف المناخية، وموقع البناء والمواد الطبيعية. وبفضل هذا التصميم المناخي الحيوي، يتحقق اقتصاد كبيرة في استهلاك الطاقة والتمتع براحة مناخية مناسبة في الشتاء وفي الصيف.

العزل الحراري في البنايات بالمغرب

العزل الحراري وفقا للمعايير الدولية، هوالمادة التي تخفض التبادلات الحرارية. تتميز مواد العزل الحراري بمقاومته الحرارية وبعامل التوصيل الحراري. ويمكن اعتبارمادة بناء عازلا حراريا إذا كانت نسبة سمكه إلى مقاومته الحرارية تساوي على الأكثر 0,065 واط/متر.كلفن، وإذا كانت مقاومته الحرارية تساوي على الأقل0.5 متر مربع.كلفن/واط.

يتكون القطاع السكني المغربي بشكل عام من ستة أنواع :الفيلاوهومبنى منفصل مع حديقة، والشقة في المبنى. والبيت المغربي التقليدي يشتمل على فناء في الوسط، وتحيط به الغرف. والمنزل المغربي الحديث هو بناء خاص بطابق واحد أوأكثر.وتم تصنيف السكن بالمغرب إلسكن ذي قيمة عقارية منخفضة، وسكن اجتماعي، وسكن اقتصادي، وسكن ذي معايير متوسطة، وسكن ذي معايير عالية. إن تشكيل البناء بالمغرب عموما متشابه في مختلف أنواع المباني،فالجدران الخارجية مزدوجة (الشكل 9)، تتكون عادة، من الخارج إلى الداخل، من طلاء خارجي من الاسمنت والرمل ثم طوب اسمنتي مجوف، ثم الهواء وطوب اسمنتي مجوف وطلاء داخلي.

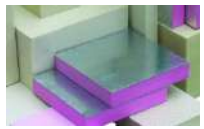


الشكل 9 :

تكوين الجدران الداخلية والخارجية

تنتج بعض المواد العازلة في المغرب محليا، مثل البوليسترين والبوليسترين الموسع (إبس) والفلين المتكتل، وهومنتج طبيعي وفير في البلد. ويتم كذلك استخدام مواد أخرى تقليدية، والتي لا يمكن اعتبارها من العوازل الحرارية لأن عامل التوصيل الحراري أكبر من 0,065 (واط للمتر. كلفن). يوجد في السوق المغربية مجموعة واسعة من المنتجات الخاصة بالعزل الحراري، مثل رغوة البوليسترين الموسعة؛ البولي يوريثان / رغوة البولي إيزوسيانورات؛ رغوة البوليسترين المسحوبة بالضغط، الصوف المعدني، الفيرميكوليت. على العموم هذه المنتجات تتكون من مصادر عضوية أو مواد معاد تدويرها، مثل ألياف القنب، والفلين الموسع، وحشوالسيليولوز، وألياف الكتان، وصوف الأغنام، وما إلى ذلك.ونقدم في الجدول 2 بعض خصائص المواد العازلة الأكثر استعمالا.

الجدول 2: خصائص منتجات العزل الحراري

الصوف المعدني هوعبارة عن ألياف مصنوعة من المعادن الطبيعية أوالاصطناعية. مادة عازلة ذات كفاءة عالية، وتتميز بعزلها للحرارة والصوت ومقاومتها للحريق.	
البوليسترين المتوسع هومادة عازلة للحرارة في حالة الرغوة. ولا تتدهور خصائصه مع مرور الزمن. هي مادة خفيفة الوزن، عازلة للحرارة وصديقة للبيئة.	
رغوة البوليسترين المسحوبة بالضغطهي مادة عازلة للحرارة حديثة،ذات جودة عالية من حيث العزل، مُقاومة للرطوبة، مقاومة للانضغاط.	
رغوات البولي إيزوسيانورات والبولي يوريثان من بُولِيمَرات عضويّة. ويمكن استخدامها كعازل حراري للمباني، وللقنوات في صناعات التدفئة والتهوية.	

البناء التقليدي بمنطقة مراكش جنوب المغرب

أحدث التطور الحاصل في مجال البناء تحولا في نوعية مواد البناء المستعملة، بحيث هيمن حاليا استعمال المواد الحديثة مثل الخرسانة عالية الأداء. إلا أن هنالك جهودا لإعادة تطوير المواد التقليدية مثل الطوب اللبن، الجبس، الخشب، الكتل الترابية المضغوطة، الخرسانة الرملية.الميزة الرئيسية لمواد الأرض الطبيعية هي تواجدها بوفرة في موقع البناء.وهذه المواد الطبيعية ليست مخصصة فقط للفقراء، فمدينة مراكش مثلا تزخر بالمباني الفاخرة، ومؤسسات سياحية كبيرة مبنية بتراب الأرض. وتتميز هذه المواد بوظائف حرارية جيدة. عموما المباني الطينية التقليدية تكون باردة في الصيف ومعتدلة في فصل الشتاء، وأكثر عزلة عن الضجيج الخارجي.يشكل البناء

بتراب الأرض نموذجا من التراث المغربي الثابت الذي تتميز به المناطق الجنوبية الصحراوية لملاءمته الظروف المناخية للمنطقة. يتم البناء بمجموعة من التقنيات،كتقنيات الألواح،والطوب المدكوك، وباستعمال مواد متواجدة بالمنطقة كالتراب وكالطين والحجر،والخشب. ويمتاز هذا البناء بظروف صحية جيدة للإنسان.

هناك طريقتان عريقتان لاستخدام مواد البناء مباشرة من الأرض. تعتبرتقنية دك تراب الأرض واحدة من أقدم وسائل البناء في تاريخ البشرية، وتستعمل أقدم مواد البناء في العالم. 30٪ من السكان العالم يعيشون اليوم في مساكن ترابية. دك تراب الأرض وتعرف بالتابوت، والطوب المصنوع من مزيج الطين والتراب والقش استعملت بشكل واسع في بناء القصور والقصبات وأسوار العديد من المدن العتيقة، والجدران الثقيلة الحاملة للبيوت. تتكون الأرض المدكوكة من عناصر خشنة وغير متجانسة، تتراوح من الحصى إلى العناصر الدقيقة من الطين. فأسوار مراكش مثلا هي عبارة عن مزيج من الأرض والحجارة والكلس. يقوم العاملون بدك تراب الأرض بمدك، بين لوحين خشبيين يتراوح حجمهما بين 50 و70 سم، وطولهما من متر إلى 3 أمتاروارتفاعهما من 80 إلى100 سم.ولتحسين خصائص مزيج التراب والطين المستعمل، تخلط مواد الأرض مع الجير والألياف النباتية وقليل من الاسمنت. تحتوي جدران المدن المغربية الكبرى على الكثير من الجير حوالي 50 ٪ بفاس ومكناس وحوالي 15٪ بالرباط ومراكش. محتوى الماء له تأثير كبير على خصائص دك تراب الأرض، ويتراوح في المتوسط بين 10 و20 ٪. " وتصل كثافة الجدارمن 1,7 إلى 1,9 طن/م^3.

تعتمد طريقة البناء بالألواح على أن يتم اختيار الموقع المناسب حيث تتواجد المواد الصالحة للبناء كالتراب المختلط بالحجر الصغير والطين، بعد سقي الموقع بالماء جيدا. يتم حفرالأساس بعمق يتناسب مع نوع التربة المتواجدة بالموقع. يستعمل حجر متوسط الحجم بارتفاع يسمح بحماية البناء من مياه الأمطارالتي قد تتسبب في انهيار الجدار. يتم وضع الألواح فوق الأساس الحجري على شكل تابوت (الشكل 10). ويوصل بينهما بأذرع من الخشب ويربط عليهما بالحبال ثم يوضع مزيج من التراب والجير،وفي بعض الحالات قليل من الاسمنت.عادة يتم تحضيرالخليط التي يتم عجنه وترطيبه بالماء قرب مكان البناءوتخزينه لبعض الوقت. يتم طرح طبقة أولى من التربة يبلغ طولها حوالي 12 سم في التابوت، ويتم دكه بالقدمين ثم بالمدك حتى تصبح مكونات الخليط متجانسة ومركزة وصلبة. وتضاف طبقة جديدة من التراب، وهكذا حتى يصل الخليط المضغوط إلى الحافة العليا من القالب. يتم تفكيكه وإعادة تجميعه في المكان الموالي. وتعاد نفس العملية حتى يتم إنهاء بناء الحائط ويصبح ملتحما كأنه قطعة واحدة. يتطلب بناء الجدار يومين إلى ثلاثة أيام ليجف.

الشكل 10 : طريقة البناء بالألواح

تعتبر هذه التقنية الطبيعية والاقتصادية الأكثر إيكولوجية، ويرتبط دك الأرض بالمعايير البيئية. فالأرض، المادة الخام محلية ومتوفرة،ولا تتطلب عملية صنعها سوى القليل من الجهد. وسمك الجدران الترابية البالغ حوالي 50 إلى 70 سم يمنحها الصفات المثالية والثمينة للتنظيم الحراري والصوتي في الصيف والشتاء. تتميز الجدران بتنظم الرطوبة، فلا حاجة للتهوية الميكانيكية، وتحقق الراحة عن طريق الجمود الحراري (inertiethermique) الذي يحافظ على الحرارة في الشتاء والبرودة في فصل الصيف، ويسمح بتجنب التدفئة أوتكييف الهواءوبالاقتصاد في استهلاك الطاقة. خلافا للاعتقاد الشائع، فإن تكلفة البناء بالتراب المدكوك أقل بكثير من تكلفة المواد الحديثة.

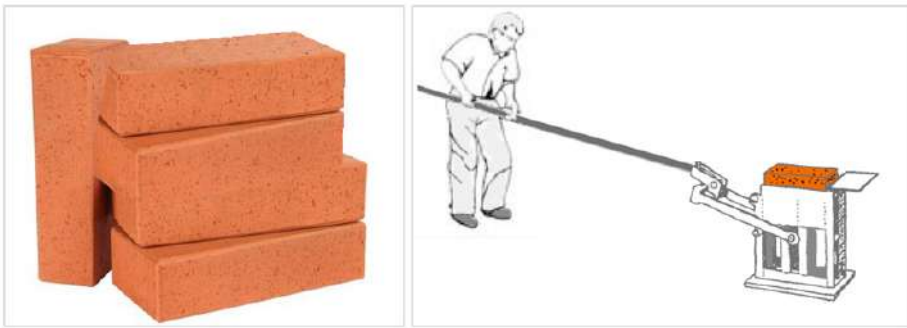
الشكل 11: صورة لبنايات بتراب الأرض المدكوك

الطوب الطيني: تتمثل تقنية البناء بالطوب الطيني في خلط التربة الطينية مع القش 1٪ من الوزن، ويمثل الماء 20 إلى 25٪ (الشكل 11). ويمكن إضافة الكلس. يتكونالطوب الطينيفي الغالب من عناصر دقيقة، ما يقرب من 40 إلى 50 ٪ من الطين. يتم ضغط هذه العناصر في

قالب خشبي، ويعرض للشمس حتى يجف. ثم يتم تجميعها بواسطة طين الأرض لبناء جدران. حاليا هنالك عمليات جديدة لتحسين صناعة الطوب الطيني باستعمال كتل الأرض المضغوطة.

الشكل 11: الطوب اللبن

يعود استعمال كتل تراب الأرض المضغوطة لعدة عقود. يتم إنتاج هذه الكتل الترابية المضغوطة إما بقالب خشبي بسيط، أوبآلة ضغط يدوية أو صناعية (الشكل 12). تتكون الكتل الترابية المضغوطة من خليط من أنواع مختلفة من التربة والرمل والطين والطمي، وبالتالي يحصل الخليط على خصائص حرارية وميكانيكية قريبة من خصائص التكتلات الاسمنتية أوالخرسانية خفيفة الوزن. تتميز الأنواع المختلفة من الكتل الترابية المضغوطة بحجم الحبيبات ومستوى التثبيت ومحتوى الماء، ويحسن الضغط الآلي الأداء الميكانيكي للكتلة الأرضية المضغوطة.



الشكل 12: تحضير طوب بتراب الأرض المضغوط

تصل القوة الميكانيكية لطوب الطين بشكل عام إلى ما بين 3 و8 ميجاباسكال.أما الخصوصيات الحرارية فإن الأرض، على عكس الاعتقاد الشائع، ليست مادة عازلة، بل لديها قصور حراري

ممتاز. هذا ما يجعلها تنظم الاختلافات في درجة الحرارة الداخلية (بارد في الصيف، دافئ في الشتاء)، ويجعل المنزل المبني من تراب الأرض مسكنا يتنفس. في المتوسط 1700 كيلوجول للمتر المربع لكل درجة حرارة مئوية، يعني عند تسخين أو تبريد كتلة بحجم متر مكعب بدرجة حرارية واحدة نحصل أو نمد بطاقة حرارية قدرها 1700 كلوجول.يضمن بيت الطوب المضغوط الأرضي انخفاضا حراريا للغرف بنسبة 30٪ مقارنة بنفس الجدار من الرمل/الاسمنت. بنفس الطريقة، فإنه ينظم محتوى الرطوبة بشكل مثالي، ويجنب جفاف المنزل أوتطور العفن الفطري. ومن المعروف أيضا أنه عازل جيد للصوتويضمن الراحة المثالية للساكنة.

عزل حراري للمنزل باستعمال الطين

التأثير الأول للبناء بتراب الأرض هو الجمود الحراري للجدار: الجدار من التراب المضغوط يصل سمكه إلى 50 سم، لذلك عندما تُسخن الشمس الجدار الخارجي، يستغرق الأمر نصف يوم على الأقل قبل أن تبدأ الحرارة المقابلة في عبور الجدار. وهكذا، في الخريف والشتاء والربيع، يتم استعادة الحرارة التي يتم التقاطها خلال النهار ليلا. هذا ما يفسر، جزئيا، تأثير تكييف الهواء الطبيعي المعروف في المنازل الطينية. أما في فصل الصيففالشمس تكون فيأعلى مستواها بحيث يقل تعرض الجدران للإشعاع الشمسي.

التأثير الثاني مرتبط بتغير الحالة الفيزيائية للماء المنحبس داخل الجدران،فالجدران المبنية بالطين والتراب المضغوط تمتص بخار الماء الناتج من الاستخدام العادي للمنزل من قبل سكانها (الاستحمام، والطبخ، والتنفس ...). كما أنها يمكن أن تمتص ارتفاع سائل المياه الشعرية من القاعدة أومياه المطر من الواجهات الخارجية. يتراكم هذا الماء في الجدار خلال المراحل الرطبة والباردة (فصل الشتاء). ثم يتم استعادتها عن طريق التبخر في الجو الخارجي والداخلي خلال المراحل المشمسة الدافئة (فصل الصيف). فعندما يتغير الماء من الحالة السائلة إلى الحالة بخار، تنخفض درجة حرارة الجدار، وعندما يمر الماء من حالة بخار للحالة السائلة، واستعادة هذه الطاقة، فإنه يزيد من درجة حرارة الجدار. تراب الأرض المضغوط له كثافة تتراوح ما بين 1700 إلى 2200 كيلوغرام للمتر المربع. وتتراوح قيمة التوصيل الحراري (الجاف) من 0,45 إلى 1,6 واط للمتر كلفن، وسعة حرارة حرارية تبلغ حوالي 900 جول للكيلوغرام كلفن. بالنسبة لحجم يبلغ مترا مربعا من الحائط أي مساحة 2 متر من الحائط بسمك 50 سم، يحتوي على 1٪ من وزن من الماء السائل، إذا كان كل هذا الماء يتبخر في 20درجة مئوية والضغط الجوي عادي، فالطاقة المستهلكة ستكون 12.5 كيلوواط ساعة، وهي الظاهرة الحرارية معكوسة، أي أنه إذا تم امتصاص 1٪ من الماء في شكل بخار بالجدار يتم استعادة نفس الكمية من الطاقة.أما فيما يخص كلفة

البناء، فمثلا تبلغ مساحة الأرض المبنية 5000 متر مربع، يبلغ حجم التراب المضغوط 2000 متر مكعب وتبلغ كلفة بنائه تقريبا 5 ملايين درهم، يعني كلفة 1000 درهم للمتر المربع المبني.

الطوب المحروق بالفرن: هو طوب طيني ثم تجفيفه وحرقه في أفران خاصة. يمتاز الطين المحروق بكثافة تتراوح من 1,4 إلى 1,8 طن/م ^{3} (الشكل 13)،ويتكون من تربة طينية رملية، مع نسبة مهمة من الرمل. يتم تحضير خليط تراب الأرض والطين، ويسقى حتى يصبح طينا. ويستغرق الأمر 48 ساعة، وتضاف إليه الألياف النباتية بنسبة 30 ٪ من الحجم الإجمالي.يفرغ بعدها في القالب،وهو عبارة عن إطار خشبي بسيط. يمكن للقالب أن يعطي طوبة واحدة أو أكثر.

الشكل 13: صور للطوب المحروق بالفرن

بناء الجدران باستعمال شبكة من الأسلاك مليئة بالحجارة الكبيرة والطبيعية

وهو بناء للمنازل باستعمال شبكة من الأسلاك مليئة بالحجارةالطبيعية، وهي تكنولوجيا مبتكرة تسمى "جدران الأحجار الحبيسة"، مستمدة من تقنية قفة التراب (gabion)، وتستخدم عادة لبناء الجدران الاستنادية، ولقد تم اقتراح هذه التقنية لبناء مباني اقتصادية لسكان جنوب مراكش (الشكل 14).

الشكل 14: بناء البيوت بشبكات من الأسلاك مليئة بالحجارة الطبيعية

تصنع الجدران الحاملة من أقفاص سلكية مصنوعة في الموقع ومليئة بالحجارة، ثم يغلف الحائط بالتراب والجير. وتهدف تكنولوجيا شبكة الأسلاك المليئة بالحجارة إلى التغلب على الصعوبة في توفير موارد مواد البناء لدى سكان جنوب مراكش وتوفير بناء يستجيب للخاصية المناخية للمنطقة. هذه التقنية توفر مباني اقتصادية وآمنة وصديقة للبيئة. ويهدف المشروع لنشر هذه التقنية على نطاق أوسع في البناء بنواحي مراكش.

بيوت من تراب من نوع القبة الاقتصادية (Eco-dôme)،

القبة الاقتصادية، مشروع شباب يقدم تصميم وبناء المنازل الصديقة للبيئة بكلفة جد منخفضة. مواد بناء القبة البيئية هي خليط من الأرض والاسمنت يوضع في أكياس بلاستيكية، ومزاياها عديدة، بما في ذلك العزل الحراري والصوت المثالي. وتبلغ تكلفة المتر المربع الواحد من هذه الموائل البيئية أقل بنسبة 45٪ من مساحة البيت الخرساني وتبني في نصف الوقت.

الشكل 15 : تصميم لبيوت من تراب من نوع القبة الاقتصادية

مقاومة الرطوبة في مباني الترابية باستعمال طلاء "تدلاكت"

بالنسبة للأماكن الرطبة بالمبنى، كالحمام والمطبخ، حيث يوجد تكثيف الندى والرطوبة، فإن طلاء "تدلاكت"(كلمة أصلها الدلك بالعربية) وهومن أفضل المواد لصيانة المباني الترابية. يُستخدم عادة لتغليف وصيانة الجدران. فتدلاكت هو جص (enduit) لامع ومقاوم للماء، تقليدي مصنوع بنسبة 50٪ من الجير و50٪ من الرمل وصفار البيض. بعد التحضير وتمليس الجدار، يتم بعد ذلك صقله بالحصى. عادة يستخدم لمقاومة الماء بالجدران. يمكن استخدامه كذلك في الداخل والخارج. وهو طلاء تقليدي للحمامات والقصور والرياض لقدرته على حماية الجدران من الرطوبة، ويستعمل في الأصل لحماية جدران الحمامات من الرطوبة. وقد استخدم أيضا في صنع الفخار والجِرار المغربية. تتكون مواد تدلاكت من الجير التقليدي بمراكش، ملون

بالأصباغ الطبيعية ومصقول بالحصى لإعطاء مظهر سلس وبراق. ومع تزايد الطلب، تم تحديث تقنية تدلاكت لتتكون من خليط مسحوق الجير والرخام.

من مزايا تدلاكت أنها تمثل طلاء بيئيا يعمل تماما مثل الخرسانة، بفضل خصائص الجير، فهي مضادة للبكتيريا والجراثيم الفطرية. ميزة أخرى لطلاء تدلاكت أنه يتحمل نسبة عالية جدا من الرطوبة، وبالتالي يتم استخدامه في غرف البخار. كما يسمح للجدران بالتنفس. وهومضاد لتكون العفن المتعلق بالرطوبة. وتتميز تدلاكت بطول مدة صلاحيتها التي تتمتد لعدة عقود إذا تم الحفاظ عليها بشكل جيد. إلا أن طلاء تدلاكت لديه بعض العيوب، فمن المهم وضع الطلاء بالشكل الصحيح وفقا للقواعد الفنية. ومن الضروري أيضا أن يتم إعداد الجدران جيدا قبل وضع طلاء تدلاكت. ينصح بالأساس بوضع طبقة أولية خفيفة لضمان التصاق جيد، وبمجرد الانتهاء من ذلك، يجب ترطيب الدعم قبل تمرير الطبقة الأولى، بحيث لا يتم امتصاص الماء من الطلاء مباشرة، وتترك لتجف طوال الليل. ثم يتم وضع طبقة ثانية، ويجب أن تكون أكثر سمكًا من الأولى. ويُترك الطلاء ليجف من جديد ليلا، ومن المهم مسح التدلاكت بطبقة من الشمع لزيادة مقاومته للماء وتثبيت الطلاء، ويحتاج طلاء تدلاكت بعض الأسابيع للوصول إلى الصلابة المنشودة.

مشاريع إيكولوجية رائدة للكفاءة الطاقية في منطقة مراكش

يغطي إقليم مراكش مساحة قدرها 2625 كيلومتر مربع ويبلغ عدد سكانها 1.330.468 نسمة، موزعين على 302،137 أسرة (2014)، وكثافة تبلغ 507 نسمة لكل كيلومتر مربع. وقد أثرت جوانب عديدة من الفضاء (السكن، والنقل، والشغل، ونوعية الحياة) على التطور الديموغرافي لسكان المدينة وغيرت هيكلها الجغرافي بالكامل. لقد أصبحوسط المدينة شديد التركيز، حيث يعيش 42.4٪ من السكان على 36٪ من أراضي المدينة. في السنوات الأخيرة عرفت المنطقة الجنوبية لمراكش العديد من المشاريع منها مثلا تجهيز وبناء مدينة تمنصورت.مدينة تمنصورت هي إحدى المدن الجديدة قرب مراكش، تقع على مساحة إجمالية تقدر ب 1930 هكتارا داخل تراب جماعة حربيل القروية التي تمتد على مساحة 25 ألف هكتار من إقليم مراكش. وهنالك عدد من المشاريع الإيكولوجية نحاول تقديم البعض منها:

قصور جكرندا، هو مشروع جزء من نهج التنمية المستدامة وكفاءة الطاقة. تصميم يدمج حلول التخطيط العمرانية والفنية والحضرية الصديقة للبيئة مع ضمان أقصى توفير للطاقة. بفضل هذه التقنيات، ستوفر المساكن بقصور جكرندا بيئة معيشة أكثر جاذبية.يمتد المشروع على مساحة 44 هكتارا ويتضمن المبادئ الخاصة بالتنمية المستدامة، ويعتمد في إنشائه على

مواد البناء الطبيعية منخفضة التكاليف وتستخدم أنظمة تُحقق ترشيد استخدام الطاقة ومياه الشرب، كما تتمتع بنظام بيئي يكفل التخلص الآمن من النفايات. يتميز هذا المشروع، بأبعاده الثلاثة المتمثلة في الجوانب البيئية والاجتماعية والاقتصادية، ويتضمن، أيضا، المبادئ الخاصة بالتنمية المستدامة، بحيث يحقق المشروع التوازن بين الإنسان ومحيطه وتحسين ظروف وإطار العيش في التجمعات السكنية، ويقتضي كذلك الرفع من عدد الفضاءات الخضراء، واحترام الهوية الحضارية في أنماط الهندسة المعمارية.

قرية التعايش الإيكولوجية ، قرية بيئية في أمزميز، تقع على بعد 53 كم من مراكش. يعتبر المشروع وسيلة للتوعية والتعايش البيئي الذي يمثل الثقافة المغربية. تقع القرية الصديقة للبيئة على مساحة 44 هكتارا، 26 ٪ منها فقط لبناء مساكن إيكولوجية تهدف إلى إقامة توازن بيئي.ويهدف المشروع إلى بناء منازل وحدائق من المواد المحلية مثل الخشب والأرض والجص، واستخدام تقنيات توفير الطاقة من خلال الطاقات المتجددة وكفاءة الطاقة والإدارة الجيدة لموارد المياه، بحيث سيتم الحفاظ على الموارد المائية ويتم جمع مياه الأمطارواستخدامها في الري.

الشكل 16: قرية التعايش الإيكولوجية

قرية ايت مركن ستي فاظمة: تقع قرية ايت مركن على بعد 60 كيلومترا من مراكش في وادي أوريكا،تقطنهاحوالي 60 أسرة في منازل من الحجر والطين. ويهدف المشروع الإيكولوجيلإعادة تطوير القرية، واستعمال الطاقات النظيفة، ودمج المعالجة المستدامة للنفايات والمياه العادمة، واستعمال المياه المعالجة للري، وخلق أنشطة مدرة للدخل من خلال التشجير، والحرف اليدوية، وتربية وتطوير خدمات النقل.

قرية أزرو: تقع قرية أزرو على طريق أسني جنوب مراكش. يهدف مشروع قرية أزرو الخضراء إلى دمج أنظمة معالجة النفايات ومياه الصرف الصحي، وتشييد أو إعادة تأهيل المباني، وإنشاء أنشطة مدرة للدخل كمطحنة الزيوت والأعشاب، والخدمات كالمدرسة والمستوصف. وكذلك اعتماد الطاقة المتجددة، وتجديد الشوارع، وتوسيع المساحات الخضراء.

دوار الشريفية:قرية واقعة على الطريق المؤدي إلى أمزميز،تتكون من 310 أسرة في مساكن من الطوب الخرساني غير مجهزة. يهدف مشروع قرية دوار الشريفية الخضراء، إلى إصلاحات في المباني والشوارع، ونقل وإصلاح مطاعم. كما تم التخطيط لتحسين أداء الطاقة في المبانى، وبناء جناح للتحكم في الطاقة الشمسية الحيوية ومعالجة المياه والنفايات.

الخاتمة

تسمح العودة للبناء بالطرق التقليدية وخاصة بتراب الأرض بالأساس إلى توفير الطاقة وراحة السكان. فكلفة البناء تختلف وفقا للمواد المستخدمة. البناء بتراب الأرض لديه آفاق واعدة في جنوب المغرب وخاصة مراكش ونواحيها. فالعديد من بيوت الضيافة والقصور بنيت في الماضي من الطوب والطين، وتتميز بالاندماج في الطبيعة المحيطة. تقنيات البناء المعتمدة هي تلك المستخدمة لقرون في بناء القصبة والقصور التي تمكنت من مقاومة الزمن، وترتكز على ترطيب وعجن ودك تراب الأرض بين لوحين من الخشب، وذلك باستخدام مدقة. وهناك طرق أخرى، يُستخدم فيها طوب من الطين مختلط مع التبن. لقد أصبح المعماريون مهتمين بهذه التقنيات في مراكش ونواحيها.ترتكز هذه الطريقة على صنع طوب من خليط الأرض والجير، مع إضافة الاسمنت في بعض الحالات. ويستخدم الجير أوالاسمنت للحصول على خليط متمازج وصلب، قبل ضغطه لزيادة قوته.بالإضافة إلى حماية البيئة، يوفر البناء بتراب الأرض العديد من المزايا أولها توفير الطاقة من خلال الحماية من تقلبات الطقس. ويتمتع تراب الأرض الخام بموصلية أقل من الخرسانة وقصور حراري أفضل مما يجعل من الممكن الحد من البرد في الشتاء والسخونة الزائدة في الصيف.الميزة الثانية هي وفرة المواد المستعملة في البناء على عين المكان، مما يجنب التنقل خارج موقع البناء. البناء بتراب الأرض سواء كان بالطوب أوكتلة التراب المضغوطة له عيوب أيضًا. أهمها تآكل الجدران مع الزمن بفعل المياه، فلذلك من الضروري إجراء صيانة دورية للجدران.

المراجع

قبابلة مبارك، دراسة بجامعة محمد خيضر ببسكرة، تطور مواد وأساليب البناء في العمارة الصحراوية ، سنة 2010

عبد المنطلب محمد علي أحمد، المفردات المعمارية لمباني الأقاليم الحارة الصحراوية، " كلية التربية الرياضية بجامعة أسيوط "، مجلة العلوم والتكنولوجيا المجلد(13) العدد (1)، 2008

وائل عواد العُقيلي وجواد آل يوسف، تقليل حمل التبريد بتطبيق منظومة غلاف المبنى الذكي ، المجلات الأكادمية العلمية ، 2008

R. U. Yehuda et all, "Designing Buildings for Low Energy Footprint", Institute of Environmental Studies, Prabhadevi, Mumbai. 2011

FathiBashier, (العمارة وتغير المناخة), National Ribat University Publications, Khartoum 2013

Mansour Majid, El Harrouni Khalid et Hassan Radoine, Architecture et EfficacitéÉnergétique, Dix cas de BonnesPratiques au Maroc, ÉcoleNationaled'architecture de Rabat, 2016.

María Marcos Cobaleda, La Huella De Siyilmasa En Las CercasAlmorávides De Marrakech Y Al-Andalus The Trace Of Sijilmasa In The Almoravid Walls Of Marrakech And Al-Andalus, Quiroga nº 8, julio-diciembre 2015, 10-22 · ISSN 2254-7037

Document de Projet du PNUD Code de l'efficacité énergétique dans les bâtiments résidentiels et renforcement de l'efficacité énergétique dans les bâtiments au Maroc, Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement(2013)

Kurt Marti, Catalogue d'éléments de construction avec calcul de la valeur U , Construction neuve, Office fédéral de l'énergie OFEN, Office fédéral de l'énergie, 2002

Mur de briques en terre crue, projet est financé par le programme MEDA de l'Union Européenne. , CORPUS, EuromedHeritage -(2012)

Loi relative à l'efficacité énergétique, n° 47-09, Ministère de l'Energie, des

Mines,de l'Eau et de l'Environnement 2015

Henri-Luc Thibault et El Habib El Andaloussi, L'efficacité énergétique dans le bâtiment en Méditerranée ; futuribles n° 376 - juillet-août 2011

Agence Nationale pour le Développement des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique (ADEREE), 9 modèles de construction efficace au Maroc |, www.aderee.ma 2011.

ADEREE ; Les bonnes solutions et pratiques sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment Pour une application optimale du Règlement Thermique de Construction au Maroc ; 2011

Efficacité énergétique dans le bâtiment pour la construction d'un savoir-faire national, Workshop du 14 avril 2013 ; Institut CDG, Novec.

Règlement thermique de construction au maroc (rtcm) ; développé par l'ADEREE comme un outil de présentation du règlement, 2013.

ADEREE ; guide technique sur l'isolation thermique du bâtiment au Maroc 2013

Mohamed Naim ; Les techniques de la construction en pisé ; sinag -Asinag, 7, 2012, p. 123-138

ALTO Ingénierie, Maisonen gabion,www.vivapolis-climat.com,

Ludovic JONARD, Construire en mur de pierres confinées ; Association de Solidarité Internationale ; Architecture & Développement ; 2011.

SADIK ; étude de cas ; Maison en gabion à Marrakech 26 JUIN 16

Michel MARTIN ; l'adobeton une technologie appropriée pour un habitat économique amélioré ; sud Sciences & technologies N°1 – Janvier 1998

Anaïs JEANJEAN , Régis OLIVES, Xavier PY, Olivier ROUGE , Eric VILA ; Comparaison de matériaux pour le stockage de chaleur/froid dans l'habitat. ; Laboratoire Procédés Matériaux Énergie Solaire PROMES-CNRS UPR 8521,

E. Baglioni, L. Rovero, U. Tonietti ;Drâa valley earthen architecture:

construction techniques, pathology and intervention criteria ; J. Mater. Environ. Sci. 7 (10) (2016) 3499-3508 Baglioni et al

Jaquin, Paul A.Jaquin, Paul A. (2008) Analysis of historic rammed earth construction, Durham theses, Durham ;University. Available at Durham

ElianaBaglioni; Book, Sustainable Vernacular Architecture: The Case of the Draa Valley Ksur (Morocco) ,Sustainable Architecture and Urban Development 2010

VasiliosManiatidis& Peter Walker ;Natural Building Technology Group ; A Review of Rammed Earth Construction forDTi Partners in Innovation Project 'Developing Rammed Earth for UK Housing' May 2003

ElianaBaglioni, Saverio Mecca, Luisa Rovero and UgoTonietti ; TRADITIONAL BUILDING TECHNIQUES OF THE DRÂA VALLEY (MOROCCO) digitAR, nº. 1, 2013, pp. 79-87

https://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/maison-en-gabion-a-marrakech.html

https://www.lemoniteur.fr/article/maroc-la-maison-en-gabions-recherche-des-fonds

http://www.taayoushcity.ma

آليات مبتكرة لتمويل الطاقات المتجددة

إعداد : الأستاذ زجلي إدريس

جامعة ابن طفيل - القنيطرة، المملكة المغربية

مقدمة

من أجل تخفيض الانبعاثات الحالية من الكربون إلى النصف، تقدر الوكالة الدولية للطاقة أنه يتعين استثمار 45 تريليون دولار أمريكي في الطاقات المتجددة على الصعيد العالمي في أجل 2050، وهذا يعادل ما يزيد قليلا عن 1 تريليون دولار أمريكي في السنة في المتوسط. وفي 2010 ، بلغ الاستثمار العالمي في الطاقات المتجددة رقما قياسيا بلغ 243 مليار دولار (برنامج البيئة والتمويل الجديد للطاقة في بلومبرغ، 2011)، أي ما يقرب من ربع ما هو مطلوب.

في حين أن خفض الانبعاثات العالمية إلى النصف يبدو مهمة شاقة، فإنه يقع في أسفل نطاق ما هو مطلوب. ومن أجل الحصول على فرصة معقولة للإبقاء على زيادات درجة الحرارة دون درجتين مئويتين ° 2.4 – س فإن الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ يقدر أن الانبعاثات العالمية تحتاج إلى الانخفاض بنسبة تتراوح بين 50 في المائة و 85 في المائة في2050.

لتحقيق ذلك؛ ينبغي أن تبلغ الانبعاثات العالمية ذروتها ب 2015 و أن تنخفض بسرعة بعد ذلك، ولكنها لا تزال تتزايد بمعدل متسارع. تقدر الأمم المتحدة أن درجات الحرارة العالمية يمكن أن تزيد بأكثر من ° 6 س على مدى القرن، وهو ما يتجاوز بكثير المستويات التي شهدتها الحضارة البشرية على الإطلاق (هانسن وآخرون، 2008)، وبالتالي فإن هناك تحديا مهما للعالم.

ومن بين الاستثمارات السنوية المطلوبة، وقدرها 1 تريليون دولار، هناك حاجة إلى حوالي النصف لتحقيق الكفاءة في استخدام الطاقة أو للاستعاضة عن التكنولوجيات القائمة على الوقود الأحفوري . هناك حاجة إلى 530 مليار دولار سنويا للمنشآت الحديثة، ولا سيما في الاقتصادات النامية. ومن المقدر أن 85 في المائة من هذا الاستثمار الإجمالي يتعين أن يأتي من مصادر خاصة (الوكالة الدولية للطاقة 2009).

ويبدو هذا الأمر شاقا، ولا سيما الاستثمار الخاص، ولكنه ليس مستحيلا. فالإعانات السنوية للوقود الأحفوري، على سبيل المثال، تبلغ حوالي 300 مليار دولار أمريكي في السنة، مما يعني أن الاستثمارات الطاقية في 2030 لا تمثل سوى 3 في المائة من الاستثمارات العالمية.

على الرغم من أن كثيرين يعتبرون أن مؤتمر الأطراف الذي عقد في كوبنهاغن في 2009 (COP15)كان كارثة، فإن مؤتمر كانكون في 2010 (COP 16) قدم أسبابا لمزيد من التفاؤل بشأن إمكانية التوصل إلى اتفاق عالمي . وعلى الرغم من الصعوبات التي تكتنف المفاوضات الحكومية الدولية، لم تتمكن الأزمة المالية والكساد، ولا الفشل في كوبنهاغن، من عرقلة نمو الاستثمار، فقد بلغت الاستثمارات العالمية في الطاقة المتجددة مستويات قياسية في 2010.

1- لماذا يعتبر الاستثمار الخاص في الطاقة المتجددة غير كاف ؟

قبل النظر في الكيفية التي يمكن بها زيادة الاستثمارات الخاصة بالقدر اللازم، نحتاج إلى فهم العقبات الحالية . ويمكن تنظيم هذه العقبات في ثلاث فئات:

1.اقتصاديات الطاقة المتجددة

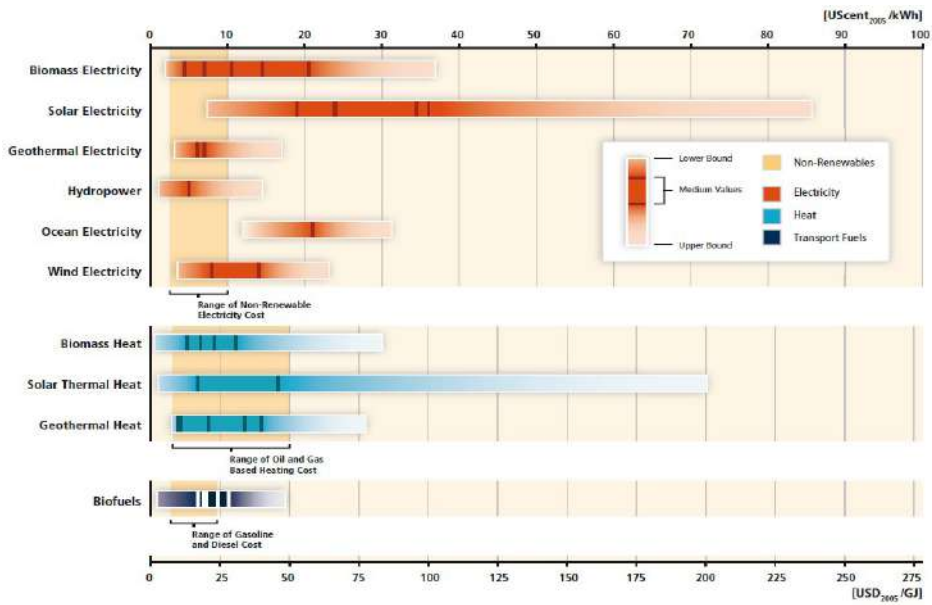
2.الإمداد بالتمويل

3.عدم التيقن والمخاطر

1.1 اقتصاديات الطاقة المتجددة

أولا وبشكل أساسي، فإن اقتصاديات الطاقة المتجددة ليست تنافسية في كل مكان، لأن تكاليف الإنتاج لكل وحدة من وحدات الطاقة تكون في بعض الأحيان أعلى من تكلفة الوقود الأحفوري.

الشكل 1-1 التكاليف النسبية لتكنولوجيات الطاقة المتجدد
مقارنه ببعضها البعض،وبالطاقة غير المتجددة



المصدر::IPCC, 2011

ويبين الشكل 1.1 أن تكاليف الطاقة غير المتجددة تتراوح بين 0.3 و 0.10 دولارا أمريكيا/ كيلوواط/ساعة، في حين أن معظم الأشكال المتجددة أغلى ثمنا ولها نطاق تكلفة أكبر بكثير.

وهذا يعكس جزئيا النضج النسبي للتكنولوجيات، ولكن الفرق الكبير في تكلفه إنتاج الطاقة المتجددة (تبعا لعوامل مثل سرعة الرياح ودرجات الكثافة الشمسية) هو أيضا عامل رئيسي. وأخيرا هناك مسألة نطاق: فقد تم تطوير تكنولوجيات الوقود الأحفوري وتحسينها وتصنيعها على نطاق متزايد لمدة قرن، وهذا ليس هو الحال بالنسبة لقطاع الطاقة المتجددة.

وتوحي جميع هذه العوامل بأن هناك مجالا لخفض تكاليف إنتاج الطاقة المتجددة كما يبين الشكل 1 . ومرة أخرى، يعكس هذا النطاق تفاوتا في مستويات توليد الطاقة، وكذلك اختلاف هياكل تكاليف الرياح الساحلية والبحرية. وأخيرا، فإن الكتلة الإحيائية والطاقة الحرارية الأرضية والطاقة الكهرومائية بصفة خاصة قادرة بالفعل على المنافسة مع الوقود الأحفوري في بعض الظروف (تقرير. IPCC)

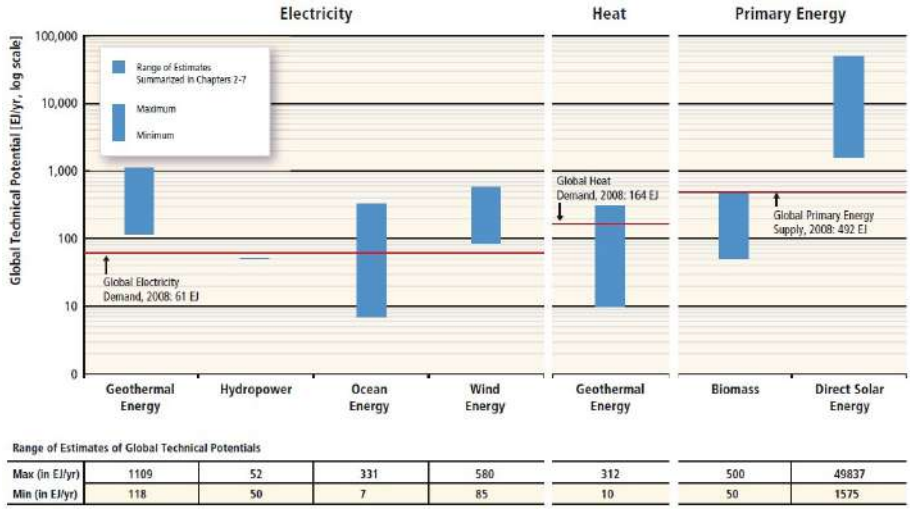
بالإضافة إلى التكاليف المطلقة لإنتاج الطاقة المتجددة، فإن التكاليف المتعلقة بالوقود الأحفوري هامه أيضا. وينبغي التشديد على ثلاث نقاط:

أولا، لا تعكس طاقة الوقود الأحفوري تكاليفها الاجتماعية الكاملة، ففي2006 ، وصف استعراض ستيرن تغير المناخ بأنه "أكبر فشل سوقي في التاريخ " حيث إن التكاليف البيئية المرتبطة بانبعاثات الكربون لا تدرج في أسعار السوق. هذه العوامل الخارجية لا تنعكس في الأسعار فحسب، بل إن الوقود الأحفوري مدعوم فعلا بمبلغ 300 مليار دولار سنويا . ومن شأن إلغاء هذه الإعانات وإدراج التكاليف الخارجية في تكاليف الطاقة غير المتجددة أن يغير بشكل كبير التكاليف. بالنسبة للطاقة غير المتجددة ، ستكون ضرائب الكربون مثالية، ولكن إذا لم يكن ذلك ممكنا من الناحية السياسية، فقد يكون من الصواب إضافة سعر ظل للكربون إلى تقييمات مشاريع الطاقة التي تقوم بها الوكالات العامة .

وثانيا، أن توفير الطاقة غير المتجددة في بعض الأماكن أكثر تكلفة من غيرها . فعلى سبيل المثال، كثيرا ما تكون المجتمعات الريفية في البلدان النامية غير موصولة بالشبكات، بحيث يكون إنتاج الطاقة المحلية، ولا سيما الطاقة الشمسية، أكثر قدرة على المنافسة منه في سياق شبكي كامل.

وثالثا، كما هو مبين في الشكل1.2 ، لا يوجد نقص في إمكانات الطاقة المتجددة على الصعيد العالمي. وفيما يتعلق بالطاقة الأولية، فإن من الممكن تقنيا بالفعل توليد مضاعفات عديدة لإمدادات الطاقة العالمية باستخدام الطاقة الشمسية. وعلى سبيل المثال، هناك طاقة كبيرة من الرياح أو الحرارة لتلبية جميع الطلب العالمي على الكهرباء اليوم.

الشكل 1.2 نطاقات الإمكانات التقنية العالمية لمصادر الطاقة المتجددة



Range of Estimates of Global Technical Potentials

Max (in EJ/yr)	1109	52	331	580	312	500	49837
Min (in EJ/yr)	118	50	7	85	10	50	1575

المصدر : IPCC, 2011:

ولعل الأهم من ذلك أن قدرا كبيرا من هذه القدرة العالمية على توليد الطاقة الشمسية يتركز في البلدان النامية كما يبين الجدول 1.1، ولكن هناك أيضا إمكانات كبيرة في مجالات أخرى.

الجدول 1.1 البلدان الثمانية الأوائل عالميا من حيث إمكانات الطاقة المتجددة بالنسبة لاستخدام الطاقة

سنوات محتملة في استخدام الطاقة	
منغوليا	66.19
موريتانيا	30.11
ناميبيا	28.14
تشاد	23.00
بوليفيا	20.15
النيجر	19.08
المصدر :اشتر وآخرون (2007)	

يسرد الجدول 1.1 ثمانية بلدان من العشر الأولى عالميا من حيث عدد السنوات الممكنة في استخدام الطاقة المتجددة.

ولذلك فمن الواضح أن هناك مجالا كبيرا لزيادة استخدام الطاقة المتجددة في البلدان

النامية .غير أن هذا ليس بلا حدود. وعلى الرغم من أنه يمكننا أن نتوقع أن تستمر تكاليف الطاقة المتجددة في الانخفاض بالنسبة للوقود الأحفوري، ولا سيما في البلدان ذات الإمكانات العالية للطاقة المتجددة، فمن المرجح أن يحتفظ الوقود الأحفوري بميزة التكلفة في معظم الحالات.

ويمكن استخلاص استنتاجين هامين من هذا الأمر:

أولا، يجب تغيير الاقتصاديات الأساسية للطاقة المتجددة بشكل مصطنع، إما عن طريق زيادة تكلفة الطاقة القائمة على الوقود الأحفوري مثلا عن طريق الضرائب أو آليات المكافأة أو عن طريق تخفيض تكاليف الطاقة المتجددة مثل الإعانات، أو عن طريق تعزيز العائدات إلى الطاقات المتجددة ، مثلا عن طريق دفع أقساط لهذا النوع من الطاقة.

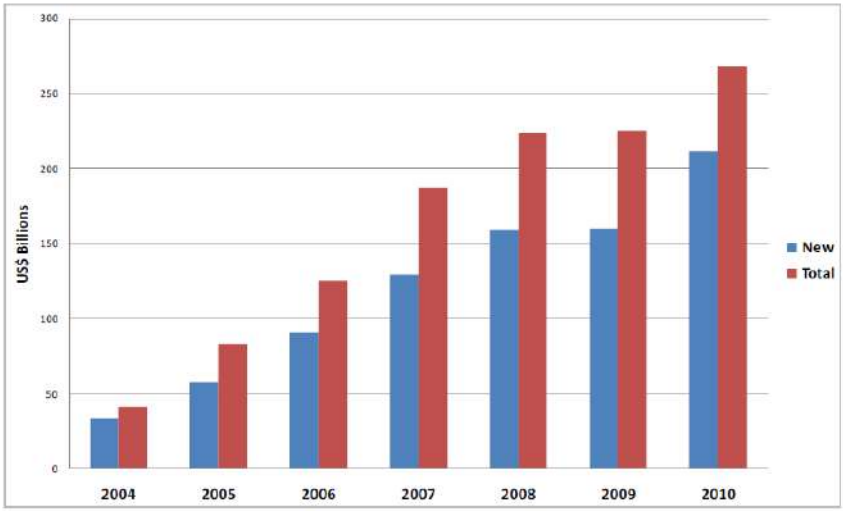
وثانيا، لا ينبغي أن يطلب من البلدان النامية أن تفي بهذه التكاليف. وفي الحالات التي يكون فيها استخدام التكنولوجيات المتجددة منطقيا من الناحية الاقتصادية، فإن هذه المسألة ليست مشكلة- فلا حاجة إلا إلى حوافز محدودة، ومن المعقول توقع تلبيتها محليا بسبب الفوائد التي سيجنيها البلد .غير أنه حيثما يمكن لتنمية القدرة على الطاقة المتجددة أن تضع البلدان في وضع غير موات للمنافسة و/أو لا تتحمل هذه البلدان أي مسؤوليه عن تغير المناخ، ينبغي أن تفي البلدان التي تتحمل هذه المسؤولية بالتكاليف. وتزداد هذه الحالة قوة في الوقت الذي تقوم فيه البلدان المتقدمة بتدعيم طاقة الوقود الأحفوري.

هذا يوحي بأنه، في معظم الحالات، ينبغي ألا يتوقع عموما من البلدان المنخفضة الدخل أن تقوم بتنمية قطاع الطاقة المتجددة.

1.2 الإمداد بالتمويل

وعلى الرغم من المسائل التي سبق وصفها ، فإن الاستثمار في الطاقة المتجددة، أي مجموع الاستثمارات الخاصة والعامة ، قد زاد بمقدار ستة أمثال في سنوات عديدة، من 41 مليار دولار أمريكي في 2004 إلى 268 مليار دولار في2010.

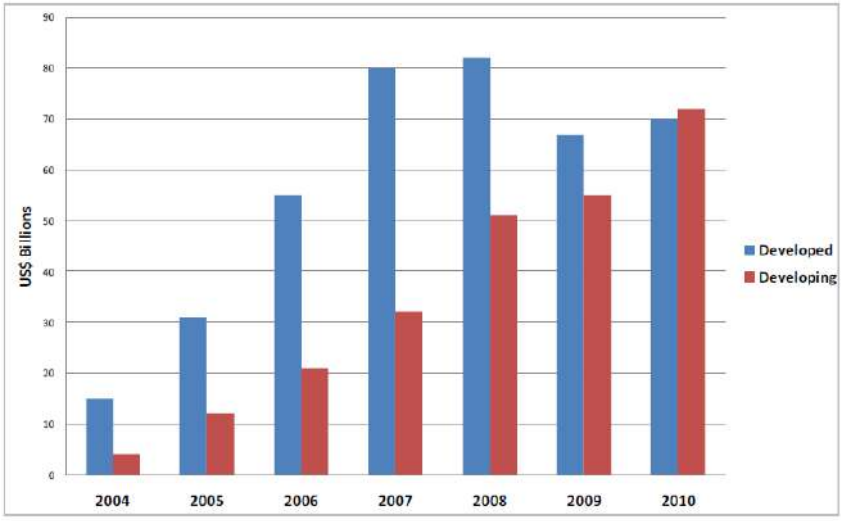
الشكل 1.3 الاستثمار العالمي في الطاقة المتجددة،10-2004



المصدر :برنامج البيئة للأمم المتحدة والتمويل الجديد للطاقة لبلومبرغ،2011

وعلاوة على ذلك، تجاوز الآن الاستثمار في الطاقة المتجددة في العالم النامي استثمار الاقتصادات المتقدمة بعد هيمنة هذه الأخيرة على الاستثمار العالمي لسنوات.

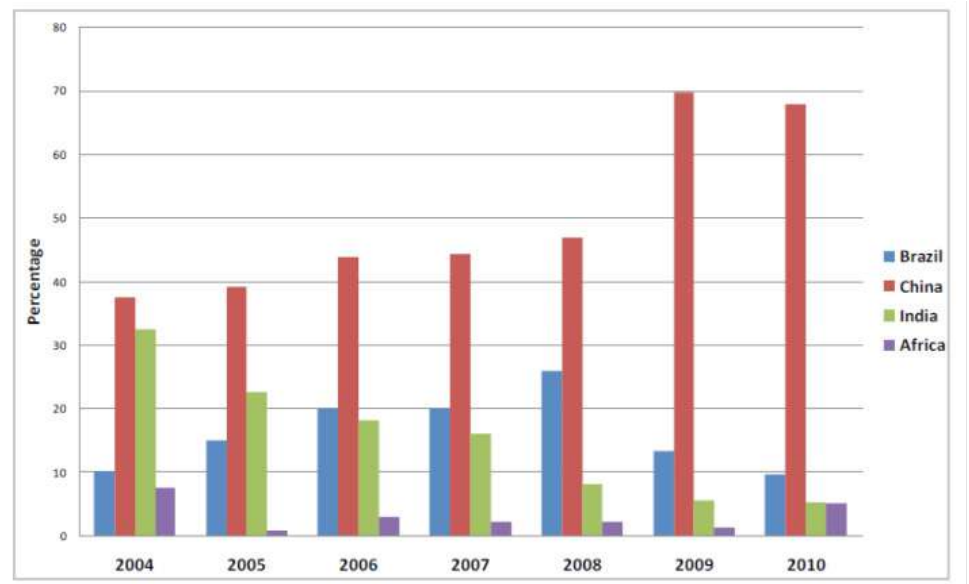
الشكل 1.4 البلدان المتقدمة مقابل النامية في الاستثمار في الطاقة المتجددة



المصدر: برنامج البيئة للأمم المتحدة والتمويل الجديد للطاقة لبلومبرغ، 2011

وفي حين شهدت جميع المناطق النامية نموا سريعا، فإن الأرقام الإجمالية لحجم الاستثمارات تهيمن عليها الصين ثم البرازيل والهند ، على النحو المبين في الشكل.1.5

الشكل 1.5 حصة استثمارات البلدان النامية في الطاقة المتجددة



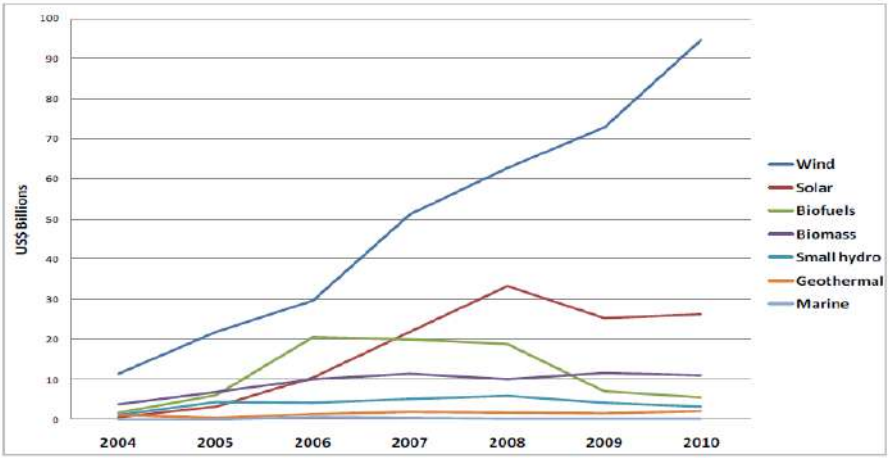
المصدر :برنامج البيئة للأمم المتحدة والتمويل الجديد للطاقة لبلومبرغ،2011

ويبين الشكل 1.5 أن الصين استأثرت بنحو 70 في المائة من مجموع استثمارات البلدان النامية في 2009 و 2010. تليها البرازيل بحوالي 10 في المائة، ثم الهند والقارة الإفريقية بحوالي 5في المائة فقط في2010.

وعلى الرغم من أن الشكل 1.5 يبين انخفاضا مطردا في حصة الهند، فإن الاستثمار الهندي بلغ بالقيمة المطلقة ثلاثة أمثاله خلال هذه الفترة . وفي الوقت نفسه، نما الاستثمار المتجدد في البرازيل 17 مرة، بينما شهدت الصين زيادة في الاستثمار بلغت 33 ضعفا . وبحلول2010 ، كان الاستثمار الصيني في الطاقة المتجددة أكبر بكثير في العالم، تقريبا بقدر أوروبا والولايات الأمريكية مجتمعة.

وفي إفريقيا، أظهر الاستثمار في الطاقة المتجددة نمطا مختلفا نوعا ما . فقد نما بين2004 و 2009، من 300 مليون دولار إلى 700 مليون دولار، وهو ما لا يتجاوز 1 في المائة من استثمارات البلدان النامية في تلك المرحلة.

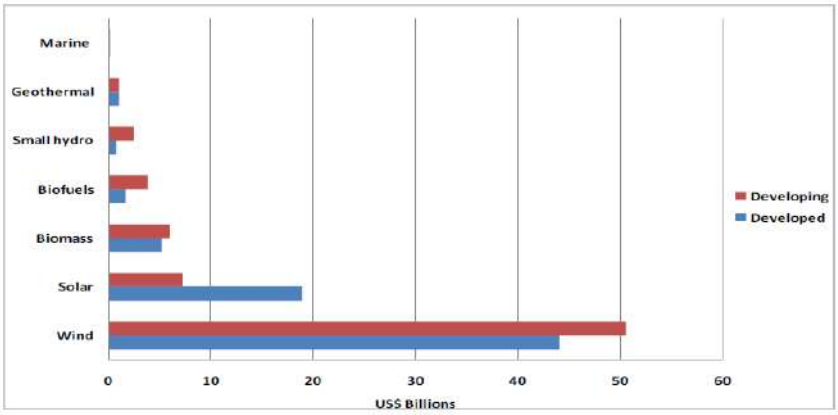
الشكل 1.6 الاستثمار العالمي المتجدد حسب القطاع، 2004 - 2009



المصدر :برنامج البيئة للأمم المتحدة والتمويل الجديد للطاقة لبلومبرغ،2011

وعلى الصعيد العالمي، تستحوذ الطاقة الريحية على أكبر حصة من الاستثمارات الدولية، حيث بلغت 66 في المائة في 2010 والقطاع الأكبر التالي هو الطاقة الشمسية، مع ما يزيد قليلا عن 18 ٪ . وعندما نقارن الاستثمار القطاعي للبلدان المتقدمة والبلدان النامية في الشكل1.7 أدناه، نرى أن هيمنة الطاقة الريحية كانت أكثر وضوحا بالنسبة للبلدان النامية في 2010 ويعزى ذلك بالكامل تقريبا إلى الزيادة الهائلة في الاستثمارات الصينية في مزارع الرياح الواسعة النطاق.

الشكل 1.7 التنمية مقابل الاستثمارات القطاعية المتقدمة 2010



المصدر: برنامج البيئة للأمم المتحدة والتمويل الجديد للطاقة لبلومبرغ، 2011

ومن المثير للاهتمام ملاحظة أن استثمارات البلدان المتقدمة في الطاقة الشمسية كانت أكثر من ضعف ما استثمرته البلدان النامية، ولا سيما بالنظر إلى التركيز الأعلى بكثير للإمكانات الشمسية في هذا المجال الأخير.

لم تكن اقتصاديات الطاقة المتجددة مواتية بما فيه الكفاية لاجتذاب الاستثمار الخاص على النطاق المطلوب. وكما رأينا في الفقرة 1.2 ، فقد أدى ذلك بالحكومات- بدرجات متفاوتة وبطرق مختلفة- إلى تقديم الدعم المالي لهذا القطاع بأشكال متنوعة.

وهذه المسالة تتعلق جزئيا بالتكاليف والإيرادات النسبية. وفي الحالات التي تكون فيها تكاليف الطاقة المتجددة أعلى من الوقود الأحفوري، كما هو الحال عموما، تكون عائدات الاستثمار أقل . ويمكن التعويض عن ذلك بإحدى طريقتين: إما عن طريق دعم التكاليف، من خلال الحوافز أو المنح المالية مثلا، أو عن طريق زيادة العائدات مباشره (دفع قسط مقابل الطاقة المتولدة من مصادر متجددة، على سبيل المثال).

2 الآليات المالية

2 . 1 آليات لتغيير اقتصاديات الطاقة المتجددة

سنستكشف في هذا القسم آليات مختلفة لتغيير اقتصاديات الطاقة المتجددة

2-1-2 خفض تكاليف المصادر المتجددة

إذا كان الهدف من الضرائب المفروضة على الوقود الأحفوري هو تشجيع التحول نحو الطاقة المتجددة، فإن تقديم إعانات للطاقة المتجددة يؤدي نفس الوظيفة التي يؤديها تغيير الأسعار النسبية . غير أن العديد من البلدان اختارت أن تعمل بشكل مباشر على تحفيز البحث والتطوير والابتكار وخفض تكاليف الوحدات.

وهناك عدد من الطرق لتقديم الإعانات، وكلها تخفض التكلفة المباشرة أو غير المباشرة . أولا، يمكن تقديم المنح لإعانة النفقات الرأسمالية . وثانيا، يمكن تقديم القروض بأسعار تساهلية، إما مباشره أو كجزء من نموذج" التمويل المختلط". وثالثا، يمكن تعزيز الجدارة الائتمانية للمقترض من خلال توفير بعض أشكال الضمان . وفيما يتعلق بنماذج الإعانات المثلى التي اقترحتها بلازي و ريكوات(2005) ، فإن هذه آليات تقلل من الحواجز التي تحول دون دخول القطاع وتجعل التمويل أيسر منالا وميسور التكلفة.

فعلى سبيل المثال، تسعى مؤسسة تنمية مشاريع الطاقة الريفية التابعة لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) إلى تخفيض حواجز الدخول بتوفير رأس المال الأولي لأصحاب المشاريع

في مجال الطاقة المتجددة في البلدان النامية . ويركز المشروع على المشاريع الابتكارية الصغيرة النطاق، التي من غير المرجح أن تجتذب التمويل التجاري، ولكنها تنطوي على إمكانات كبيرة للتوسع . ومن المشاريع ذات الأهداف المماثلة، التي تعمل في جميع أنحاء آسيا وإفريقيا، مرفق المساعدة الرأسمالية الأولية. وبدلا من العمل مباشرة مع منظمي المشاريع، يساعد هذا المرفق صناديق الاستثمار في الطاقة على توفير التمويل الأولي لمشاريع الطاقة النظيفة.

2 - 1 - 3 تعزيز العوائد من مصادر المتجددة

تعزيز عائدات مقدمي الطاقة المتجددة بواسطة التعريفة الجمركية الملائمة: "التناسب". يدفع لمنتجي الكهرباء من المصادر المتجددة علاوة مضمونة على منتجي الوقود الاحفوري . بما أن الهدف هو حفز الابتكار وخلق آثار غير مباشرة على الطاقة المعرّفة، فإن الملاءمات تصمم عموما بحيث تنخفض مع مرور الوقت مع توليد فوائد الطاقة المعرّفة ونشرها، وتصبح تكلفة وحدة الطاقة المتجددة قادرة على المنافسة مع الوقود الأحفوري . بعد إدخال العديد من البلدان المتقدمة هذه التعريفة الجمركية مثل ألمانيا، أصبحت الآن في وضع مناسب. كما أنها أصبحت شائعة بصورة متزايدة في البلدان النامية، حيث قام عدد من البلدان بتنفيذها، أو التخطيط للقيام بذلك، مثل الأرجنتين، وباكستان، والبرازيل، وجنوب إفريقيا، والصين، وغانا، وكينيا، وماليزيا، ونيجيريا.

ومع أن الأهداف المحددة هي نفسها في البلدان المتقدمة والنامية، فإن هناك سمات خاصة لهذه الأخيرة تتطلب النظر فيها . على سبيل المثال، فإن التناسب في البلدان المتقدمة يموّل عموما بعلاوة توضع على جميع فواتير الطاقة. ووفقا للمنطق المبين أعلاه، يمكن تغطية هذا الأمر في البلدان النامية بالتمويل الخارجي من الجهات المانحة.

2.2 آليات لزيادة الإمداد بالتمويل المناسب

أهم خاصية هي أن يكون التمويل طويل الأجل، بحيث يستغرق الاستثمار في الطاقة المتجددة سنوات، أو حتى عقودا، لتحقيق عوائد جيدة . ولذلك فإن المطلوب هو " راس المال الصبور "، الذي يصعب نسبيا الحصول عليه، نظرا للآفاق النموذجية القصيرة الأجل لأسواق رأس المال الخاص.

من العناصر الهامة هنا أن مصادر الأموال الكثيرة التي لها التزامات طويلة الأجل مثل صناديق الثروة السيادية و/أو صناديق المعاشات التقاعدية ينبغي أن تصبح مصدرا أكثر أهمية للاستثمار في المصادر المتجددة على المدى الطويل.

أطلق تحالف الطاقة المتجددة في جوهانسبرغ مبادرة بارزة نسبيا في هذا المجال. وهذا

التحالف هو مجموعة 88 بلدا شُكّلت في أعقاب مؤتمر القمة العالمي للتنمية المستدامة الذي عقد في 2002. أنشأت المنظمة " مبادرة رأس المال الصبور"، التي أدت بدورها إلى إنشاء الصندوق العالمي لكفاءة استخدام الطاقة والطاقة المتجددة (geeref) .والصندوق هو هيكل للصناديق يوفر رأس المال لصناديق الطاقة المتجددة العاملة في البلدان النامية، وهي تهدف إلى التعجيل بنقل التكنولوجيات السليمة بيئيا وتطويرها واستخدامها وإنفاذها في المناطق الفقيرة في العالم، مما يساعد على توفير الطاقة المأمونة والنظيفة والميسورة التكلفة للسكان المحليين (موقع geeref)

وتعطي الأولوية في استثماراتها للاستثمار في البلدان التي لديها سياسات وأطر تنظيميه بشأن كفاءة الطاقة والطاقة المتجددة. ومرة أخرى، يثير ذلك مسألة مَن الذي ينبغي أن يتحمل هذه التكاليف. وقد جادلنا بأن تكلفة الرسوم الجمركية المخفضة ينبغي أن يتحملها مجتمع المانحين بدلا من البلدان نفسها.

2 - 2 - 1 السندات الخضراء

من الآليات التي اجتذبت اهتماما متزايدا السندات الخضراء . من حيث الطلب، فإن السندات الخضراء تجتذب بصفة خاصة المستثمرين المسؤولين اجتماعيا الذين يعطون الأولوية للتخفيف من تغير المناخ.

وما دام الصك قادرا على تحقيق عائد على مستوى السوق، فإن المستثمرين المؤسساتيين والصناديق الفرعية الرئيسية ينظرون الآن أيضا في أنواع مماثلة من الاستثمار.

بالإضافة إلى تمويله التقليدي في أسواق رأس المال الدولية، وضع مصرف الاستثمار العالمي أداة مبتكرة لجمع الأموال للاستثمار الأخضر الذي يموله بنفسه. ويساعد ذلك على وضع صك جديد للسندات الخضراء وإعطائه السيولة، ويمكن أن تصْدره الكيانات الأخرى، سواء كانت عامة أو خاصة. ومنذ2007 ، أصدر المصرف €1,400,000,000 بما في ذلك €500,000,000 من "سندات التوعية المناخية" في 2010 (المصدر :مواد المقابلات والتقارير السنوية للمصرف) ، وهي المالية المُسَيجّة التي جمعت لإقراض البنك في المستقبل لمشاريع دعم العمل المناخي في مجالي الطاقة المتجددة وكفاءه الطاقة، سواء داخل الاتحاد الأوروبي أو في البلدان النامية.

وقد أصدر المصرف سندات للتوعية المناخية من خلال عشر قضايا، بالتالي فإنه يعمل كصانع سوق لهذه الأداة. وترتبط هذه السندات بمؤشر تم بناؤه حديثا : مسؤولية الشركات فيما يتعلق بالبيئة.وسيمكن إصدار هذه السندات من توسيع نطاق استخدام هذا الصك وغيره من الصكوك المماثلة، ولا سيما من جانب المصارف الإنمائية العامة الدولية والإقليمية والوطنية،

التي ستستخدم الأموال لتمويل الاستثمار الأخضر الخاص . وفي المستقبل يمكن للمستثمرين الخاصين أنفسهم أن يصدروا الصكوك مباشرة.

ومن الأجزاء الرئيسية لجاذبية السندات الخضراء دعمها من قبل مؤسسات ذات مصداقية تدعمها دول ذات سيادة . وبالتالي فإن المخاطر يتم التعهد بها بفعالية، مما يمكن من تغليف السندات كأدوات مأمونة للمستثمرين المؤسساتيين. وإذا ما أصدرها مستثمرون من القطاع الخاص، فمن الواضح أن تقديرات السندات ستكون أقل، مما يعكس حقيقة أن المخاطر لم تعد تتحملها هيئة تحظى بدعم الجمهور. سيلزم أن تكون السوق أكثر سيولة، وأن يكون عدم التيقن منها أقل، قبل أن تجتذب السندات الخضراء الخاصة المستثمرين المؤسساتيين.

في أعقاب الدور الريادي للمصرف، بدأ البنك الدولي أيضا في إصدار سندات خضراء في2008 . ومنذ ذلك الحين، تم جمع ملياري دولار من خلال بيع السندات المصنفة بقيمة AAA في15 عملة مختلفة للمستثمرين ذوي الدخل الثابت، مع استخدام العائدات لمشاريع التخفيف من تغير المناخ أو التكيف معه في البلدان النامية . وعلى وجه التحديد، يتطلع البنك إلى الاستثمار في مشاريع في المجالات التالية:

- المنشآت الشمسية وطاقة الرياح
- تمويل التكنولوجيات الجديدة التي تسمح بإجراء تخفيضات كبيرة في انبعاثات الغازات الدفيئة
- إصلاح محطات توليد الطاقة ومرافق النقل لخفض انبعاثات غازات الدفيئة
- زيادة الكفاءة في النقل، بما في ذلك تحويل الوقود والنقل الجماعي
- إدارة النفايات وانبعاثات الميثان وبناء المباني ذات الكفاءة في استخدام الطاقة
- تخفيض الكربون عن طريق إعادة التشجير وتجنب إزالة الغابات

ومن المفيد أن نتذكر أن المؤسسات الوطنية الانتقالية ساعدت على تطوير أسواق السندات بالعملة المحلية في البلدان الناشئة والنامية. وبدون هذه الإشارة الموثوق بها، قد لا يوفر المستثمرون رأس المال على النطاق اللازم لتطوير الهياكل الأساسية للطاقة المتجددة. بيد أنه إذا أمكن إيجاد الثقة، فإن أسواق رأس المال العالمية يمكن أن تصبح مصدرا قيما للاستثمار في مجال الطاقة المتجددة في البلدان النامية.

وبإصدار هذه السندات، يمكن للمؤسسات الدولية أو الحكومات المانحة أن تؤدي دورا قيما للغاية في صنع السوق . في البلدان الأقل نموا قد تكون المخاطر أعلى بكثير وقد تكون عمليات العودة أكثر غموضا.

كما أن إصدار سندات خضراء لتمويل الاستثمارات المتجددة في البلدان المتقدمة له قيمة أيضا بالنسبة للبلدان النامية، لأن تعميق وجعل هذه السوق أكثر سيولة من شأنه أن ييسر إصدار الاستثمارات. ومن المسائل المثيرة للاهتمام معرفة ما إذا كان يمكن توسيع نطاق هذا الإصدار أيضا ليشمل مصارف التنمية الإقليمية، مثل مصرف التنمية الإفريقي.

2-2-2 أنواع أخرى من السندات

السند المفهرس هو الذي ترتبط فيه القسيمة بمؤشر مثل سعر الكربون أو مستويات الانبعاثات. توفر السندات المفهرسة، التي تدفع عائدا أعلى حين تضعف انبعاثات الكربون أو تظل أسعار الكربون منخفضة جدا، ضمانة للمستثمرين، مما يسهل عليهم الاستثمار في مشاريع الطاقة المتجددة، أو الاستثمارات الأخرى التي تعتمد على التقدم في التخفيف من تغير المناخ . تمشيا مع الإطار المبين أعلاه، سيتطلب الأمر إصدار سندات في ولاية قضائية واحدة (المملكة البريطانية، على سبيل المثال)، مع ربط مدفوعات القسيمة بتخفيف الانبعاثات في بلد نام . وهذا من شأنه أن يمكن المستثمرين في الطاقة المتجددة في تلك البلدان من عدم اتخاذ أي إجراء في المستقبل بشأن السياسات التي تعرض استثماراتهم للخطر، ولكن البلدان المانحة التي صدر فيها السند ستتحمل المخاطر.

وثمة هيكل محتمل آخر هو سندات كفاءة الطاقة .هذا الصك يتيح لأصحاب العقارات السكنية والتجارية اقتراض الأموال من الهيئات البلدية لإدخال تحسينات على كفاءة الطاقة في ممتلكاتهم .ويقدم التمويل عن طريق إصدار سندات، حيث يسدد المقترضون المدفوعات باستخدام الإيرادات الموفرة من خلال مكاسب الكفاءة. وكبديل لذلك، يجوز لموردي الطاقة إصدار السندات وتمويل مالكي الممتلكات المنزلية والتجارية الذين يقومون بهذه الاستثمارات. وقد تطلب الحكومات من مقدمي المرافق العامة (التي لا تزال مشاعة في العديد من البلدان النامية) أن يفعلوا ذلك، ولكن الحوافز ستكون ضرورية لكي يقوم مقدمو الخدمات من القطاع الخاص بهذا الدور.

بالتالي فإن السندات الخاصة بكفاءة استخدام الطاقة هي مثال لأداة مربحة للجميع . وإذا طبقت على البلدان النامية، فلن تكون هناك حاجة إلى التحويلات المالية من مجتمع المانحين لأن السندات ذاتية التمويل ولأن التغييرات التي تتيحها، أي الاستخدام الأكفأ للطاقة، مفيدة بشكل واضح للبلدان المعنية. غير أن تمويل السندات الدولية الذي تدعمه مصارف إنمائية متعددة الأطراف قد يكون ضروريا للبلدان التي تفتقر إلى أسواق السندات المحلية المتطورة على نحو ملائم.

من المهم أن إمكانيات هذه السندات في البلدان النامية أكبر منها في العالم المتقدم بسبب زيادة أوجه القصور في استخدام الطاقة، فضلا عن انخفاض التكلفة لكل وحدة من وحدات خفض الكربون .غير أن السندات الخاصة بكفاءة استخدام الطاقة تحتاج إلى تأمين موثوق به للاستفادة من التمويل. في النسخة الأمريكية، فإنها تدعمها الممتلكات المعنية - مع الأقدمية على مدفوعات الرهن العقاري. ومن شأن تكييفها في البلدان النامية أن يتطلب مستوى مماثلا أو ضمانا يمكن أن يكون من الصعب تحقيقه. ويمكن لمؤسسات مثل البنك الدولي أو مصرف التنمية أن تساعد على إنشائها في البلدان النامية، حيثما يكون ذلك مستصوبا.

2 - 2 - 3 التمويل التساهلي

يتمثل جزء من الحل للهياكل الأساسية للطاقة العامة والمتجددة على حد سواء في إشراك المؤسسات الإنمائية الانتقالية، بما في ذلك مصارف التنمية الإقليمية . وتستطيع المؤسسات المالية، إلى حد كبير بسبب دعمها من الدول ذات السيادة، أن توفر التمويل بآجال استحقاق لا يستطيع القطاع الخاص أن يقدمها.

بالإضافة إلى توفير التمويل لآجال استحقاق أطول، أصبحت المؤسسات المالية أكثر قدرة على العمل بصورة معاكسة للتقلبات الدورية، كما يتضح من الزيادة الحادة في أنشطتها في مجال الطاقة المتجددة، وكذلك بشكل أعم، في أعقاب الأزمة المالية العالمية 2008 (انظر، على سبيل المثال، اوابو، غريفيث جونز وآخرون 2010) .

معظم هذه المؤسسات يمكن أن يوفر" مظلة سياسية "يثق فيها المستثمرون بأنهم سيحمون من المخاطر الافتراضية، لأن المقترض لن يرغب في تعريض علاقته الأوسع نطاقا للخطر.

2 - 2 - 4 تعبئة أصول الصناديق السيادية والمؤسسات الاستثمارية

علاوة على هيكل صندوق الصناديق، ودور المؤسسات المالية المشتركة في الاستثمار، صممت هذه الصناديق لتمكين المستثمرين المؤسساتيين (وصناديق الثروة السيادية) من توجيه الأموال إلى قطاعات الطاقة المتجددة في البلدان النامية. بالإضافة إلى كونهم مستثمرين على المدى الطويل، فإن السبب الرئيسي هو حجم الأصول الخاضعة للإدارة. ويقدر أن المستثمرين المؤسساتيين الأوروبيين، ولا سيما صناديق المعاشات التقاعدية وشركات التأمين، يسيطرون على ما يصل إلى 12 تريليون دولار أمريكي، وتمول الثروة السيادية مبلغا آخر يبلغ 4.3 تريليون دولار أمريكي(المصدر: معهد الثروة السيادية،2011 ، لهذا الأخير) . وإذا أمكن تخصيص نسبة صغيرة نسبيا من هذا المبلغ لقطاعات الطاقة المتجددة في البلدان النامية، فإنه يمكن الوفاء بالعجز في التمويل.

صناديق الثروة السيادية تحتفظ بما مجموعه 4.3 تريليون دولار من الأصول؛ وإذا استثمرت 1في المائة من هذه الأصول في الطاقة المتجددة في البلدان النامية، فإن ذلك سيساوي 43 مليار دولار .

3 .2 آليات للحد من عدم اليقين: الضمانات المرتبطة بالضرائب

ناقشنا ثلاثة أنواع رئيسية من الآليات التي صممت للحد من عدم اليقين

فأولا، يمكن استخدام المؤسسات لاستيعاب مخاطر المشاريع الأولية، والقيام بمشاريع إلى المرحلة التي قد تجتذب فيها المستثمرين الدوليين.

وثانيا، يمكن تقديم ضمانات في مجموعة متنوعة من المجالات. فالأسعار، على سبيل المثال، يمكن أن تكون ثابتة ضمن نطاق ضروري لضمان الربحية، أو يمكن لهيئة عامة أن تضمن القروض. وفي الحالة الأخيرة، فإن تعزيز الائتمان الناجم عن ذلك يزيل عدم التيقن بشأن السداد، مما يمكن المقترض من الحصول على التمويل بشروط أفضل.

وثالثا، يمكن توفير التأمين لحماية المستثمرين من مجموعة من الأحداث المحتملة التي يمكن أن تحرف المشروع عن مساره. ويمكن استخدام ذلك للتعويض عن عدم اليقين بشأن الحفاظ على سياسات معينة، أو يمكن أن يكون متصلا بالسعر.

وهذه آليات، بطرقها المختلفة، تقلل من مستوى المخاطر، وتجعل المشاريع ميسورة التكلفة واقتصاداتها أكثر قابلية للاستمرار. وتعتمد مشاريع الطاقة المتجددة اعتمادا كبيرا على عدد صغير من العوامل التي ليست متغيرات اقتصادية، ولكنها مدفوعة بالسياسات - المحافظة على التناسب، أو تنفيذ ضريبة الكربون، على سبيل المثال.

نظرا للشكوك التي تكتنف الأسعار الطويلة الأجل للنفط والغاز، فضلا عن التقلب الشديد، يمكن أن تتمثل إحدى أدوات السياسات المحتملة المثيرة للاهتمام في إدخال ضريبة متغيرة على سعر النفط، والتي ستزداد مع انخفاض السعر إلى ما دون مستوى معين، وتنقص مع ارتفاع سعر النفط إلى ما فوق هذا المستوى .ونتيجة لذلك، سيستقر سعر النفط في السوق وتصبح ربحية الاستثمار في المصادر المتجددة أقل غموضا .وهذا يختلف عن ضريبة بيكوفيان على النفط، والتي لن توفر الحد الأدنى للسعر.

ومن الطرق الأخرى لحماية السعر النسبي لمصادر الإنتاج المتجددة إيجاد أرضية لسعر الكربون . ومع ذلك، وكما هو الحال مع النفط، فإنه من الضروري تحقيق ذلك من خلال استخدام الضرائب المتغيرة .ويمكن تصميم مرافق الطاقة المتجددة - فضلا عن آليات الأخرى لتخفيف الانبعاثات- مع مراعاة سوق الكربون، ولا سيما القدرة على إنشاء وبيع أرصدة

كربونية في هذه الأسواق.

كبديل لذلك، يمكن توفير خيار الوضع، الذي يتم تشغيله بمجرد أن ينخفض السعر إلى ما دون مستوى معين . ويزود القطاع العام المستثمرين في المشاريع بالعقد المبرم، ويضمن شراء أرصده الكربون بسعر محدد في تاريخ معين، مما يلغي عدم التيقن من الأسعار.

أصبحت المملكة البريطانية أول بلد يعلن سعر الأرض على الكربون في ميزانية2011 . وابتداء من2013 ، سيزداد السعر باطراد، بهدف توفير اليقين للمستثمرين والمنتجين.

وثمة خيار آخر يتمثل في تصميم مرفق للسيولة (يمكن أن يكون جزءا من صندوق أوسع لتحقيق الاستقرار) للمساعدة في التغلب على عدم القدرة على الحصول على تمويل كاف لدعم الاستثمار الجاري، إذا أصبح الاستثمار في الطاقة المتجددة غير مربح بسبب انخفاض أسعار النفط أو الغاز. ويمكن لهذا المرفق أن يوفر التمويل اللازم على أساس مؤقت . وعلاوة على ذلك، عندما يكون الاستثمار في مشروع في المصادر المتجددة قد اكتمل بالفعل، ولكن سعر النفط أو الغاز ينخفض بدرجة كبيرة، عندئذ يمكن لمرفق السيولة العامة أن يوفر ائتمانا مؤقتا يمكن أن يساعد في الإبقاء على أداء المشروع.

من المهم أن يكون هناك هامش كاف للانحرافات في الأداء التشغيلي مقارنة بالمستويات المتوقعة في البداية. وفي حالة حدوث انخفاض كبير في سعر النفط أو الغاز، يؤدي إلى عجز المشروع عن سداد ديونه، حيث يصبح التوليد النقدي غير كاف لبلوغ القيمة الدنيا، يسحب مرفق السيولة مؤقتا، ويقدم قرضا إلى كبار مُقرضي المشروع ليسددوا عندما يسمح التدفق النقدي للمشروع بذلك . ويفترض أن هذا سيحدث عندما ترتفع أسعار النفط أو الغاز. ويتوقف سعر مرفق السيولة ومدى توافره وحجمه على التقديرات القائمة على التقلبات التاريخية في السعر الحقيقي للنفط.

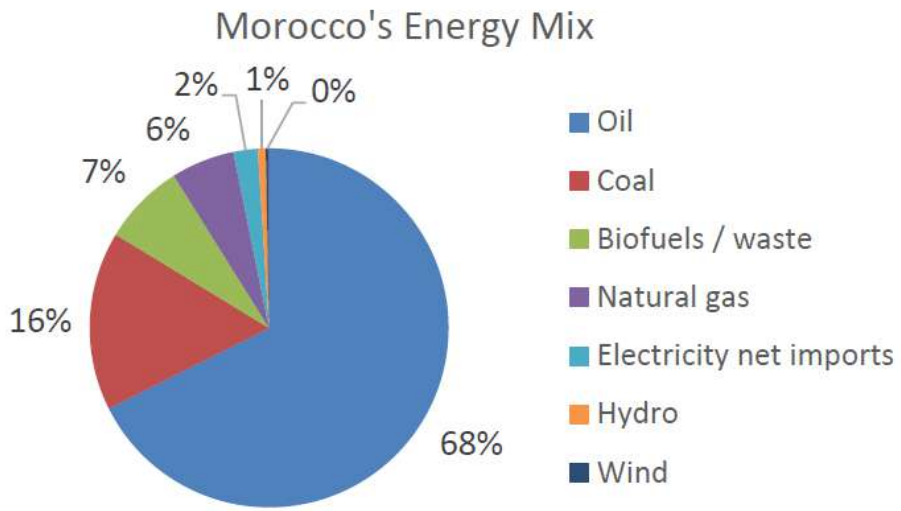
لم ينفذ سوى مشروع واحد حتى الآن بهذه الآلية السياسية الموجودة في البرازيل والتي تركز على الهياكل الأساسية.

تجعل المرافق الطويلة نسبيا تسهيلات السيولة مناسبة بشكل خاص للتمويل المتجدد. وفي الوقت نفسه، فإن العمر النافع الطويل للأصول في هذه المشاريع يشكل أساسا متينا لسداد الديون، مما يسمح بأن يكون مرفق السيولة هذا قابلا للاستمرار.

3 الوضعية الطاقية في المغرب

نظرة عامة على قطاع الطاقة

لقد ارتفع إجمالي إمدادات الطاقة الأولية في المغرب ارتفاعا كبيرا في العقود الأخيرة، حيث بلغ 18.8 مليون طن مكافئ بترول في 2012 . ويرد المزيج الخاص بالطاقة في الشكل one على النحو التالي:

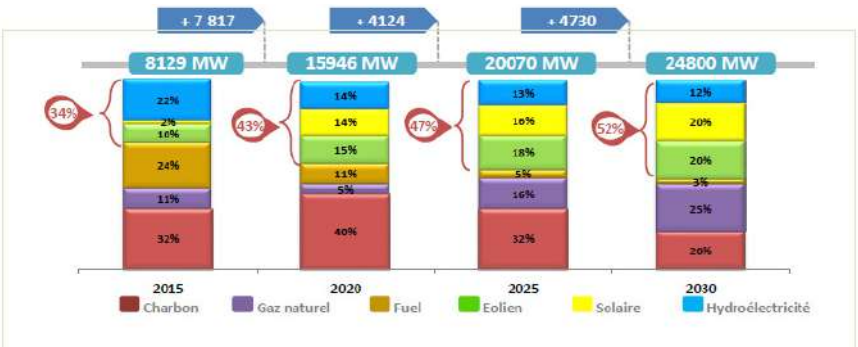


الشكل :1.مزيج الطاقة في المغرب

في 2014 ، حقق المغرب ما يقرب من 91 في المائة من احتياجاته من الطاقة بالواردات من الخارج .ويشمل ذلك النفط والمنتجات النفطية والفحم من الأسواق الدولية والغاز من الجزائر والكهرباء من إسبانيا .ويمثل شراء النفط أقل قليلا من ربع مجموع الواردات وحوالي نصف العجز في التجارة الخارجية. ونظرا لهذا الاعتماد القوي والمتزايد باستمرار، يتفاعل المغرب بحساسية شديدة مع الصدمات الخارجية. وهذا يجعل من الصعب الحفاظ على التوازن الاقتصادي والمالي في البلد.

وقد زادت قدرة المغرب على توليد الكهرباء في الفترة 2002- 2012 ، وتبلغ طاقته الاستيعابية الآن 7,994 ميغاواط. إضافة إلى الطاقة الكهربائية التي أنتجت في2014 ، لا يزال المغرب يستورد الكهرباء، من أجل تلبية الطلب على الكهرباء. وفي حين بلغ صافي الواردات من الكهرباء 1في المائة فقط في2002 ، فقد ارتفعت بنسبة 252 في المائة في غضون 10 سنوات.

إن النسبة الكبيرة من الوقود الأحفوري في مزيج الطاقة الوطنية مسؤولة عن مستوى عال من الانبعاثات، التي يتوقع أن تؤدى زيادتها عند متابعة الطلب المتزايد على الطاقة عن كثب. غير أن المغرب كان من أوائل بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا التي خفضت إعانات الوقود الأحفوري، فقد أزال تدريجيا إعاناته لاستهلاك الوقود الأحفوري أملا في تخفيض وارداته من الطاقة الباهظة التكلفة. وقد أجري الإصلاح على مراحل من 2013 حتى نهاية 2015 مع تحرير الأسعار بالكامل . وقد جعلت أسعار النفط المنخفضة جدا في ذلك الوقت من السهل التخفيف من حدة الصدمة . بيد أن هناك منتجا واحدا هو غاز البوتان الذي لا يزال يتلقى إعانات مالية. وكانت الإعانات التي استخدمها جميع المغاربة تقريبا والعديد من المزارعين، تبلغ حوالي90-100مليار دولار، وهو مبلغ يعادل 30 في المائة من عجز ميزانية الحكومة.



الشكل 4: المزيج الطاقي بعد 2015

ما زالت حصة الطاقات المتجددة في المزيج الطاقي ضئيلة، على الرغم من الضعف الذي كانت عليه الإمدادات الكهرومائية. لدى المغرب موارد طاقة متجددة وفيرة: الحرارة الشمسية والرياح والكهرومائية .وكما يظهر في الشكل 4، فقد حدد البلد أهدافا لزيادة حصة توليد الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة إلى 42 في المائة في 2020 و 52 في المائة بحلول2030 ، فضلا عن الأهداف المتعلقة بتخفيض الاستهلاك بنسبة 12 في المائة بحلول 2020 و 15 في المائة بحلول 2030 من خلال كفاءة استخدام الطاقة.

ومن المتوقع أن تكون محطة نور لتوليد الطاقة التي حققتها الوكالة المغربية للطاقة المستدامة أكبر منشأة شمسية في العالم ستساعد المغرب على تحقيق هدفه المتمثل في القدرة الشمسية المثبتة بنسبة 14 في المائة في 2020.

ويستثمر المغرب أيضا في الرياح، التي يقدر أنها تشكل 14 في المائة من مجموع الطاقة

المركبة في 2020 ، ونحو 25,000 ميغاواط من الإمكانات التقنية لتوليد الرياح.

ويمكن اعتبار الطاقة الكهرومائية عنصرا تقليديا في أسطول المغرب من محطات توليد الطاقة وتستغل إمكاناته استغلالا جيدا. ومع تركيب 1,770 ميغاواط حاليا، يقترب المغرب من بلوغ هدفه المتمثل في 2,000 ميغاواط من الطاقة الكهرومائية المركبة في2020 .

آليات الدعم السياسي

وقد نفذت الحكومة المغربية خطة شاملة لزيادة حصة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة ولتحسين كفاءة الطاقة بدرجة كبيرة . ووفقا لاستراتيجيتها الوطنية للطاقة منذ2009 ، يهدف المغرب، في جملة أمور، إلى تحقيق الاستفادة المثلى من مزيج الطاقة، ومن الأولويات العليا تصميم سياسة للطاقة تكون مواتية للتوسع في الطاقات المتجددة . وفي هذا الصدد، أجرت الحكومة المغربية إصلاحات جوهرية من أجل تشكيل إطار قانوني وتنظيمي ومؤسسي من شأنه أن يحفز تنمية الطاقة المتجددة . ويركز نطاق العمل السياسي في المقام الأول على توليد الكهرباء وجزئيا على استهلاك الكهرباء.

وعلى وجه الخصوص، تم إصدار القانون رقم 09-13 إطارا تشريعيا لدعم تطوير الطاقات المتجددة والتوسع المعتزم فيها، وهو يسمح لأي منتج خاص بإنتاج وتصدير الكهرباء ما دامت تستخدم مصادر الطاقة المتجددة . ومن خلال هذه السياسة، فتحت الحكومة المغربية سوق الطاقة بتيسير إدخالات جديدة وبدعم منتجي الطاقة المتجددة المستقلين.

وقد برهنت الحكومة أيضا على التزامها بإنشاء سلسلة من الوكالات والمؤسسات العامة في السنوات القليلة الماضية. وقد أنشئ الإطار المؤسسي الشامل كوسيلة لتحسين تنظيم النهوض بتنمية الطاقة المتجددة والإشراف عليه وهيكلته.

- **وكالة الطاقة المستدامة-المغرب Masen**

هذه هي الوكالة الرائدة في المغرب للطاقة الشمسية، أسست بموجب القانون09-57 في 2010 وهي الآن مسؤولة عن تطوير محطات توليد الطاقة المتجددة مع ضمان توجيه الدراسات والتخطيط والتمويل والإنجاز والإدارة والصيانة.

- **المكتب الوطني للكهرباء ومياه الشربONEE**

وتتمثل مهمة هذه المؤسسة في تلبية طلب المغرب على الكهرباء في أفضل الظروف من حيث التكلفة ونوعية الخدمة، فضلا عن كهربة البلد بنسبة 100 في المائة.

• **وكالة المغرب لكفاءة الطاقةAMEE**

سابقا الوكالة الوطنية لتنمية الطاقات المتجددة والكفاءة للطاقة في استخدامها ADEREE ، أنشئت بموجب القانون رقم 09-16 في 2010 وبعد تعديل القانون في2016 ، لم تعد مهمات الوكالة تتعلق بالطاقات المتجددة وركزت منذ ذلك الحين على كفاءة استخدام الطاقة.

• **شركة استثمارات الطاقةSIE**

وقد أنشئ هذا البرنامج في 2010 وهو يمثل الذراع المالي للدولة لمرافقة خطة التنمية الوطنية لمصادر التمويل المتجددة.

• **معهد بحوث الطاقة الشمسية والمصادر المتجددةIRESEN**

المعهد، الذي أنشئ في2011 ، يترجم الاستراتيجية الوطنية إلى مشاريع للبحث والتطوير ويكفل تنفيذ المشاريع البحثية وتمويلها وتوجيهها.

• **شبكة الجامعات للطاقة المتجددة**

أنشئت في 2013، وهي شبكة جامعية للترويج للطاقات المتجددة وكفاءة الطاقة في المغرب.

ويتلقى المغرب دعما ماليا من عدد من المؤسسات والبلدان، بما في ذلك مصرف التنمية الكوري، والوزارة الاتحادية الألمانية للتعاون الاقتصادي والتنمية، والوزارة الاتحادية الألمانية للبيئة.

النقاط البارزة في القطاع المالي

النظام المصرفي المغربي هو مجموعة من البنوك تحت رعاية البنك المركزي المعروف أيضا باسم بنك المغرب، الذي يلعب دورا بارزا في النظام المصرفي في البلاد، وهو يصدر الدرهم المغربي، ويحافظ على احتياطيات المغرب من العملات الأجنبية، ويتحكم في الإمدادات الائتمانية، ويشرف على منظمات الإقراض الحكومية المتخصصة، وينظم الصناعة المصرفية التجارية.

ينقسم القطاع المصرفي المغربي إلى 4 فئات من المؤسسات:

1.بنوك الودائع التقليدية : وتشمل البنوك الخاصة الخمسة الكبيرة : بنك التجاري وفاء، والبنك المغربي للتجارة الخارجية، والفروع الفرنسية الثلاثة (البنك المغربي للتجارة والصناعة، الجمعية العامة المغربية للمصارف (SGMB) ومصرف المغرب)، والقرض الفلاحي للمغرب و CFG المجموعة المالية للدار البيضاء

2."البنك الشعبي المغربي": يتألف من المصرف المركزي الشعبي وشبكة المصارف الإقليمية التابعة له

3.المؤسسات المالية المتخصصة :الائتمانيات العقارية والفندقية والقروض الزراعية المغربية.

4.مختلف البنوك الأخرى مثل بنك الأمل (تمويل المشاريع الاستثمارية للمغاربة الذين يعيشون في الخارج)

بالإضافة إلى ذلك، يتسم النظام المصرفي المغربي بوجود قوي للمصارف الأجنبية . وبسبب هذه الحقيقة فإن كل البنوك الخاصة الكبيرة في المملكة تعول في أسهمها على البنوك الأجنبية.

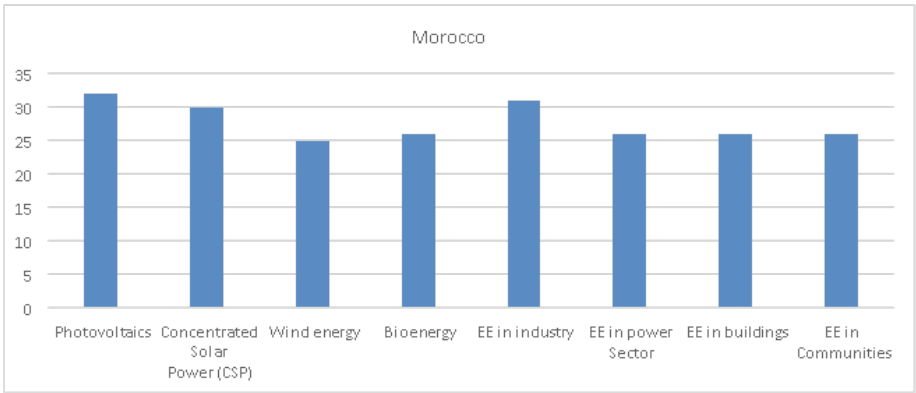
واستضافت مدينة مراكش المغربية cop22، التي نقلت اتفاق باريس cop21 إلى مرحلة التنفيذ .وقبل شهر من cop22 في مراكش، استضافت الدار البيضاء مؤتمرا ركز على إنشاء سوق مصرفية خضراء .وفي هذا السياق، تعاون المصرف الأوروبي للإنشاء والتعمير مع البنك المغربي للتجارة الخارجية ومصرف التنمية الإفريقي لإشراك القطاع المالي في التنفيذ العملي لاتفاق باريس.

في 2016، اشترى بنك المغرب(البنك المركزي المغربي) سندات خضراء من البنك الدولي بقيمة 100,000,000 دولارا .وبهذا الاستثمار، يدعم البنك المركزي التنمية المستدامة للمشاريع التي يمولها البنك الدولي، بما في ذلك المشاريع التي تنفذ في البلدان الإفريقية . وقد أرسلت هذه الصفقة أيضا رسالة قوية إلى المستثمرين العالميين وأوساط السياسات المناخية حول التزام المغرب بالتمويل المتعلق بالمناخ.

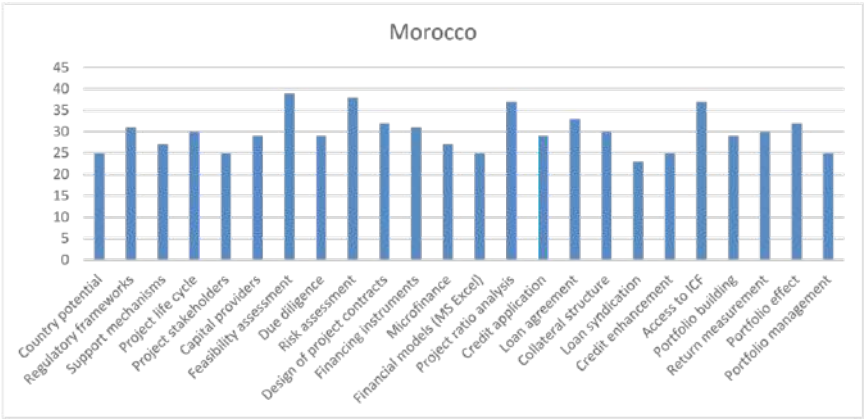
وبمبلغ إجمالي قدره 110,000,000 يورو، طوّر MORSEFF وهو خط تمويل الطاقة المستدامة للشركات المغربية الخاصة، من طرف المصرف الأوروبي للإنشاء والتعمير، بالتعاون مع المصرف الأوروبي للاستثمار، والوكالة الفرنسية للتنمية، والمؤسسة الألمانية للتعاون والتنمية، فهو يعطي الشركات المغربية الحق في الوصول إلى:

- القروض أو التأجير لاقتناء المعدات أو تنفيذ مشاريع الكفاءة في استخدام الطاقة أو الطاقة المتجددة
- منحة استثمارية بنسبة 10% من الرصيد
- تقديم المساعدة التقنية المجانية لتقييم المشروع وتنفيذه والتحقق منه
- التوزيع المحلي من قبل المصارف الشريكة: مصرف BMCE (ومغرب باي الفرعية) والمصرف الشعبي

نتائج استبيان



رد 12 مشاركا في حلقة العمل التي عقدت في المغرب على استبيان المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءه الطاقة وأكاديمية المصادر المتجددة. وفيما يلي المواضيع الخمسة الأولى بين24 للمشاركين من المغرب فيما يتعلق بالتدريب على المسائل المالية في سياق" التمويل الأخضر": تقييم الجدوى، وتقييم المخاطر، وتحليل نسبة المشاريع، والوصول إلى الصناديق الدولية للمناخ، والقروض اتفاق، كما هو معروض في الشكل.2.



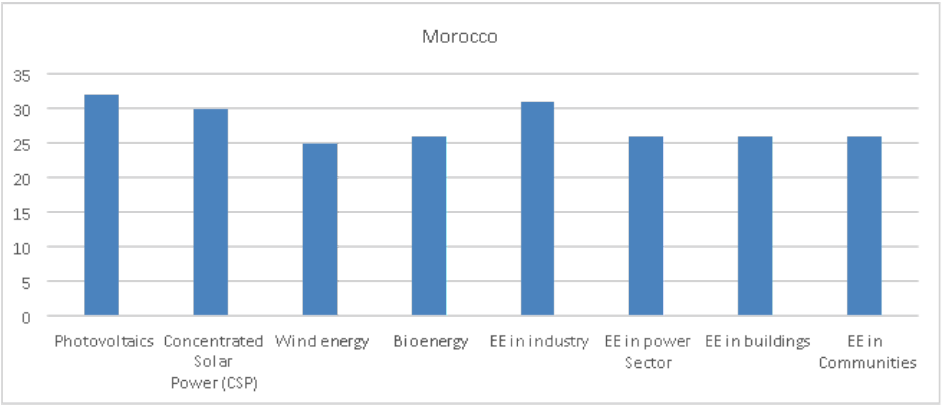
الشكل : 2.المواضيع الرئيسية التي تهم المصارف

والتي سينظر فيها في برنامج التدريب في المغرب

ويحظى التدريب المهني في مختلف تكنولوجيات الطاقة بالتقدير أيضا .الأعلى 3 من بين8 هي الفلط ضوئية، وكفاءة الطاقة في الصناعة والطاقة الشمسية المركزة(CSP) .

من الرسم البياني في الشكل 3 أدناه نرى، مع ذلك، أن الفرق في الاهتمام بين 8 مواضيع ليس كبيرا.

الشكل :3.تكنولوجيات الطاقة الرئيسية التي تهم التمويل في المغرب



مراجع

Bläsi, A., and Requate, T. (2005) 'Learning-by-Doing with Spillovers in Competitive Industries, Free Entry, and Regulatory Policy', CAU Economics Working Paper 2005-09, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Kiel.

Costanza, R. and Cleveland, C. (2008) 'Natural capital', in Encyclopedia of Earth, Eds. Cutler J. Cleveland Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment.

Foster, V. and Briceño-Garmendia, C. (eds) (2010) Africa's infrastructure: A time for Transformation. Washington, DC, Agence Française de Développement and the World Bank.

Griffith-Jones, S. (1993) 'Globalisation of financial markets: new challenges for regulation' in R. Cooper et al., Managing the International Financial System, The Hague: FONDAD.

Griffith-Jones, S., Tyson, J. (2011) 'The European Investment Bank: Lessons for Developing Countries', paper prepared for UNU-WIDER.

Hansen, J., Mki. Sato, P. Kharecha, D. Beerling, R. Berner, V. Masson-Delmotte, M. Pagani, M. Raymo, D.L. Royer, and J.C. Zachos (2008) 'Target atmospheric CO2: Where should humanity aim?', Open Atmos. Sci. J., 2, 217-231, doi:10.2174/1874282300802010217.

High-level Advisory Group on Climate Change Financing (2010) Report of the Secretary-General's High-level Advisory Group on Climate Change Financing, 5 November 2010.

IEA (2009). World Energy Outlook 2009. Paris: International Energy Agency.

IPCC (2011) IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1075 pp.

Noman, A. (2011) 'Innovative Financing for Infrastructure in Low Income Countries. How Might the G20 Help?', Occasional Paper 1, African Center for Economic Transformation, July 2011.

Ocampo, J.A., Griffith-Jones, S. and Tyson J. et al. (2010) 'The Great Recession and the Developing World' in J.A.

Alonso (ed) Development Cooperation after the Financial Crisis, Initiative for Policy Dialogue, Columbia University.

Parhelion Underwriting Ltd and Standard & Poor's (2010) Can Capital Markets Bridge the Climate Change Financing Gap?. Available at: http://www.environmentalfinance.com/download.php?files/pdf/4cc006c89e09a/Parhelion_Climate_Financing_Risk_Mapping_Report_2010.pdf.

Petrakis, E., Rasmusen, E. and Santanu, R. (1997) 'The Learning Curve in a Competitive Industry', The RAND Journal of Economics, Vol.28, No.2, pp. 248-268.

Pigou, A. C. (1932) The Economics of Welfare, 4th edition, London: Macmillan and Co.

Spratt, S. and Ryan-Collins, L. (2012) 'Development Finance Institutions and Infrastructure: A Systematic Review of Evidence for Development Additionality', Private Infrastructure Development Group (PIDG). Available at: http://www.ids.ac.uk/idspublication/development-finance-institutions-and-infrastructure-a-systematic-reviewof-evidence-for-development-additionality

Stern, N. (2006) Review on the Economics of Climate Change, H.M. Treasury, UK, October2006. Available at: http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+/http:/www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm.

Sterner, T. (2003) Policy Instruments for Environmental and Natural Resource Management. RFF Press, Washington D.C.

Sterner, T. (ed.) (2011), 'The Distributional Effects of Gasoline Taxation and Their Implications for Climate Policy' in Fuel Taxes and the Poor, RFF Press with Environment for Development initiative.

Stiglitz, J. and Weiss, A. (1981) 'Credit Rationing in Markets with Imperfect Information', American Economic Review,3)71), June, 393-410.

UNEP and Bloomberg New Energy Finance (2011) Global Trends in Renewable Energy Investment 2011. Analysis of Trends and Issues in the Financing of Renewable Energy. New York: UNEP and Bloomberg.

UNEP-SEFI (2008), Public Finance Mechanisms to Mobilise Investment in Climate Change Mitigation, final report by the United Nations Environment

Programme Sustainable Energy Finance Initiative, Paris.

UNFCCC (2010) Clean Development Mechanism. Executive Board Annual Report 2010, United Nations Framework Convention on Climate Change.

Vivid Economics (2009) Catalysing low-carbon growth in developing economies. Public Finance Mechanisms to scale up private sector investment in climate solutions, Commissioned by UNEP &Partners, October 2009.

WEF (2011) Green Investing 2011. Reducing the Cost of Financing, World Economic Forum, April 2011.

https://www.worldfuturecouncil.org/file/2016/10/WFC_2016_A-roadmap-for-100RE-inMorocc_EN.pdf

https://germanwatch.org/de/download/15120.pdf

www.novethic.fr/actualite/environnement/climat/isr-rse/lemaroc-le-pays-qui-a-presque-supprime-les-subventions-aux-produits-petroliers-144153.html

https://www.mei.edu/sites/default/files/publications/PF26_Hochberg_Moroccorenewables_we.pdf

https://www.worldfuturecouncil.org/file/2016/01/WFC_2015_100_Renewable_Energy_boosting_development_in_morocco

RCREEE, RENAC. Capacity Needs Assessment for Green Banking in the MENA Region.

The World Bank. (2016, 11 7). Morocco invests USD 100 million in World Bank Green Bonds. http://www.worldbank.org/en/news/press-release/2016/11/07/morocco-investusd-100-million-in-world-bank-green-bonds

IEA, O. /. (2014). Morocco 2014: Energy Policies beyond IEA countries. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Morocco2014.pdf

Zohra ETTAIK Directeur des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique Ministère de l'Energie, des Mines et du Développement Durable, Transition Energétique du Royaume du Maroc 1ère Journée Maroc-Allemagne de l'Energie organisée sous le thème: « Réussir la transition énergétique ensemble ».

تحلية المياه باستخدام الطاقة الشمسية

إعداد : الأستاذ زجلي إدريس

جامعة ابن طفيل القنيطرة، المملكة المغربية

أولا-مقدمة

إذا كان وجود المياه ضروريا لظهور الحياة على الأرض، فإن العيش بالإضافة إلى ذلك يتطلب طاقة من حيث النوعية والكمية لتطويره.

أكثر من ذلك، كلما أصبح المجتمع أكثر تعقيدا وتقدما، ازدادت الطاقة التي يحتاج إليها للمحافظة على بنيته.

يقدم تاريخ الحضارات الإنسانية أفضل مثال على ذلك لأنه يمكن وصفه بأنه سلسلة من الاكتشافات والاختراعات لوسائل أكثر فأكثر كفاءة للتحكم في مصادر الطاقة والمياه والسيطرة عليها.

وهاتان الحاجتان، وهما أمران لا غنى عنهما لتشغيل أي اقتصاد، تتجليان في كل مكان في بيئتنا، وفي الحياة اليومية وفي كل لحظة.

للإشارة فقط إلى القرنين الماضيين، فإن الاقتصادات الكبيرة في العالم تدين بتقدمها وازدهارها للاستغلال البشع لموارد المياه والكربون الأحفوري . وقد اعتمدت البلدان المتقدمة، بتكلفة منخفضة، هذا المورد من مصادر الطاقة بوسائل مختلفة ولم تتوقف عن السحب من المخزون الأرضي، لتشغيل آلتها الصناعية كبديل للعمل البشري. يشبه ذلك قليلا أسلافنا فقد كانوا في الأول رُحلا وصيادين، في البحث المستمر عن المواد الغذائية والمياه، ثم انتقلوا من إقليم إلى آخر عند بداية نفاد مواردهم .هذه الطريقة في الحياة كانت تشكل خطرا على الأمد الطويل بتوليد مجاعة واسعة النطاق لو لم يأت الخلاص من خلال تنمية الزراعة قبل 12,000 سنة تقريبا.

مثل أسلافنا الذين أصبحوا مستغلين للأراضي الفلاحية للتغلب على مجاعة معينة، يستطيع رجل القرن 21 بدوره أن يصبح مستغلا للطاقة بتسخيره الطاقة الشمسية بإنشاء محطات شمسية ومزارع ريحية. والهدف ذو شقين :من ناحية، محاولة وقف الضرر المدمر لأثر الاحتباس الحراري الذي يهدد التوازن الخفي والهش لمناخنا الذي يمكن لأي شيء أن يكسره، ومن ناحية أخرى، يواجه شبح ندرة الوقود الأحفوري الذي يحوم في الأفق.

وينبغي القول إنه علينا أن نبدأ التفكير في التخلي تدريجيا عن الوقود الأحفوري قبل أن يتخلى عنا هذا الوقود نفسه، قاله قبل عشر سنوات خبير اقتصادي من وكالة الطاقة الدولية. [1]

ما هو صحيح بالنسبة للطاقة، يمكن أن يكون إلى حد ما كذلك للمياه .وفي سياق التهديد المزدوج للطاقة والمناخ، يواجه إنتاج المياه العذبة صراعا بين الطلب المتزايد على الماء العذب والعرض الذي يقيد الموارد المحدودة والمتدهورة.

وهناك نحو 1,500,000,000 شخص محرومون بالفعل من أي وصول مباشر إلى المياه، ولا يحصل بليون آخرون إلا على المياه الرديئة النوعية وغير الصحية والكريهة الرائحة التي يقتل استهلاكها ما يقرب من 30,000 شخص كل يوم. هذه الأرقام لا تدع شكا في أن ندرة المياه العذبة أهم الكوارث التي تهدد الأرض.[2]

ولكن قبل ألف سنة، كانت المحيطات عقبة كبيرة؛ ومنذ 500عاما، أصبحت قنوات اتصال رئيسية [3]. وغدا، قد تصبح هذه المحيطات نفسها مصدرا للمياه العذبة لملايير البشر من خلال عملية تحلية المياه.

الواقع أن المناطق الساحلية تؤوي الآن حوالي 60 في المائة من سكان العالم، أي ما يقرب من 3,000,000,000 نسمة [4] . وفي2025، ستكون المدن الضخمة في المناطق الساحلية معمورة بما بين 4 و5 مليار من الناس . تزويد هذا القدر من السكان بتحلية المياه من شأنه أن يجنب الضغط غير الطبيعي على كمية المياه العذبة.[5]

إن تحلية المياه ليست أكثر من السيرورة الطبيعية المستنسخة بدون وقف لدورة الماء على نطاق كوكبنا.

غير أن أداء عمليات تحلية المياه التي تعتبر في معظمها مستهلكة للطاقة يتنافى مع مفهوم التنمية المستدامة، لأنها تشارك بنشاط في استنفاد احتياطيات هذه المصادر الطاقية وزيادة أثر الاحتباس الحراري بفعل الانبعاثات المباشرة وغير المباشرة التي تولدها. ومن ناحية أخرى، فإن تكلفة الطاقة يمكن أن تمثل في بعض الحالات ما يصل إلى 50 ٪ أو أكثر من تكلفة م ^{3} من المياه المنتجة، مما يعيق تنميتها في البلدان النامية التي لا تنتج النفط.[6]

من شأن تحلية المياه أن تكون أفضل عملية يتم فيها توضيح الثنائية ماء– طاقة. في الواقع، وفي إطار هذه الازدواجية، فإن توافر الطاقة يضمن توافر المياه، ولكن عدم وجود الطاقة يجعل مشكلة المياه أكثر تعقيدا ويحولها إلى مشكلة طاقة فنحصل على مشكلة كبيرة في مجال الطاقة التي ينبغي إيجاد حلول عاجلة لها[7]

في غياب الموارد الأحفورية عند بعض البلدان يمكن لهذه الأخيرة أن تتمتع بوفرة من الإمكانات الاستثنائية في مصادر الطاقة المتجددة . وهذه ميزة لتطوير تكنولوجيات تحلية المياه باستخدام هذه الأشكال غير الملوثة من الطاقة مع العمل على جعلها قادرة على المنافسة.

والواقع أن الإقلاع في الطاقات المتجددة الذي كان متوقعا منذ زمن بعيد يبدوأنه بدأ جيدا. لا يمكن للإنسان أن يتجاهل الزيادة في القوة التي تتسم بها هذه الظاهرة، خاصة وأنه الآن في مفترق الطرق للطاقة، وهو حاسم بالنسبة لنموه وازدهاره في المستقبل[8] .

وتعود الأبحاث الأولى التي أجريت في القرن الماضي بشأن تحلية المياه باستخدام الطاقات المتجددة إلى أوائل سنوات 1980.

وعلى الرغم من أن أقل من 1 في المائة من مياه الشرب في العالم تنتج من التحلية، فإن الآفاق التي توفرها هذه التكنولوجيا تبشر بالخير [9] . الواقع أن العديد من المدن في العالم تقع على شاطئ البحر أو ليس بعيدا عنه. بالإضافة إلى ذلك، تنص الدراسات على أن أكثر من ثلثي الزيادة السكانية في الـ 50 سنة المقبلة ستكون على مسافة أقل من 100 كلم من البحر. وعلاوة على ذلك، في2025، سيسكن المدن الضخمة في المناطق الساحلية من 4 إلى 5 مليار شخص[5] .

ومن شأن تزويد هؤلاء السكان بالمياه المحلاة أن يُجنب الضغط غير العادي على المياه العذبة.

وكانت تحلية مياه البحر والماء المالح لعدة عقود هي الحل لندرة المياه في أجزاء كثيرة من العالم، بما في ذلك بصفة رئيسية قبرص وفلسطين المحتلة والمملكة العربية السعودية والإمارات والولايات المتحدة الأمريكية (فلوريدا وكاليفورنيا) . في قبرص، تغطي تحلية مياه البحر بالفعل ما يقرب من 40 في المائة من الطلب[10].

وتعتمد بعض البلدان، مثل الكويت و قطر، اعتمادا كليا تقريبا على تحلية مياه البحر لإمدادها بالمياه العذبة[5].

مع ذلك، فإن تحلية المياه في الصين لا تزال متواضعة اليوم، لأنها لم تمثل إلا إنتاجا سنويا قدره 380,000 مترا^3 في2006 ، وتقدره التوقعات المتعلقة بأفق 2015 بمبلغ 2,5 مليون متر^{3}يوميا و 3,000,000 في 2020 ، مما سيسمح بتوفير ما يصل إلى 24 في المائة من الطلب على المياه العذبة في بعض المدن الساحلية في ذلك البلد.

وقد اعتمدت أستراليا في 2007 الخطة الوطنية لتأمين إمدادات المياه . وتحتل محطات تحلية المياه مكانة ذات أولوية وستعزز القدرات الناشئة، مثل تلك الموجودة في بيرث، وهي محطة شيدت في نيسان/أبريل2006 ، وكانت أول مرفق لتحلية مياه البحر في أستراليا بقدرة 000 130متر^{3}في اليوم[9].

وفي منطقة البحر الأبيض المتوسط، بدأ الإنتاج الاصطناعي للمياه العذبة بإزالة ملوحة مياه البحر أو الماء الجوفي المالح في المقام الأول في حالات منعزلة (مالطة، جزر البليار، الدلماسية، قبرص، السيكلادس...)، والساحل(ليبيا)والصحراء (الجزائر)، وتنتشر الآن بسرعة كبيرة في جميع أنحاء البحر الأبيض المتوسط. وقد اختارت الجزائر وإسبانيا بوضوح هذا الخيار لحل

مشكلتها المتمثلة في الندرة .وتقع إسبانيا في المرتبة 4 عالميا.

حتى الآن، البحر الأبيض المتوسط يمثل حوالي ربع التحلية في العالم . حوالي2030 ، يمكن للمنطقة أن تقترب من الرقم العالمي الحالي لتحلية المياه أي حوالي 30 إلى40 مليون متر^{3}اليوم [11].

ثانيا-تحلية المياه باستخدام مصادر الطاقات المتجددة

ثانيا 1 -مقدمة

وخلافا لعمليات تحلية المياه التقليدية التي يمكن أن تحقق قدرات إنتاجية عالية، فإن المقصود عموما، وليس حصرا، من مفهوم مصطلح" تحلية المياه بواسطة الطاقات المتجددة"، ما يسمى بوحدات التحلية الصغيرة المصممة للمناطق المعزولة وبالتالي تنتج كميات صغيرة فقط من المياه المحلاة.

وتعتبر الطاقات المتجددة بأنها جميع الطاقات المستمدة بصورة مباشرة (الطاقة الشمسية) أو بشكل غير مباشر(الرياح والهيدروليكية والكتلة الحيوية) من الشمس ،و الطاقة الحرارية الأرضية (وهي الطاقة المستمدة من الأرض المنصهرة) والطاقة المستمدة من الجاذبية(طاقة المد والأمواج).

كما أن مختلف الطاقات التي يمكن أن تستمد من المحيطات، مثل طاقة الأمواج، أو التيارات البحرية، أو التدرج الحراري للبحار، تستمد بصورة غير مباشرة من الطاقة الشمسية وهي جزء من مجال الطاقات المتجددة[12].

ثانيا 2- نبذة تاريخية

ليست فكرة استخدام الطاقات المتجددة ، خصوصا الطاقة الشمسية، وليدة اليوم في تحلية مياه البحر.

أرسطو وصف بالفعل في القرن الرابع قبل الميلاد طريقة التبخر والتكثيف من المياه للحصول على المياه المقطرة . ومع ذلك، يبدو أن الحاجة إلى تحلية مياه البحر لم تبدأ إلا عندما بدأت القوارب تقطع مسافات طويلة، وبالتالي تظل مدة طويلة في أعالي البحار. هذا هو في الواقع الحالة التي وصفها ألكسندر أفروديسياس في العام 200 من عصرنا، ويتضح من الشكل1 ، الذي يبين البحارة الذين ينتجون المياه من خلال تقطير مياه البحر.

الشكل 1: البحارة المنتجون للمياه عن طريق تقطير مياه البحر [13]

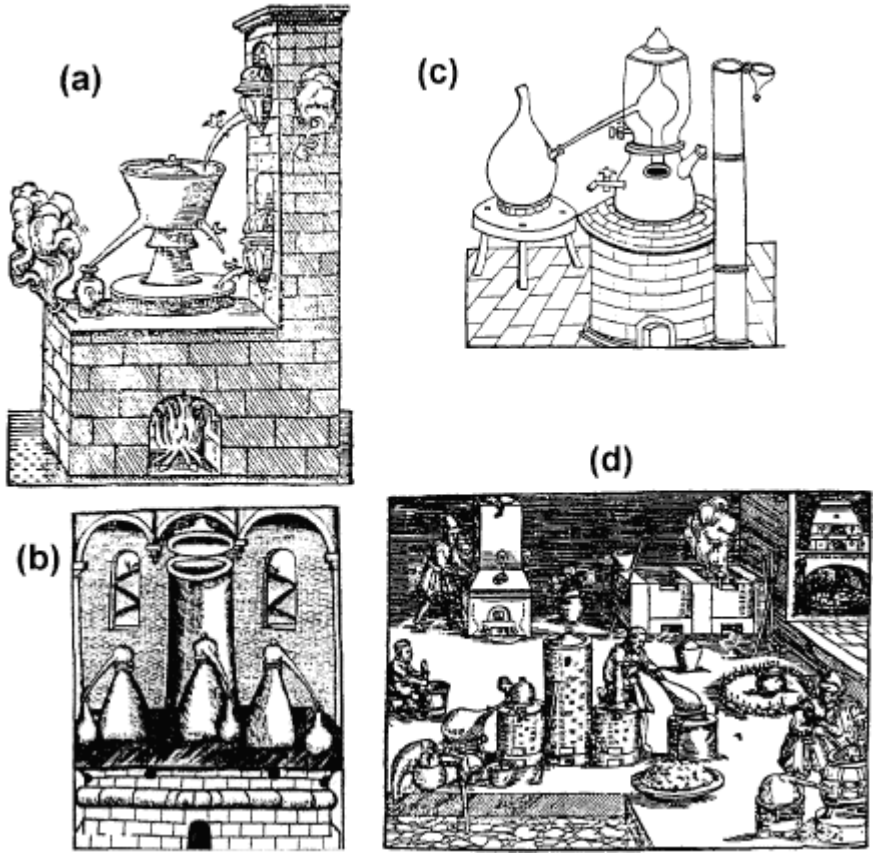
واكتشف البحارة في ذلك الوقت أنه بتبخير المياه المالحة، يمكنهم جمع المياه المقطرة بمحاصرة بخار الماء في الإسفنج حيث يتكثف البخار[13,14].

ومع ذلك، فإن الأداة المؤهلة تاريخيا لتشغيل تبخر المياه والتكثيف الفوري لبخارهـــا (الشكل2) أبلغ عنها Dioscorides ، الطبيب الشهير في انازاربوس في سيلسيا (المقاطعة الرومانية السابقة الواقعة في نصف جنوب أسيا الصغرى في تركيا)

ويعرف هذا الجهاز على نطاق واسع حتى اليوم باسم امبيبك أو من ألامبيك كما أشار العرب من خلال إضافة حروف التعريف ال[15].

تم اكتشاف الألامبيك في الإسكندرية (مصر) في الفترة الإغريقية التي تمتد من القرن 3 قبل الميلاد إلى القرن 5 من عصرنا.

ومن المعروف جيدا أن جابر بن حيان، الذي كتب عن التقطير، ساهم في تطوير هذه الآليات[14].



الشكل 2: بعض الحالات من الألامبيك يرجع تاريخها إلى فترة العصور الوسطي، المستخدم

لتقطير محاليل لإنتاج المياه والعطور والكحول .(a) الأولمبيك المركبة على الطوب ..(1567) (b) الألامبيك على الأفران .(c) الألامبيك مسخنة في حاويات المياه .(1500)(d) المختبر الذي به حاويات تقطير [13]

غير أنه منذ ذلك الحين وحتى فترة العصور الوسطي، لم يلاحظ أي تطبيق ذي شأن لتحلية المياه بالطاقة الشمسية . واستخدمت الطاقة الشمسية فقط لتسخين الألامبيك لغرض تركيز الحلول الكحولية أو مقتطفات من النباتات المستخدمة في التطبيقات الطبية، أو لإنتاج النبيذ أو العطور[13].

يذكر Mouchot [17] الذي لديه العديد من الأعمال المتعلقة بالطاقة الشمسية في أحد كتبه أن كيميائيين عرب من دمشق استخدموا في القرن الخامس عشر مرايا مقعرة مصقولة لتركيز الإشعاع الشمسي على الحاويات الزجاجية التي تحتوي على المياه المالحة لإنتاج المياه المقطرة.

في القرن 19 ، تم إيداع أول براءة اختراع على التقطير الشمسي في 1870 من قبل اثنين من الأميركيين ويلر وايفنز[13].

وبعد سنتين من إيداع البراءة، قام مهندس سويدي، هو كارلوس ويلسون، بتصميم وبناء أول وأكبر محطة لتحلية المياه بالطاقة الشمسية معروفة حتى الآن بمدينة التعدين في لاس ساليناس في شمال شيلي . وقد بني هذا المرفق، القائم على مبدأ الرطوبة وإزالة الرطوبة، لتزويد عمال منجم نترات البوتاسيوم ومنجم فضي بالمياه العذبة. وقد استخدمت النفايات السائلة من نترات البوتاسيوم مع تركيز ملح مرتفع (140,000 ppm) كمياه تغذية للمقطر . وتتكون المحطة من صناديق خشبية على سطح $4.700\ m^2$ لإنتاج $22,70\ m^3$ من المياه النقية يوميا(حوالي 4.9 لتر/م ^{2})، وقد عمل هذا المقطر لما يقرب من 40 سنة[13].

ومنذ ذلك الحين وحتى الحرب العالمية الثانية، لم يعط اهتمام يذكر لتحلية المياه بالطاقة الشمسية.

ولم تركب محطات التقطير الشمسية في أربع جزر يونانية إلا بين السنتين 1965 و1970 لإمداد المجتمعات الصغيرة بالمياه العذبة . وقامت بتصميم هذا المقطر الجامعة التقنية في أثينا . وتراوحت طاقته الإجمالية بين 2,044 و 8,640 مترا^3 يوميا [13].

الأزمتان النفطيتان لسنوات 70 من القرن الماضي أعطتا اهتماما مجددا لهذا المقطر .غير أنه على الرغم من الجهود البحثية الكثيرة التي بذلت على الصعيد العالمي بشأن التقطير الشمسي، لم يتمكن المقطر الشمسي الكبير السعة من رؤية ضوء النهار.

بيد أنه تم بناء ما يقرب من مائة وحدة لتحلية المياه المرتبطة بالطاقات المتجددة على مدى السنوات العشرين الماضية، ومعظمها مرافق تجريبية أو توضيحية صغيرة . ويوجد عدد من هذه الوحدات في منطقة البحر الأبيض المتوسط (مصر والجزائر وتونس) . وهي تعمل في معظمها بتخزين الطاقة في البطاريات مما تنجم عنه تكاليف عالية (عمر محدود، وضياع الطاقة) وتعاني من نقص الخبرة المحلية وخاصة الصيانة [11].

ثانيا 3- طرق تحلية المياه باستخدام الطاقة الشمسية

ثانيا 3-1- مقدمة

يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى كل من الحرارة والكهرباء.

من خلال التحول الحراري لأشعة الشمس، يمكن أن تنتج المياه المقطرة من خلال عمليات تقطير مختلفة .ميزة استعمال الكهرباء المولد بالطاقة الشمسية هي السماح باستخدام عمليات

التحلية التقليدية المشغلة بالكهرباء.

ثانيا 3-2- التحول الحراري

النظم الحرارية الشمسية لتحلية المياه هي إما مباشرة أو غير مباشرة.

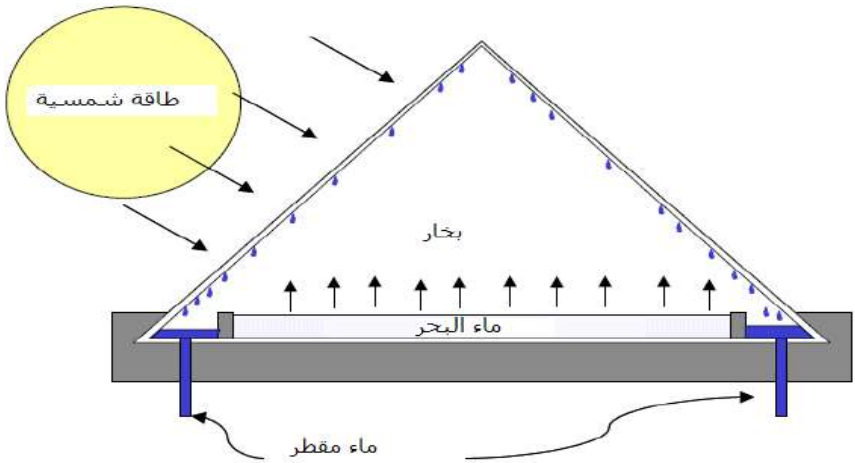
خلافا للنظم غير المباشرة، لا يستطيع المقطر المباشر استخدام الطاقة الشمسية إلا عند وجودها في كل مرة، ويكون أداؤه منخفضا نسبيا.

ثانيا 3- 2 - 1 تحول المباشر: المقطر الشمسي من نوع الدفيئة

ثانيا 3- 2-1-1 مبدا التقطير الشمسي من نوع الدفيئة

عادة ما يأتي المقطر الشمسي البسيط في شكل دفيئة في داخلها مادة مانعة لتسرب الماء يسري فوقها ماء البحر أو ماء مالح . تحت تأثير الأشعة الشمسية، يسخن الماء وجزء منه يتبخر (شكل 3) .

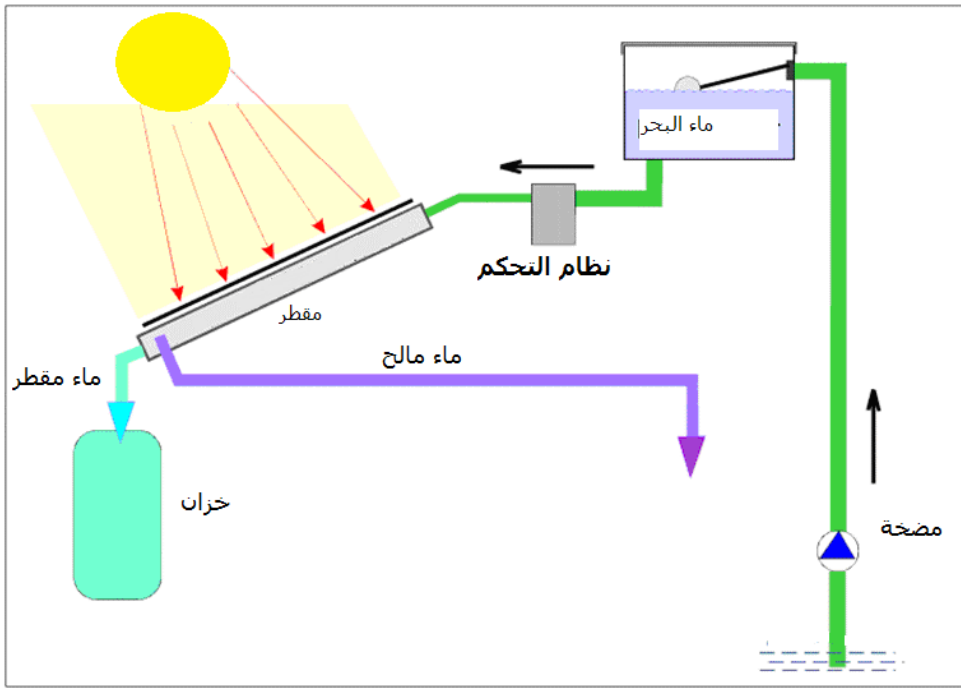
والبخار المنتج يتكثف في التلامس مع جدار الزجاج البارد نسبيا. ويمكن جمع قطرات المياه العذبة في الجزء السفلي من الزجاج في مزراب [20,21]



الشكل 3: مخطط لمبدأ التقطير الشمسي من نوع الدفيئة

ثانيا3-2-1-2- المقطر المائل

هذا النوع من المقطر هو البديل عن المقطر نوع الدفيئة . يتم إحضار الماء إلى أعلى الجهاز فيتدفق على طول الممتص للأشعة الشمسية . في الجزء السفلي من المقطر، يتم جمع المياه المقطرة ومحلول ملحي بشكل منفصل.



الشكل 4 : رسم بياني للمقطر المائل

كما يظهر في الشكل 4، فإن لهذا الجهاز ميزتين بالنسبة للمقطر نوع الدفيئة: التوجيه قبالة الإشعاع الوارد قد يكون أقرب إلى الأمثل، وسمك الشريحة المائية سيكون أضعف؛ هذا يسمح للماء بالوصول إلى درجات حرارة مرتفعة نسبيا [20].

وقد قام Kabeel وآخرون باستعراض عدة نماذج لتقطير الطاقة الشمسية وأدائها [22] .

كما ناقش Goosen وآخرون وسائل تحسين أداء هذه المقطرات لخفض تكلفة المياه المنتجة[19] .

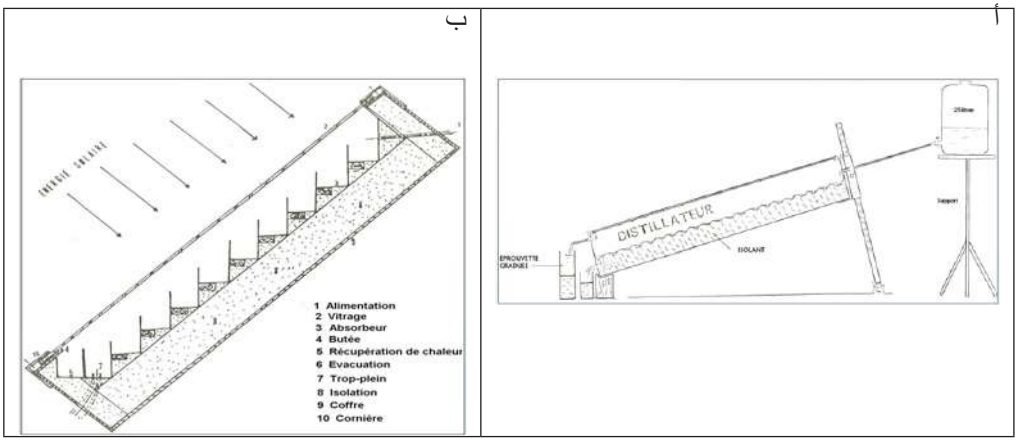
وأعد Delyannis وآخرون [23]، من جهتهم، قائمة لمختلف المقطرات الشمسية المثبتة من جميع أنحاء العالم من عام 1872 إلى عام 1982.

ثانيا3-2-1-3- -بعض الإنجازات في المغرب

لقد بدأت عدة مؤسسات للتعليم العالي في المغرب، ولا سيما معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة، والمدرسة المحمدية للمهندسين، منذ بداية سنوات 1980 في البناء والدراسة لبعض أنواع هذه المقطرات.

ا/المقطر المائل ذو ممتص مموج

وقد بني هذا المقطر في 1984 في معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة (المغرب، الشكل 5 ألف) ولم يتجاوز إنتاج هذا المقطر 5 لتر/م2 في اليوم .[24]



الشكل5: المقطرات الشمسية المائلة التي بنيت في (أ)معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة [24]و (ب)المدرسة المحمدية للمهندسين (المغرب) [25]

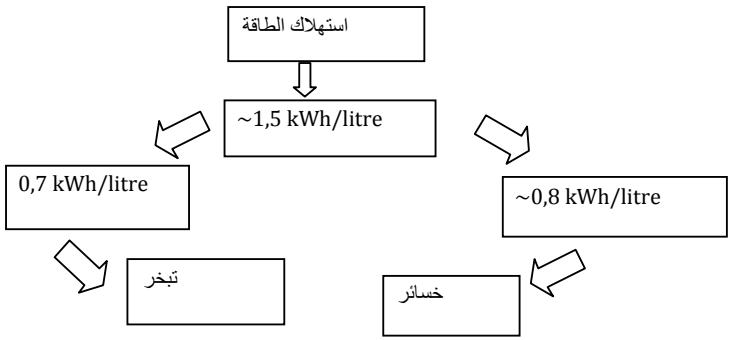
ب/ مقطر مائل ذو طبقات

لقد رُكب هذا النوع من المقطر في المدرسة المحمدية للمهندسين (المغرب) سنة 1984 الشكل 5ب .عندما يتدفق ماء البحر أو المياه المالحة فإنها تملأ الخزان الأول والفائض يملأ الخزان الثاني وهلم جرا .لم ينتج هذا المقطر أكثر من 5لتر/م^2 يوم[25].

ثانيا 3-2-1-4- القيود المفروضة على التقطير من نوع الدفيئة

تشتهر المقطرات البسيطة بإنتاجيتها المنخفضة التي يجب أن تضاف إليها النوعية الرديئة للمياه المنتجة المرتبطة بمجال درجة حرارة التشغيل، والتي تكون مناسبة لتطور الكائنات الدقيقة.

بالنظر إلى هذه الحالة، سعت عدة محاولات إلى زيادة إنتاج هذه المقطرات، ولكن النتائج ظلت دون التوقعات . في الواقع، لا يمكن للمرء أن يطلب من نظام، أيا كان، إنتاج أزيد مما تسمح به قوانين الفيزياء، كما هو مبين في الرسم البياني في الشكل 6 وتفرض هذه القوانين حدودا لا ينبغي تجاوزها.



استهلاك نظري: 0,7 kWh/m^3

إذا كان الإشعاع الشمسي اليومي (جنوب المغرب) 5,5 – 8 kWh/m^2.j

⇩

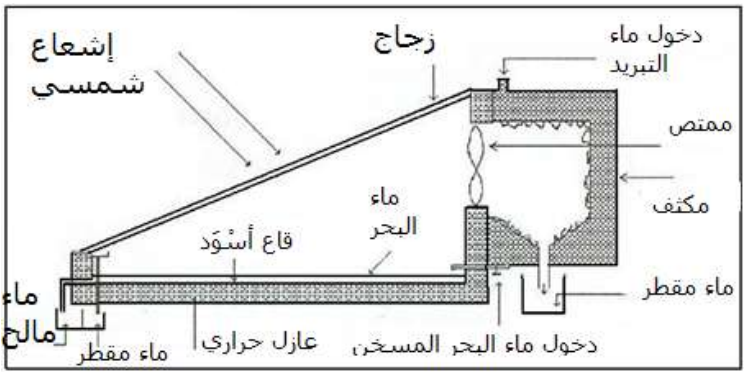
إنتاج : 3– 5 litres/m^2.j

الشكل 6 : موجز التوازن الحراري لمقطر بالطاقة الشمسية بسيط [26]

مع ذلك، بما أن هناك حاجة إلى كمية كبيرة من الطاقة لتبخر الماء، فقد كان من المناسب للباحثين إيلاء اهتمام خاص لاسترداد الطاقة بكفاءة. بعبارة أخرى، يمكن الاستفادة من الطاقة التي يتم إطلاقها خلال تكثيف البخار، سواء من أجل تسخين الماء الخام أو تبخير المزيد من الماء.

ثانيا 3-2-1 -5 استعادة الحرارة الكامنة للتكثيف في التسخين المسبق للمياه

ا/التقطير الشمسي مع المكثف



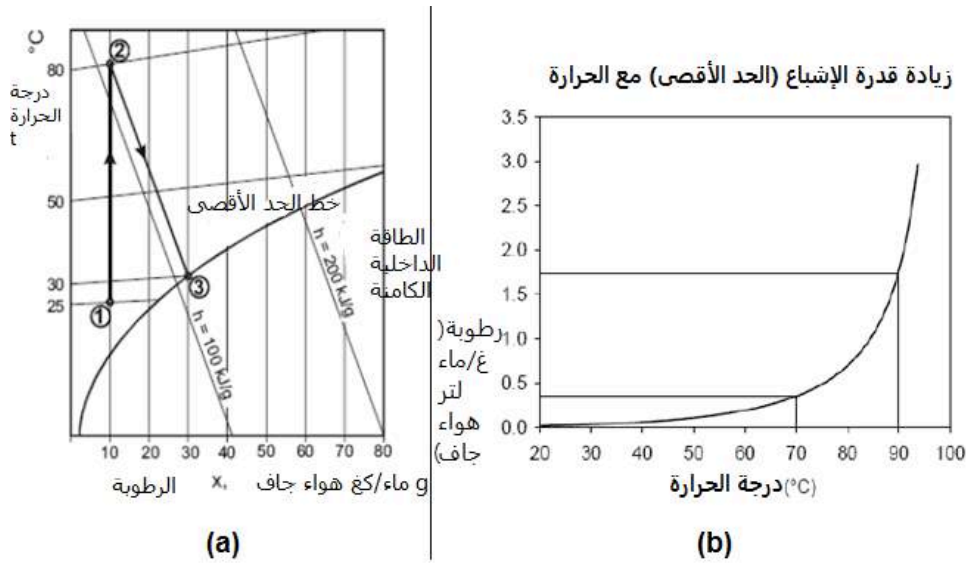
الشكل 7 : تخطيط للمقطر بالطاقة الشمسية مع مكثف [27]

هذا المقطر، المبين في الشكل 7، والذي تم بناؤه واختباره في كلية العلوم بأغادير(المغرب) ، يشبه المقطر نوع الدفيئة مع فارق وحيد هو أنه يقترن بمكثف متصل به على الجانب المظلل. يحدث التكثيف على كل من الجانب السفلي من غطاء التقطير الشفاف وعلى أسطح المكثف. يتم استخدام مضخة هوائية لهذا الغرض لإجبار البخار على دخول منطقة المكثف. ومع ذلك، لا يتجاوز الإنتاج 7 لتر / م2. يوم [27].

ب) الترطيب-إزالة الرطوبة

إن مفهوم التقطير بالترطيب- إزالة الرطوبة ليس جديدا . ووفقا لما ذكره Goosen وآخرون [19]، فقد تم بناء أول مقطر استنادا إلى هذا المبدأ في شيلي سنة 1872.

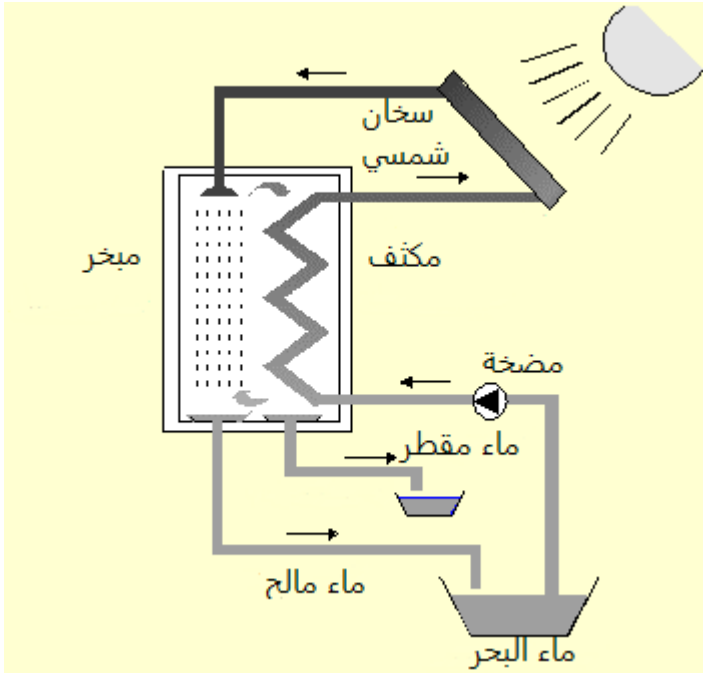
ويستند مبدأ هذه العملية لتحلية المياه إلى تبخر الماء وتكثيف بخار الهواء الرطب الموصوف في الرسم البياني ل Mollier في الشكل 8 أ . ويمكن تحسين قدرة تشبع المياه في الهواء عن طريق زيادة درجة)



الشكل 8 (a) وصف لعمليات الترطيب وإزالة الرطوبة في الرسم البياني ل Mollier، (b)تغير محتوى الهواء من الرطوبة مع درجة الحرارة [28]

يقلل ترطيب الهواء من كثافة الهواء بسبب انخفاض الوزن الجزيئي للمياه نسبة إلى وزن الهواء، مما يدفعه إلى الصعود إلى المبخر. من ناحية أخرى، فإن إزالة رطوبة الهواء تزيد من

كثافة الهواء، مما يدفعه للتدفق من الأعلى إلى الأسفل. هذا يخلق خلية حمل طبيعية بين المكثف والمبخر كما هو موضح في الشكل [29]. 9



الشكل 9 : الرسم البياني لمبدأ تشغيل مقطر الترطيب -إزالة الرطوبة [28]

وهذه العملية تقدم تحسنا كبيرا بالنظر إلى التحلية الشمسية البسيطة بسبب استرداد حرارة التكثف.

يتراوح الإنتاج النموذجي للمياه المقطرة من 10 إلى 20 لتر / م 2 حسب الحالة [28]

Goosen وآخرون [19] قدموا في ورقتهم مراجعة للمنشآت على أساس هذا المبدأ.

Younis وآخرون [30] وضعوا في ورقتهم نموذجا بالرياضيات أظهرت النتائج التجريبية من اختبار التقطير بهذا النوع.

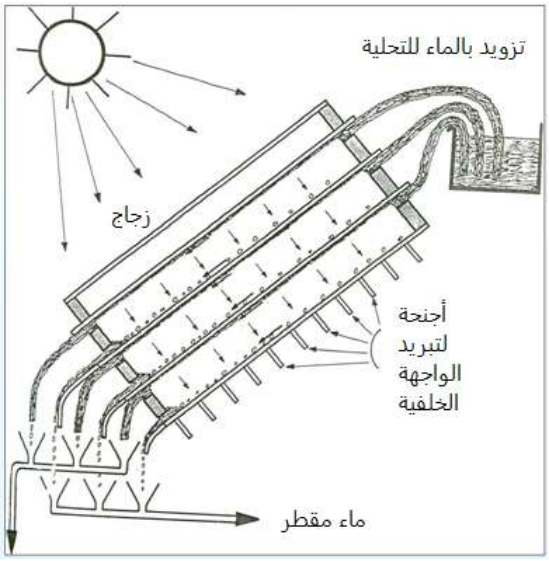
يبين الشكل 10 صورة لمحطة التحلية بواسطة عملية الترطيب - إزالة الرطوبة التي تم تثبيتها في المعهد الوطني للبحوث العلمية والتقنية بتونس (INRST) [31].

الشكل 10: محطة تحلية المياه بواسطة عملية الترطيب-إزالة الرطوبة التي تم تركيبها في المعهد الوطني للبحوث العلمية والتقنية في تونس [31]

ثانيا..3.2.1.6- استرداد الحرارة الكامنة للتكثيف في تبخر الماء

أ / تقطير المرشح المسامي (DIFICAP)

تم تطوير هذا المقطر من قبل الفرنسي Pierre Le Goff في منتصف سنوات 1980وقد أرسلت عدة نسخ من هذا المقطر إلى عدد من المؤسسات في شمال إفريقيا لاختبار أدائه.



الشكل 11: رسم تخطيطي لمقطر DIFICAP [32]

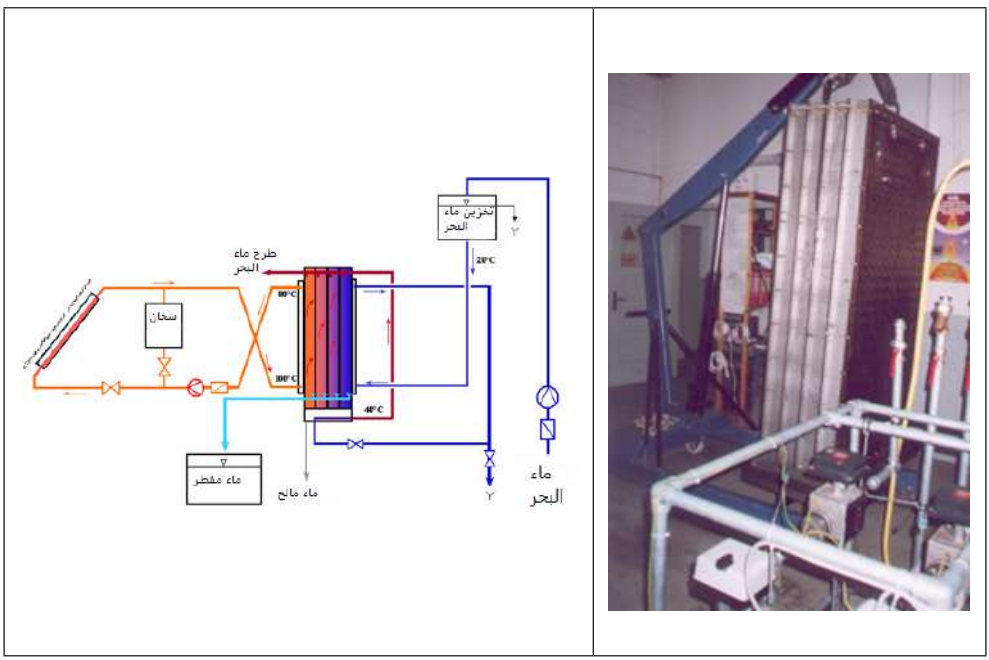
يعتمد هذا المقطر على استعادة حرارة تكثيف الماء لتبخير كميات أخرى من الماء. يتم إرسال الماء على قماش ذي مسام، موضوع على عكس الوجه الخلفي للوحة معدنية تواجه

الجنوب. تكاثف البخار يجري على الجدار المقابل، على بعد بضعة سنتيمترات، ولها ميزة كونها في الظل، وفي الوقت نفسه يبرد بمياه البحر المتدفقة على وجهها الخلفي. وهكذا فلوحة المكثف من الطابق الأول تصلح على الوجه الخلفي لها كمبخر للطابق الثاني والمكثف للطابق الثاني هو المبخر للطابق الثالث كما هو مبين في الشكل 11. ومع ذلك، لا يتجاوز الإنتاج 20 لتر/متر مربع في اليوم [32].

(ب)المقطر ذو الورق الماص

وقد تم بناء واختبار هذا المقطر بين 1999و2001 كجزء من مشروع تعاوني بين وحدة تكنولوجيات واقتصاديات الطاقات المتجددة التابعة للمركز الوطني للبحث العلمي والتقني (CNRST-المغرب) والمركز الألماني للبحوث المتعلقة بالطاقة الشمسية والهيدروجين (ZSW) بدعم مالي من مركز بحوث تحلية المياه في الشرق الأوسط(MEDRC) .

كما هو موضح في الشكل 12، يشتمل المقطر على دارتين مختلفتين. الأولى مفتوحة يعبرها ماء البحر المزمع تحليته، والثانية مغلقة يعبر عن طريقها حامل حراري مائع، يتم تسخينه في مجمع الطاقة الشمسية [33]



الشكل 12: مقطر ذو ورق ماص (zsw) في شتوتغارت –ألمانيا[33]

كما هو الحال مع المقطر FIDICAP، يستند هذا المقطر إلى مبدأ التبخر ذي مراحل متعددة لمياه البحر، مع الفرق أنه في هذه الحالة، يتم تسخين المياه المعالجة مسبقا . ويتكون هذا المقطر من أربعة مبخرات وضعت بالتوازي.

يتم تعبئة الوجه الملامس للمبادل الحراري بورق ممتص للماء بسمك 0.6 مم، وظيفته هي ضمان تدفق موحد للفيلم المائي الذي يقطر خلال التبخر . لا يتجاوز إنتاج هذا المقطر 20 لتر/ م^2 [33]

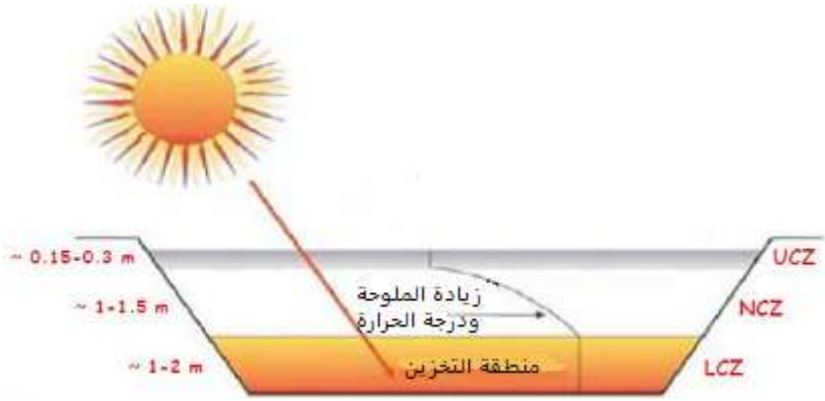
ثانيا .3 .2 .2 تحويل غير مباشر للطاقة الشمسية

ثانيا .3 .2 .2 .1 .البرك الشمسية مع تدرج الملوحة

تم اكتشاف المبدأ وراء ظاهرة البرك الشمسية لأول مرة من قبل Kalecinsky في عام 1902 في بحيرة ميدفي في ترانسيلفانيا (رومانيا). أفاد Kalecinsky في بحثه أن درجة حرارة 70 درجة مئوية تم التوصل إليها في هذه البحيرة على عمق 1.32 متر في نهاية الصيف بسبب تدرج الملوحة في هذه البحيرة. ثم لوحظت الظاهرة نفسها في العديد من البحيرات الأخرى. وقد تبين أن هذه البحيرات تتميز بالتوزيع العمودي لتركيز الملح، الذي يثبت بشكل طبيعي بالجمع بين ترسب الأملاح في قاع البحيرة وإمدادات المياه العذبة من السطح (محلول ملحي منخفض الملوحة (النهر) أو وسائل أخرى [34])

في البركة العادية وتحت الإشعاع الشمسي، تمنع حركات الحمل في الطبقات السفلى من الوصول إلى درجات حرارة أعلى من الطبقات العليا. من أجل إبطاء هذه الحركات والسماح برفع حرارة الطبقة السفلى، يجب أن تكون هذه الطبقة أكثر كثافة من الطبقات العليا. ولتحقيق ذلك، يتعين على المرء ببساطة أن يستلهم من الأحواض الشمسية الطبيعية بإضافة الملح إلى هذه الأحواض الاصطناعية [35]. وهذا ما يسمى البركة الشمسية ذات تدرج الملوحة حيث تضعف ظاهرة الحمل الحراري بقوة. ثم تصبح البركة مجمعا للطاقة الشمسية ووسيلة لتخزين الحرارة.

كما هو مبين في الشكل 13، تحتوي بركة شمسية على ثلاث طبقات من المياه المالحة.



الشكل 13: رسم تخطيطي لحوض شمسي ذي تدرج ملوحة [36]

- منطقة الحَمْل العلوي (UCZ) هي طبقة أقل سُمكًا (0.2 إلى 0.8 م) وأقل كثافة، تتكون أساسًا من المياه العذبة. إنها بمثابة عازل شفاف للإشعاع الشمسي وحماية تجاه التأثيرات الخارجية مثل الرياح والأمطار. يجب تزويد هذه المنطقة التي يمكن أن تكون حاملة للحمل الحراري بالمياه العذبة من أجل تعويض خسائر التبخر.

- المنطقة غير الحملية (NCZ) هي الطبقة المتوسطة السمك (نصف البركة 0.5 إلى 2 م) وتسمى ذات تدرج تركيز. داخل هذه الطبقة، تزيد درجة الحرارة والتركيز مع العمق. ثم تعمل هذه المنطقة كعازل حراري وكتلي للطبقة السفلية وبالتالي تمنع انتقال الحرارة عن طريق الحمل بين LCZ وUCZ.

- تعتبر منطقة الحمل الحراري السفلى (LCZ) هي الطبقة السفلية. يتم استخدامها لتخزين الحرارة. تركيزها الملحي ودرجة حرارتها (حوالي 70 درجة مئوية) قريبان من الثبات. يتراوح سمكها من 0.5 إلى 2 متر حسب استخدام البركة [37، 38].

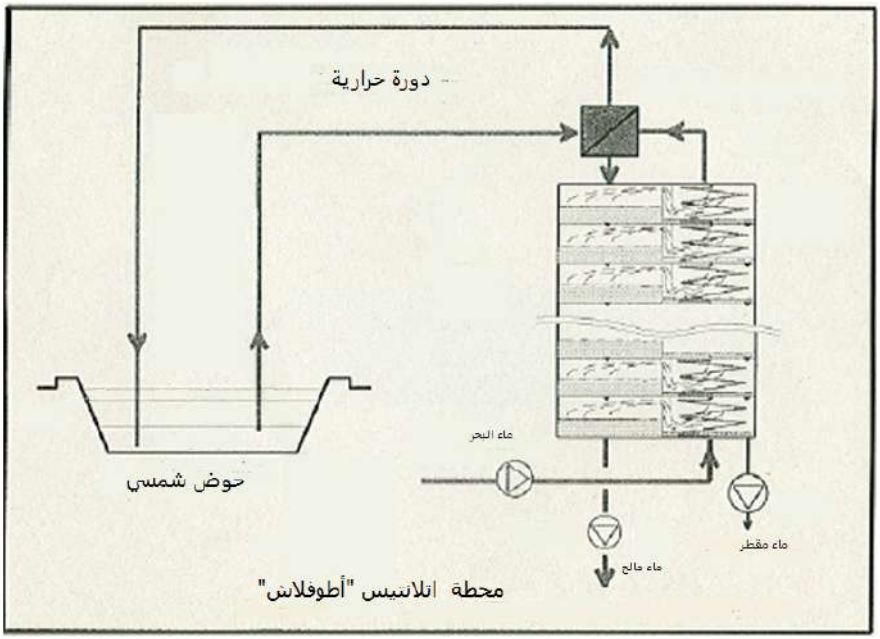
كان بناء الأحواض الشمسية الاصطناعية في المرة الأولى فكرة Rudolph Bloch من فلسطين المحتلة في عام 1954. وبناء على ذلك، شيدت أحواض شمسية اصطناعية في أستراليا والهند وكندا والبرتغال والكويت وتركيا[34] .

تمت دراسة تحلية المياه باستخدام البركة الشمسية في عدة بلدان منها الولايات المتحدة الأمريكية [39]، وإيطاليا [40]، وسويسرا [41]، وتونس [42]، وليبيا [43]

إن التجربة الأكثر استشهادًا بها هي التي أجرتها جامعة الباسو في تكساس في الثمانينيات في بركة شمسية تجريبية مقترنة بعملية الفلاش. مقاييس هذه البرك كانت كالتالي : 3000 متر

مربع في المساحة و3.25 متر عمق [39]

ويعرض الشكل 14مخطط محطة تحلية المياه باستخدام البركة الشمسية المقترنة بتبخر فلاش الذي طور في السنوات 1990من قبل الشركة السويسرية اتلانتيس .[44]



الشكل14 : الرسم البياني لمحطة التحلية اتلانتيس
باستخدام البركة الشمسية المقترنة بالتبخر فلاش[44]

ثانيا.3 .2 .3 . تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء: التحول الكهروضوئي (PV)

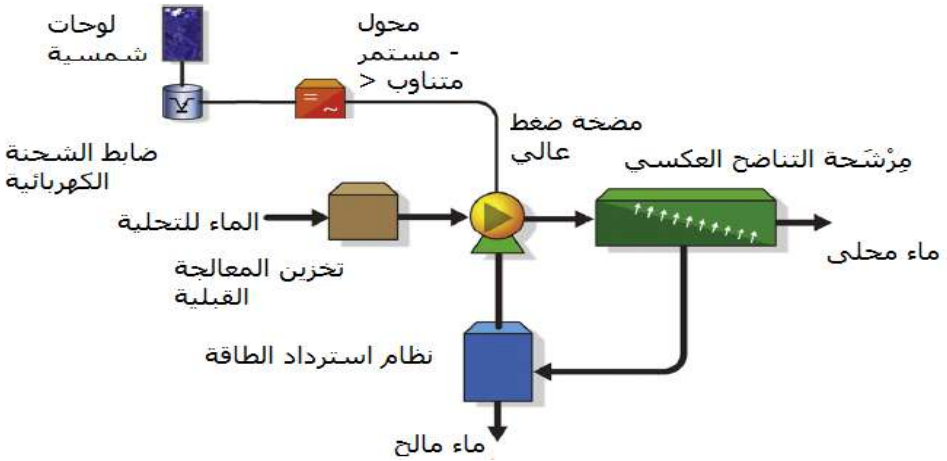
مقدمة

يتميز إنتاج الكهرباء بواسطة الطاقات المتجددة بميزة السماح باستخدام العمليات التقليدية المدفوعة بالكهرباء.

من أجل تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، تعد الخلايا الكهروضوئية (PV) واحدة من أكثر التقنيات شيوعًا لتزويد منشآت التحلية الصغيرة بالطاقة الكهربائية. الدراسات المتعلقة بالجمع بينها وبين تقنية التناضح العكسي والتقنية الميكانيكية إعادة ضغط البخار عديدة [45، 46]؛ والمشاريع التجريبية والعروض التوضيحية في شأنها وفيرة [47،48].

من ناحية أخرى، تبين التطورات الأخيرة في نظم التناضح العكسي-الكهروضوئي، الشكل

(15)، أن تخزين الكهرباء مكلف جدا وأن تخزين المياه الذي هو أقل كلفة بكثير، يمكن أن يحل بفعالية محل البطاريات[49] .



الشكل 15: رسم بياني لنظام التناضح العكسي-الكهروضوئي [50]

بعض الأمثلة على الإنجازات

في معهد التكنولوجيا في جزر الكناري، بدأ تشغيل ألواح شمسية تغذي نظاما مستقلا لتحلية المياه بالتناضح العكسي منذ 1998 . ويبين الشكل 16 المنشآت التي تؤوي النماذج الأولية لتحلية المياه وكذلك الورشات والمخابر [51].

وقد أمضى الباحثون في الكناري السنوات العشرين الماضية في تطوير مرافق صغيرة مستقلة يمكن أن توفر المياه ل 100 إلى 300 أُسرة.[51]

الشكل 16: صورة الألواح الشمسية التي تغذي نظاما مستقلا لتحلية المياه بالتناضح العكسي، يعمل منذ 1998في جزر الكناري [51]

في المغرب وفي مشروع ADIRA (نماذج نظام تحلية لمياه البحر والمياه المالحة في المناطق الريفية بالطاقات المتجددة) المدعوم من المفوضية الأوروبية، والذي تشارك فيه مؤسسة مراكش 21، تم تركيب وحدات التناضح العكسي التي تعمل بالوحدات الكهروضوئية في جنوب المغرب. ويبين الشكل 17الوحدات الكهروضوئية ومحطة تحلية المياه في قرية أمالو [52]

الشكل 17: الوحدات الكهروضوئية (يسارًا) ومحطة التناضح العكسي (يمين) في أمالو[52]

ويقدم Ghermandi وآخرون [53] قائمة بما يقرب من 50 نموذجًا من أدوات التوصيل الكهروضوئية العكسية في جميع أنحاء العالم.

الختام

في هذا العمل، عولجت مشاكل المياه والطاقة، ثم عولجت في سياق تحليل العملية العرضية لهذين الموضوعين والتي تعكس بشكل كامل ازدواجيتهما التي تتجلى في تحلية المياه واقترانها بالطاقات المتجددة.

يبدو أن هذا النظام يعرف اليوم اهتمامًا قد تجدد في سياق مواتٍ لتطوره، ويميزه الآن القيد المزدوج للمناخ والطاقة.

ومما لا شك فيه أن تحلية المياه المرتبطة بالطاقة المتجددة هي أحد المحاور الواعدة للبحث لا لطبيعتها المتعددة التخصصات فحسب، بل أيضا للمسائل العديدة التي تثيرها والتي تستحق الفهم.

بيد أن هذه النظم، من وجهة النظر الاقتصادية، ليست قادرة على المنافسة بعد، وقد نعتقد أنها ستكون صعبة في الأجل القصير إذا لم تبذل الجهود اللازمة لتحقيق ذلك . ومع هذا، فإن الإرادة الدولية، المرتبطة بضروريات التنمية المستدامة، يمكن أن تعكس هذا الاتجاه وتجعل هذه الآليات مجدية اقتصاديا في الأجلين المتوسط والطويل.

المراجع:

[1] F. Birol. Outside View: We can't cling to crude: we should leave oil before it leaves us.

The Independent, Sunday, 2 March 2008.

[2] I. Ramonet. Une ressource stratégique.

Manière de Voir, le Monde Diplomatique, N° 65, septembre – octobre 2002, 6–7.

[3] I. Morris. Why the west rules – for now. Profile Books. 2010.

[4] http://www.ifremer.fr/com/presse/media53.htm

[5] A. Maurel. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres : aspects énergétiques, Dessalement par Énergies Renouvelables.

Energies Renouvelables pour le Traitement de l'Eau - Opportunités et Défis. Séminaire International «Sciences et Technologies à Membranes» STM 9Co-organisé par : Chaire UNESCO SIMEV Montpellier Programme Energies Renouvelables, UNESCO Association VERSeau Développement, 12 - 14 mai 2009 Château d'O - Montpellier, France.

[6] D. Zejli, A. El Midaoui. Moroccan Potentialities of Using Renewable Energy Sources for Desalination.

In: Solar Desalination for the 21st Century. Edited by Lucio Rizzuti, Hisham M. Ettouney, Andrea Cipollina. Nato Publishing Unit, Springer, 2006.

[7] J. Blanco. Solar water desalination.

Summer School CIEMAT-CNRST, Rabat, 25-29 June 2007.

[8] D. Zejli, R. Benchrifa, A. Bennouna (2008). L'énergie éolienne : un choix incontournable pour le Maroc.

Chapitre du livre "Les énergies renouvelables au Maroc – Le débat est lancé". UNESCO, 196 pp.

[9]. F. Galland. Géopolitique du dessalement.

Note de la Fondation pour la Recherche Stratégique. N° 18/2008, http://www.frstrategie.org

[10]. E. Shrestha, et al., Carbon footprint of water conveyance versus desalination as alternatives to expand water supply,

Desalination (2011), doi:10.1016/j.desal.2011.06.062

[11]. H. Boyé. Eau, Energie, dessalement et changement climatique en Méditerranée. Plan Bleu.

Banque Européenne d'Investissement, EUROMED, Aout 2008.

[12]. J-L. Bal, B. Chabot. Les énergies renouvelables. État de l'art et perspectives de développement.

Earth and Planetary Sciences 333 (2001) 827–834.

[13] S. A. Kalogirou. Seawater desalination using renewable energy sources.

Progress in Energy and Combustion Science 31 (2005) 242–281.

[14] J. D. Birkett. A brief illustrated history of desalination. From the Bible to 1940.

Desalination, 50 (1984) 17-52.

[15] A. Bobierre, Leçons élémentaires de Chimie.

Masson Librairie des Sociétés Savantes, 1852.

[16] V. Belessiotis, E. Delyannis. The history of renewable energies for water desalination. Desalination 128 (2000) 147-159).

[17] A. Mouchot La chaleur solaire et ses applications industrielles.

Paris: Gauthier-Villars; 1879.

[18] J. Harding Apparatus for solar distillation.

Proc Inst Civil Eng, London 1883;73:284–8.

[19] M. F. A. Goosen, S. S. Sablani, W. H. Shayya, C. Paton, H. Al-Hinai. Thermodynamic and economic consideration in solar desalination.

Desalination 2000;129:63–89.-Hinai

[20] A. Maurel.Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres.

Editions Techniques et Documentation. 2001.

[21] A. Chaker, N. Boukerzaza. Caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire.

12ème Journées Internationales de Thermique. Tanger, Maroc, 15 – 17 novembre 2005.

[22] A. E. Kabeel, S. A. El-Agouz. Review of researches and developments on solar stills. Desalination 276 (2011) 1–12.

[23] A. Delyannis and E. Delyannis. Recent solar dlstl llation developments.

Desalination,45 (1983)361-369.

[24] M. Mouncif. Réalisation d'un distillateur solaire incliné à absorbeur ondulé et contribution à l'établissement d'un modèle de simulation de son bilan énergétique.

Memoire de Fin d'Etudes en technologie alimentaire, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, 1984.

[25] R. El Ouadi, A. Ouffa. Réalisation et Expérimentation d'un distillateur solaire ave récupération de l'énergie de condensation.

Projet de Fin d'Etudes, Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, 1987.

[26] D. Zejli. Dessablement par les énergies renouvelables.

Cours Intensif sur le dessalement organisé conjointement par le Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST) et le Middle East Desalination Research Centre (MEDRC), 14-18 juin 2004.

[27] E. Zayouti, L. Bouirden, A. Aharoune, M. Banouni. Distillateur solaire : Amélioration de la condensation de la vapeur dans les distillateurs solaires.

Forum International sur les Energies Renouvelables, Tétouan – Maroc, 8–10 mai 2002.

[28] J. B. Gálvez. Solar water desalination.

Summer School CIEMAT-CNRST, Renewable Energies, Rabat, Morocco, 25-29 June 2007.

[29] G. Al-Enezi, H. Ettouney, N. Fawzy. Low temperature humidification dehumidification desalination process

Energy Conversion and Management 47 (2006) 470–484.

[30] M. A. Younis, M. A. Darwish and F. Juwayhel. Experimental and theoretical study of a humidification-dehumidification desalting system.

Desalination, 94 (1993) 11-24.

[31] I. Houcine, M. BenAmarab, A. Guizanib, M. Maâlej. Pilot plant testing of a new solar desalination process by a multiple-effect-humidification technique.

Desalination 196 (2006) 105–124.

[32] C. R. Ouahes et P. Le Goff. Un distillateur solaire multi-étage à film capillaire.

Journées Internationales de Thermique. Energies Renouvelables et utilisation

Rationnelle de l'Energie. Lyon, 13-16 avril 1987.

[33] J. Rheinländer, F. Graeter, A. Bennouna, D. Zejli. Hybrid Fossil/Solar Heated Multi-Effect-Still.

Final Report, Contract No.: 99-R-002, The Middle East Desalination Research Centre, 2001.

[34] N. D. KAUSHIKA. Solar Ponds: A review.

Energy Convers. Mgmt Voi. 24, No. 4 pp. 353 - 376, 1984.

[35] J. Srinivasan. Solar pond technology.

Sadhan, Vol. 18, Part 1, March 1993, pp. 39-55.

[36] www.prodes-project.org

[37] J.-P. Mericq. Approche intégrée du dessalement d'eau de mer : Distillation membranaire sous vide pour la réduction des rejets salins et possibilités de couplage avec l'énergie solaire.

Doctorat de l'Université De Toulouse. 2009.

[38] A. A. El-Sebaii, M. R. I. Ramadan, S. Aboul-Enein, A. M. Khallaf. History of the solar ponds: A review study.

Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 3319–3325.

[39] H. Lu, J. C. Walton, A. H. P. Swift. Desalination coupled with salinity-gradient solar ponds.

Desalination 136 (2001) 13-23.

[40] G. Caruso, A. Naviglio. A desalination plant using solar heat as a heat supply, not affecting the environment with chemicals.

Desalination 122 (1999) 225-234.

[41] T. Szacsvay, P. Hofer-Noser, M. Posnansky. Technical and economic aspects of small-scale solar-pondpowered seawater desalination systems.

Desalination 122 (1999) 185-193.

[42 M. J. Safil, A. Korchani. Cogeneration applied to water desalination: Simulation of different technologies.

Desalination 125 (1999) 223-229.

[43] M. A. Garman, M. A. Muntasser. Sizing and thermal study of salinity

gradient solar ponds connecting with the MED desalination unit.

Desalination 222 (2008) 689–695.

[44] AtlantiS Water Desalination Systems AG. Atlantis Autoflash 5 m3/d Distillation Desalination System Powered by a Salt Gradient Solar Pond. Technical Description. 1996.

[45] JOULE-THERMIE Programme, 'Desalination guide using renewable energies', European Commission, 1998.

[46] D. Assimacopoulos, A. Zervos. The cost of water RES powered Desalination Systems.

Insula International Journal of Island Affairs, January 2001, pp.: 41-46.

[47] R. Morris, P. Baltas. Experiences of renewable energy desalination plants.

Insula International Journal of Island Affairs, January 2001, pp.: 29-34.

[48] S. A. Kershman, J. Rheinlander, H. Gabler. Sea water reverse osmosis powered from renewable energy sources.

EuroMed 2002: Desalination Strategies in south Mediterranean Countries, May 4-7, 2002, Sharm El Sheikh, Sinai, Egypt.

[49] M. A. I. El-Shaarawi , H. Al Awjan, D. Al Ramadhan, M. Hussain. Effect of thermodynamic limitations on PV initial cost estimations for solar-powered RO desalination.

Desalination 276 (2011) 28–37.

[50] A. Al-Karaghouli, D. Renne, L. L. Kazmerski. Technical and economic assessment of photovoltaic-driven desalination systems.

Renewable Energy 35 (2010) 323–328.

[51] E. Alejo. Le dessalement en Espagne. www.technologyreview.com/spain/water

[52] G. Papadakis. Autonomous desalination system concepts for seawater and brackish water in rural areas with renewable energies. the adira project.

2ème Conférence Internationale sur les Energies Renouvelables et les Technologies de l'Eau (CIERTA 2008), Almeria, 2 – 3 octobre 2008.

[53] A. Ghermandi, R. Messalem. Solar-driven desalination with reverse osmosis: the state of the art.

Desalination and Water Treatment, 7 (2009) 285–296.

ضخ المياه باستخدام الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح

إعداد : الأستاذ الدكتور عبد الفتاح بغدادي
جامعة محمدالخامس، الرباط، المملكة المغربية

بين استعمال الطاقات الأحفورية والمتجددة لضخ المياه في المغرب
أو
ضخ المياه باستخدام الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح

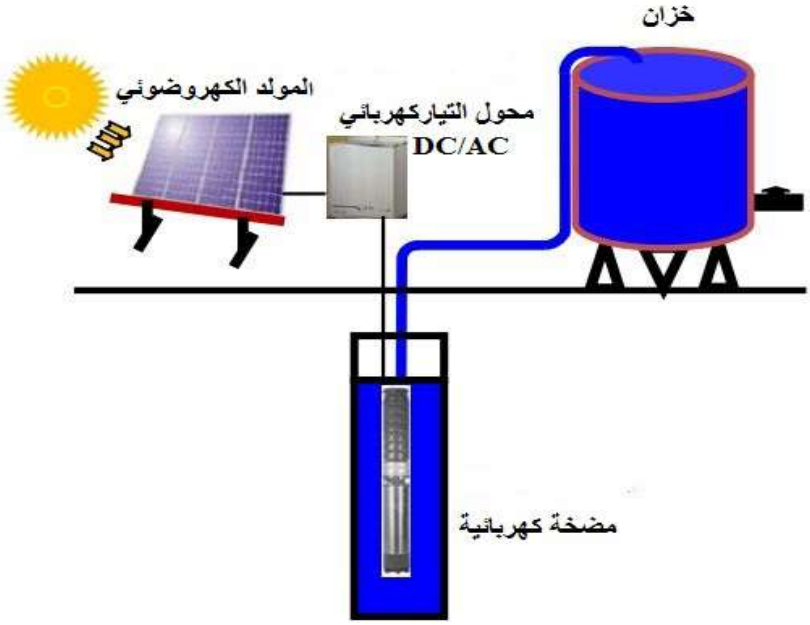
ملخص

بتزايد عدد السكان تزداد الحاجة إلى الماء أكثر فأكثر سواء من أجل استعماله في الفلاحة أو من أجل الشرب. هذه الحاجة المتزايدة تؤدي الى ضخ المياه أكثر وبالتالي استعمال أكثر للطاقة. كل هذا يؤدي إلى جعل سوق ضخ المياه سوقا مهما تجدر دراسته. للأسف الوضعية الراهنة لضخ المياه في المغرب تكاد تكون غير معروفة أو غير واضحة نظرا لعدم وجود دراسات في هذا السياق. لهذا السبب، يهدف العمل الحالي إلى تقديم وضعية ضخ المياه في المغرب بشكل عام والضخ بالطاقة الشمسية بشكل خاص. أظهر التحليل الأول لهذه الوضعية أن سوق ضخ المياه باستخدام الطاقة الشمسية في المغرب قد شهد ارتفاعا كبيرا على مر السنوات الخمس الماضية في مقابل استخدام طاقة الرياح. وبالتوازي مع هذا التطور ارتفع استخدام غاز البوتان لضخ مياه الري بعد إلغاء دعم وقود الديزل والبنزين. دعم غاز البوتان من قبل الدولة كبير جدا يصل الى (68 %) من الثمن النهائي مما يؤدي الى جعله عبئًا ثقيلا عليها. لتجاوز هذه المشكلة، تم إطلاق برنامجين تشجع الدولة من خلالهما استخدام الطاقة الشمسية لضخ المياه، الأول في 2013 والثاني في 2016. هذه الدراسة توفر إذن دليلا توجيهيا للمستثمرين والباحثين والحكومة نفسها لتكوين فكرة واضحة عن الوضع الحالي لضخ المياه في المغرب والمساعدة على اتخاذ القرارات الصائبة.

مقدمة

إن الفلاحة من القطاعات الأساسية المعتمدة في تنمية الاقتصاد المغربي، ويصل استهلاك المياه في المجال الفلاحي إلى 85% من موارده الإجمالية [1]. هذه النسبة المرتفعة تؤدي إلى استخدام كبير للطاقة لضخ المياه اللازمة لتغطية جلالاحتياجات. كما أن العديد من الناس في المناطق النائية والمعزولة يواجهون مشاكل كبيرة نتيجة نقص في المياه. إن ارتفاع الطلب على المياه في هذه المناطق أدى بشكل كبير إلى ارتفاع الإقبال على استخدام المولدات الكهروضوئية (PV) لضخ المياه الجوفية [2]. وبحسب التعريف، فإن نظام الضخ الكهروضوئي هو نظام ينقل الماء من مصدره الطبيعي إلى نقطة الاستخدام بفضل تقنية (PV) التي تحول ضوء الشمس

إلى كهرب
ي يحول
الطاقة ال
روليكية
بواسطة
: المولد
الكهروض



رسم توضيحي 1: رسم تخطيطي مبسط لنظام الضخ الكهروضوئي للمياه [4]

نشرت العديد من الدراسات فيما يخص وصف مكونات نظام ضخ المياه الكهروضوئي وطرق أو تقنيات تحديد القياس المستخدمة سواء كانت تحليلية أو معتمدة على رسوم بيانيه أو غيرها. تعتمد هذه الأعمال على محاكاة تشغيل كل مكون من مكونات هذا النظام[5]، بالإضافة إلى كيفية تحسين مردودية نظام ضخ المياه الكهروضوئي وتحليل العوامل التي تؤثر على أدائه.وقد لقي هذا الأخير اهتمامًا كبيرًا في الدراسات المنشورة. على سبيل المثال، في مجموعة من الأعمال تم وصف تأثير إعداد مولد الطاقة الكهروضوئية وأنواع المضخات الحركية وأيضا تأثير العوامل الخارجية الأخرى كالإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الوحدة الكهروضوئية[6].

في المغرب، يعتبر استخدام الطاقات المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية لضخ المياه ذا أهمية كبرى خاصة مع استراتيجية الطاقة الجديدة. كما يتيح الموقع الجغرافي للمملكة إمكانية تطوير

استخدام الطاقة الشمسية والحد من استيراد الطاقة الأولية والتعامل مع ارتفاع الطلب على الكهرباء والمياه في المناطق المعزولة[2].

في السنوات الخمس الأخيرة ازداد استخدام الضخ الشمسي في المغرب بشكل كبير، لكن رغم ذلك لا يزال هذا المجال يعاني من نقص الدراسات الإحصائية التي تظهر تطوره على مر السنوات كما أكد عليه تقرير برنامج الأمم المتحدة الإنمائي (PNUD)[1]. لهذا السبب، تم إطلاق الدراسة الحالية والتي تهدف إلى تقديم وتعريف الوضعية الراهنة لمجال ضخ المياه بالمغرب بشكل عام والضخ بالطاقة الشمسية بشكل خاص. تم تنظيم هذا المقال على النحو التالي: عرض لعموميات حول أنظمة وطرق ضخ المياه، عرض موجز لإمكانيات المغرب (من حيث الطاقة الشمسية وطاقة الرياح) ولنسبة السكان وقطاع الفلاحة. بعد ذلك تقديم تحليل للتقنيات المستخدمة في ضخ المياه بالمغرب.وأخيرا عرض للبرامج التي أطلقتها الحكومة المغربية لتشجيع ضخ المياه باستعمال الطاقة الشمسية.

1. عموميات حول ضخ المياه

1.1. التعريف والمكونات العامة لنظام ضخ المياه

إن نظام ضخ المياه هو نظام يقوم بنقل الماء من مصدره الطبيعي إلى نقطة الاستعمال. على سبيل المثال من البئر إلى الخزان أو من النهر إلى نقطة الري... الهيكل العام لنظام الضخ يمكن تلخيصه في المعدات التالية: مولد كهربائي، أجزاء التحكم، المضخة والمحرك.

لتشغيل نظام الضخ يجب توصيل المضخة بمولد للطاقة اعتمادًا على مصدر الطاقة المستخدمة. هناك عدة أنواع من المولدات، منها المولدات التي تستخدم الطاقات التقليدية (مولدات الديزل والبنزين والغاز) والمولدات التي تستخدم الطاقات المتجددة ولاسيما الطاقة الشمسية الكهروضوئية والطاقة الريحية.ويتمثل دورها الرئيسي في تزويد المضخة بالطاقة الكهربائية (التيار المباشر) أو تشغيلها مباشرة باستخدام الطاقة الميكانيكية في حالة توربينات الرياح التقليدية. قد تكون المضخات المستخدمة سطحية أو مغمورة أو مضخة الطرد المركزي أو الحجمية حسب نوعية وطبيعة الاستعمال.

1.2. طرق ضخ المياه

كما سلف ذكره، هناك عدة طرق لضخ المياه تختلف باختلاف مولد الطاقة المستعمل. وكما هو مبين في الرسم التوضيحي أسفله، نجد الضخ اليدوي باستخدام قوة العضلات، وضخ الرياح باعتماد طاقة الرياح، والضخ التقليدي بحرق الوقود الأحفوري، والضخ الكهروضوئي عن طريق استخدام طاقة الإشعاع الشمسي. يعتبر الضخ اليدوي والريحي من الطرق القديمة لرفع المياه

رسم توضيحي 2 : طرق ضخ المياه

1.3. الضخ الريحي

استخدم الإنسان طاقة الرياح لضخ المياه قبل أن يكتشف الكهرباء. نجد في العالم حاليا العديد من طرق ضخ المياه باعتماد طاقة الرياح. البنية العامة لنظام الضخ الريحي مبنية على المعدات التالية: مولد ريحي، أجزاء التحكم، المضخة و المحرك. لضخ المياه باستخدام المولد الريحي هناك نظامان: توربينات الرياح الميكانيكية وتوربينات الرياح الكهربائية.

1.1.3. توربينات الرياح الميكانيكية

تستخدم توربينات الرياح الميكانيكية التقليدية نظام "biellemanivelle" مركبا على عمود الدوار. عادةً ما تحتوي هذه التوربيناتعلى عدة شفرات مثبتة على دوار، يدور ببطء نسبيا. يحوّل نظام "biellemanivelle" الحركة الدورانية إلى حركة مستقيمة متماثلة تتحكم في مضخة المكبس المثبتة في بئر أو بركة في قاعدة التوربينةالريحية. تضمن الحركة الترددية لمكبس المضخة ضخ المياه. ولتوربينات الرياح الميكانيكية مزايا وعيوب. فهي سهلة الصيانة وأسعارها

معقولة. ويتمثل عائقها الرئيسي في أنه يجب تركيبها مباشرة فوق البئر أو البركة حتى وإن كان يجب استخدام الماء على مسافة من البئر[7].

1.2.3.توربينات الرياح الكهربائية

على عكس النظام الميكانيكي، ليسضروريا أن يكون نظام الرياح الكهربائي بالقرب من مصدر المياه. يتحكم نظام توربينات الرياح الكهربائية في مضخة كهربائية (بعد تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية) تنقل المياه من المصدر (بئر أو بركة) إلى مكان استخدامها

1.4. الضخ الشمسي

إن الفرق بين نظام الضخ الشمسي ونظام الضخ التقليدي هو استخدام الألواح الشمسية الكهروضوئية، والمحول الكهربائي، والمضخة المناسبة. البنية العامة لنظام الضخ الشمسي مبنية على المعدات التالية: مولد كهروضوئي، أجزاء التحكم، المضخة والمحرك. أما مراحل ضخ المياه باستعمال الألواح الكهروضوئية فهي باختصار:

• المرحلة1: تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية (تيار مباشر) عن طريق الألواح

الكهروضوئية.

- المرحلة 2: تحويل التيار المباشر إلى تيار متناوب بواسطة المحول.
- المرحلة 3: تحويل الطاقة الكهربائية (التيار المتناوب) إلى طاقة ميكانيكية بواسطة المحرك.
- المرحلة 4: تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة هيدروليكية بواسطة المضخة.

هناك طريقتان معتمدتان في نظام الضخ الشمسي الكهروضوئي: الضخ المتكيف مع قوة الإشعاع الشمسيوالضخ مع تخزين الطاقة. تعتمد الطريقة الأولى على تخزين الماء الذي يتم ضخه خلال النهار في خزان من أجل استخدامه في وقت لاحق،أما الطريقة الثانية فتعتمد على تخزين الطاقة الشمسية الكهروضوئية المنتجة بواسطة البطاريات (التخزين الكهربائي).

1.1.4. الضخ المتكيف مع قوة الإشعاع الشمسي

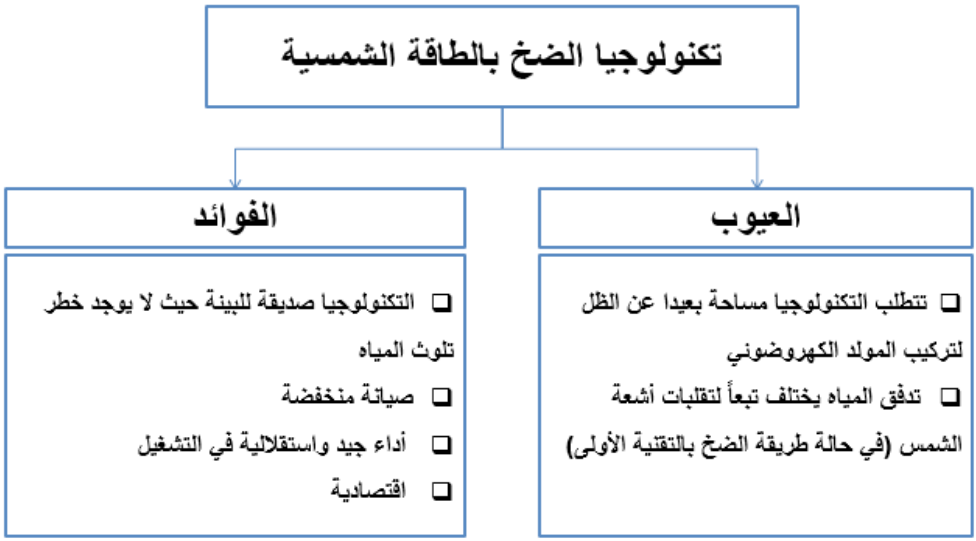
إن طريقة الضخ هذه تجعل من الممكن أن يكون هناك نظام كهروضوئي أبسط وأكثر موثوقية وأقل تكلفة من نظام يستخدم بطاريات لتخزين الطاقة المنتجة خلال النهار. في الواقع في هذه التقنية،المياه هي المياه نفسها التي يتم ضخها وتخزينها عندما يكون هناك ما يكفي من ضوء الشمس وهذا ما يسمى التخزين الهيدروليكي. يتم تخزين الماء في خزان على ارتفاع فوق الأرض بحيث يتم توزيعه باعتماد الجاذبية حسب الحاجة بالإضافة إلى ذلك لا تتطلب هذه التقنية صيانة معقدة ويمكن إصلاحها محليًا.

تعمل الألواح الشمسية المعرضة للشمس على تحويل الضوء إلى كهرباء يستخدم لتشغيل المضخة التي تمتص الماء من تحت الأرض. تقوم الألواح بتشغيل المضخة مباشرة مما يولد تغيرا في تدفق المياه التي يتم ضخها مع تغير شدة الإشعاع الشمسي خلال النهار. وهكذا خلال الساعات الأولى يكون تدفق المياه ضعيفًا ويزداد مع وصولنا إلى الساعات المركزية من اليوم والتي يكون فيها الحد الأقصى للإشعاع.

1.2.4. الضخ مع تخزين الطاقة (أوالضخ بالبطاريات)

إن طريقة ضخ المياه باستخدام الطاقة المخزنة في البطاريات يمكن أن يكون لديها ميزة التدفق المنتظم وإمكانية الضخ عندما تغيب الشمس. كما يمكن استخدام الطاقة المخزنة أيضا لتلبية احتياجات أخرى. يتمثل العائق الرئيسي لهذه التقنية في أنها تحتوي على العديد من المكونات التي تؤثر سلبًا على فعاليتها وعلى التكلفة الإجمالية للنظام. في الواقع، غالبا ما تكون البطاريات هي العناصر الأولى التي يجب تغييرها بالإضافة إلى ذلك فهي تتطلب صيانة مستمرة والتحكم الدقيق في الشحن والتفريغ. إن أجهزة التحكم المستخدمة لتنظيم شحن وتفريغ البطاريات تشيخ بسرعة وقد تكون غير فعالة. تساهم البطاريات أيضًا في نقصان

المردودية حوالي 20% إلى 30% من إنتاج الطاقة[8].



إن المشكل الكبيرللضخ الريحي هو أنه يستخدم للأعماق الصغيرة في حين أن الوصول إلى الماء على سبيل المثال في المناطق الصحراوية يتجاوز عمق 200 متر، بالإضافة إلى أن النظام يجب أن يكون بالقرب من مصدر الماء. أما بالنسبة للضخ التقليدي فهو يمثل مجموعة من المشاكل الاقتصادية والبيئية. يتم التغلب على هذه المشاكل المختلفة عن طريق الضخ الكهروضوئي والذي يمثل الحل المثالي لضخ المياه عندما تكون الشبكة الكهربائية غائبة.

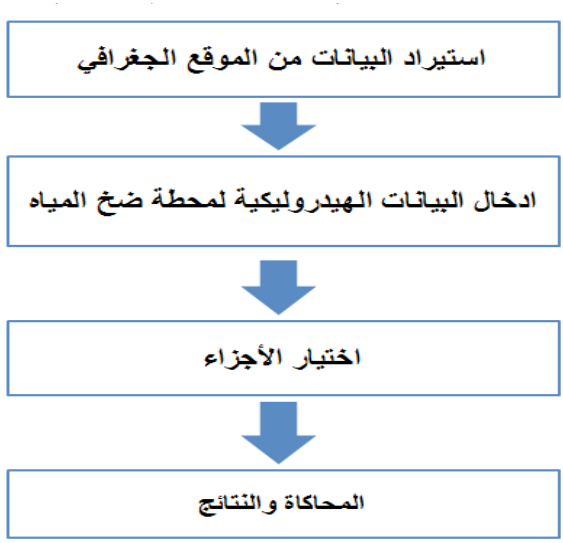
1.5. تحديد قياس نظام الضخ الكهروضوئي

إن تحديد قياس نظام الضخ الكهروضوئي أمر ضروري لتشغيله بشكل صحيح. في جميع الحالات من الضروري معرفة الكمية الضرورية من الماء وإمكانيات المكان المعني من الطاقة الشمسية. وهذا يمكننا من الاختيار الصحيح للوحدات الكهروضوئية، وموقع تركيبها، واختيار المكونات الكهربائية لتنظيم وحماية النظام والمستخدمين.

لتحديد قياس نظام الضخ الكهروضوئي هناك طريقتان: الطريقة اليدوية والطريقة

المعلوماتية. الطريقة اليدوية تستوجب تحديد الاحتياجات المائية الضرورية، ثم حساب الطاقة الهيدروليكية اللازمة، ثم تحديد الطاقة الشمسية المتوفرة قبل اختيار الأجزاء المكونة للنظام. أما الطريقة المعلوماتية فتعتمد على استعمال برامج معلوماتيـــة متخصصة مثلCOMPASS و PVsyst اللذين يعتبران من أشهر البرامج وأكثرها اعتمادا في هذا الميدان.

البرنامج المعلوماتي COMPASS تم تصميمه وإنتاجه من قبل الشركة العالمية لصناعة المضخات Lorentz، ويستخدم فقطفي تحديد قياس أنظمة الضخ الكهروضوئية. إن استعمال هذا البرنامج محدود، وهو متاح فقط لشركات الضخ بالطاقة الشمسية المعتمدة منطرف الشركة المصنعة. أما البرنامج المعلوماتي PVsyst فيتضمن أساسا وضعين من التشغيل. الأول هو تطبيق ما قبل تحديد القياس،وهو بسيط للغاية للعمل عليه،ويمكن من إعطاء أفكار عامة حول نظامنا مع تبسيط وتجاهل معايير معينة. في حين يسمح التصميم الثاني (تصميم المشروع) بدراسة أكثر عمقا ويأخذ بعين الاعتبار العديد من المعايير.الرسم التوضيحي 3 يلخص خوارزمية تحديد قياس نظام الضخ باعتماد برنامج PVsyst. تبدأ الدراسة باستيراد البيانات من الموقع الجغرافي كالارتفاع وخط الطول والإشعاع الشمسي ومتوسط درجات الحرارة وما إلى ذلك. ثم نقوم اليومية من الماء الضخ بما في ذلك ربائي. وفي النهاية

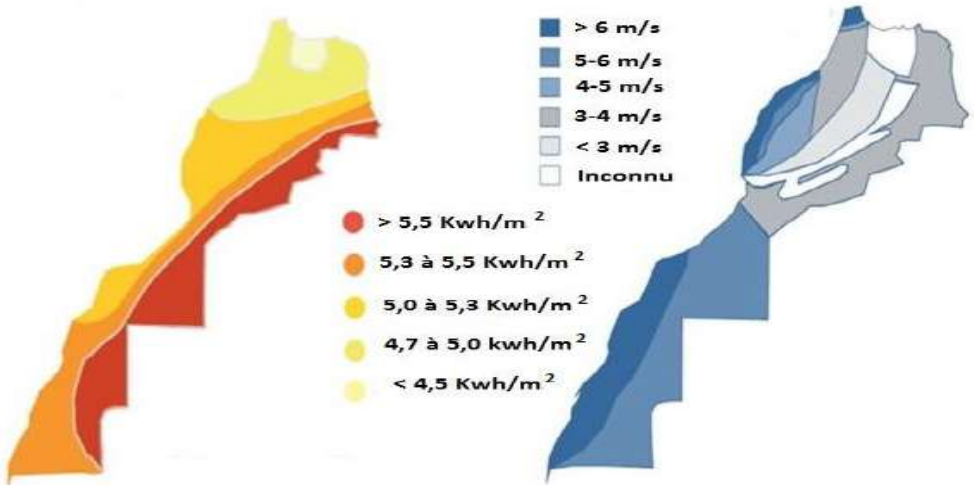


ومستوى الثابت
الخصوصيات ال
نقوم بعملية الم

رسم توضيحي3: خوارزمية تحديد قياس نظام الضخ باعتماد برنامج PVsyst

2. الإمكانيات الطاقية الشمسية والريحية بالمغرب

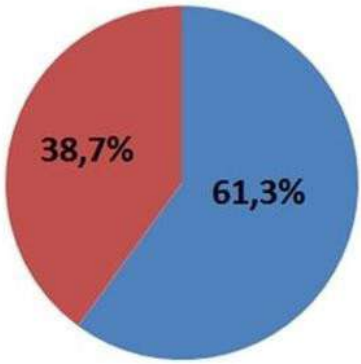
يتمتع المغرب بفضل موقعه الجغرافي المتميز بموارد هائلة من الطاقة الشمسية والريحية، وبالتالي فهو يتوفر على الظروف الطبيعية الملائمة لاستخدام الطاقات المتجددة، ولا سيما الطاقة الشمسية في ضخ المياه واستعمالها على نطاق واسع. فبالنسبة للطاقة الشمسية، يتمتع المغرب



رسم توضيحي 4 : إمكانيات المغرب من الطاقة الشمسية والريحية[9]

3. توزيع السكان في المغرب

وفقاً للهيئة العليا للتخطيط (HCP)، يبلغ عدد سكان المغرب 34.5مليون نسمة في عام 2016،منهم أكثر من 21.15مليون نسمة (61.3%) يعيشون في المناطق الحضرية،وحوالي13.33 مليون نسمة (38.7%) يعيشون في المناطق الريفية.يبلغ عدد القرى بالمغرب حوالي 35 ألف قرية أو "دوار" يبلغ عدد سكان كل واحدة منها أقل من 50 أسرة. بالإضافةإلى ذلك، لا يستطيع أكثر من 20 ألف دوار وأكثر من نصف مليون أسرة الوصول إلى الماء والكهرباء.معظم سكان القرى يعانون من الفقر والهشاشة. كما أن الوصول إلى مياه الشرب أو الري في المناطق الريفية



رسم توضيحي 5 : توزيع الساكنة بالمغرب[10]

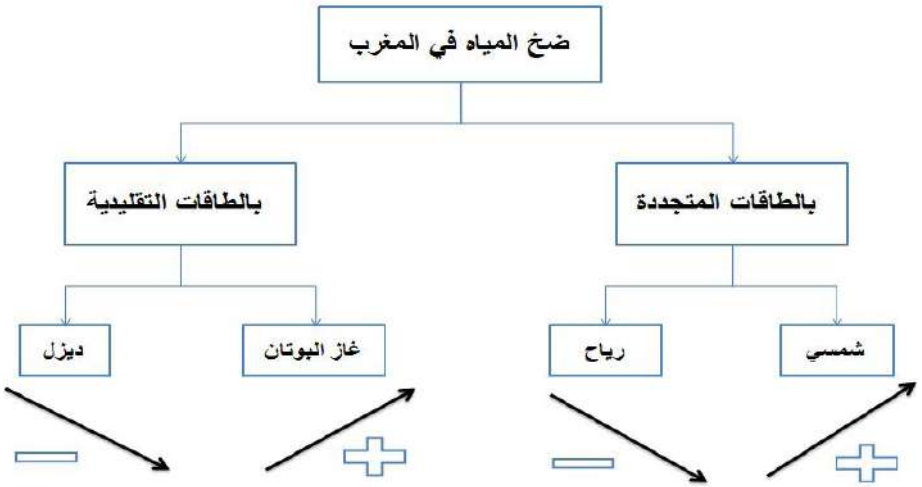
4. تقديم القطاع الفلاحي

يلعب القطاع الفلاحي دورا استراتيجيا رئيسيا في التنمية الاقتصادية والاجتماعية في المغرب. يمثل هذا القطاع 20% من الناتج المحلي الإجمالي، و40% من فرص العمل في المغرب و 80% في المناطق القروية[11]. يمثل القطاع الفلاحي نسبة % 22 من الاستهلاك الوطني للكهرباء و 7%من استهلاك البلاد للطاقة[12].

يشكل القطاع الفلاحي ضغطًا كبيرًا على الموارد المائية باستخدام 85% من الموارد المتاحة لاحتياجاته. تعزى مشكلة استهلاك المياه في الفلاحة إلى استخدام أنظمة الري التقليدية التي ساد استعمالها لفترة طويلة وخاصة النظام الذي يعتمد على الجاذبية في توزيع المياه (الأكثر استخدامًا) حيث إن تقنية الري هذه لا توفر الماء. في ظل هذا الإجهاد المائي، ظل المغرب ملتزمًا منذ عدة سنوات بتشجيع الحفاظ على موارده المائية من خلال دعم طرق الري الموفرة للمياه واستخدام الطاقة الشمسية لضخها[1].

5. التقنيات المستخدمة لضخ المياه في المغرب

يتم ضخ المياه في المغرب باستعمالالطاقات المتجددة كطاقة الرياح والطاقة الشمسية أو



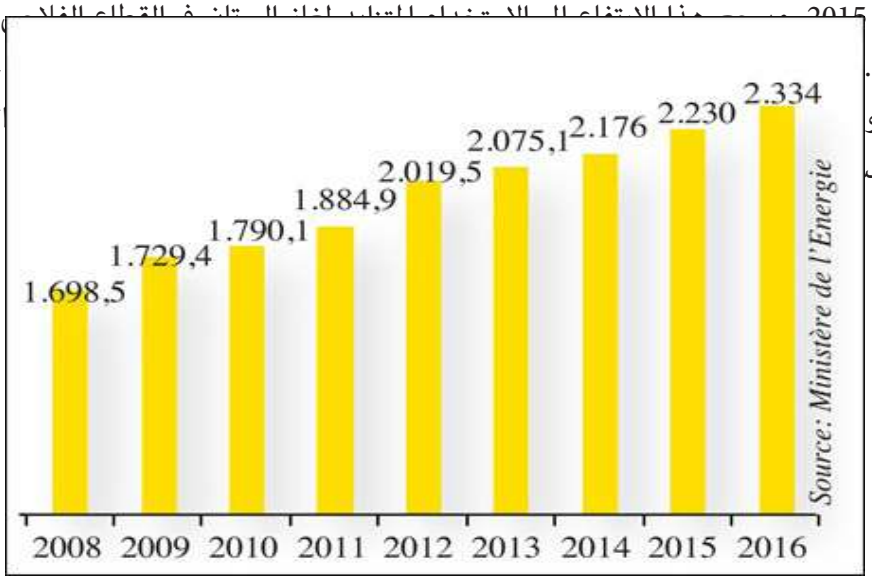
رسم توضيحي 6 : التقنيات المستخدمة لضخ المياه في المغرب

في الآونة الأخيرة ارتفع استخدام الطاقة الشمسية لضخ المياه بشكل كبير[1]. السبب وراء هذا التطور راجع بالأساس إلى أن التكنولوجيا الكهروضوئية تتميز بمجموعة من المزايا من بينها كونها نظيفة وصديقة للبيئة حيث لا تمثل أي خطر تلوث على المياه، ولا تتطلب صيانة مرتفعة التكلفة، ومردوديتها عالية وجيدة واقتصادية وتتميز باستقلالية في التشغيل وتستخدم لضخ المياه الجوفية العميقة. على العكس من هذا، فإن فترة استعمال طاقة الرياح لضخ المياه تكاد تنتهي في المغرب. في عام 2002، كان ما يقارب500 مطحنة هوائية لا تزال تعمل، ولكن اليوم أكثر من % 50 من هذه التوربينات معطلة بسبب مشاكل الصيانة. بالإضافة إلى ذلك، فإن التوربينات الهوائية وخاصة الميكانيكية منها تعاني من مشكلة استخدامها فقط لضخ المياهغير العميقة[13].

أما بالنسبة لاستخدام مصادر الطاقة التقليدية مثل المنتجات النفطية (الديزل والبنزين) في ضخ المياه، فقد انخفض مؤخرا بسبب توقيف الدعم في 16 يناير 2014 من طرف الحكومة المغربية. نتيجة لذلك، توجه الفلاحون المغاربة لاستخدام غاز البوتان بسبب سعره المنخفض

والمدعوم بشكل كبير من قبل الدولة حيث تبلغ إعاناته حوالي % 68 من السعر النهائي. على سبيل المثال السعر الحقيقي لقنينة الغاز هو 124 درهما. تدفع الدولة حوالي 84 درهما في حين يدفع المواطن 40 درهما فقط. يرجع تنفيذ هذه السياسة إلى كون غاز البوتان يعتبر كمنتج اجتماعي من جهة ومن جهة أخرى كوسيلة لمكافحة التصحر عن طريق الحد من استخدام الخشب من قبل الأسر القروية[1].

يبين الرسم التوضيحي7 أن استخدام غاز البوتان ارتفع بنسبة % 4.7 في عام 2016 مقارنة بعام 2015 [illegible] لضخ المياه. [illegible] عليها. لتجاو [illegible] الطاقة الشمـ

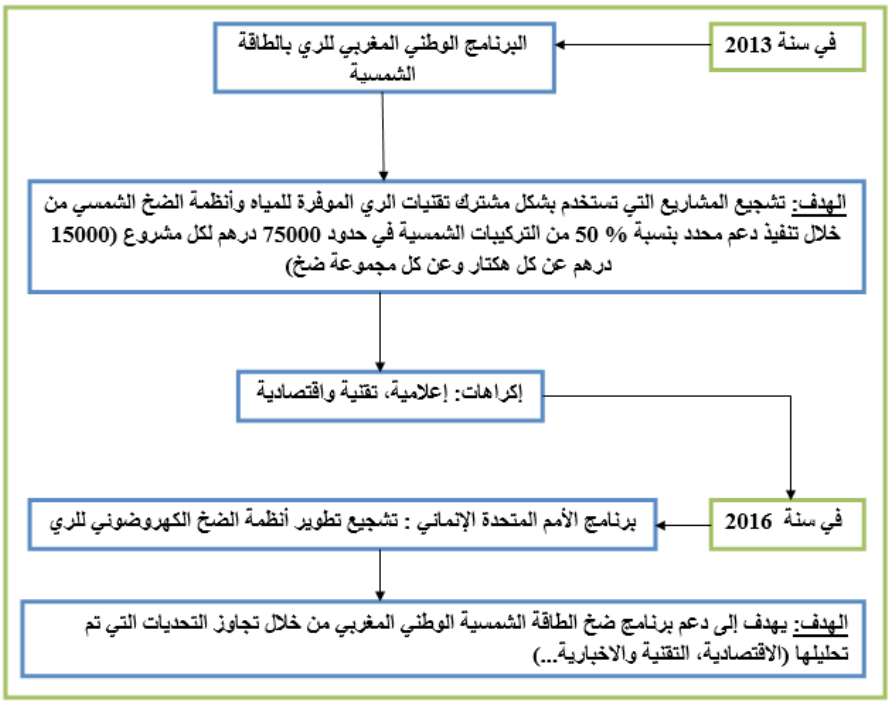


رسم توضيحي 3 : استهلاك البوتان (بالكيلوطن) في المغرب من 2008 إلى 2016[14]

6. برامج دعم ضخ المياه باستخدام الطاقة الشمسية في المغرب

لتعزيز استخدام الضخ باستعمال الطاقة الشمسية في مجال الفلاحة، أطلقت الدولة برنامجين:البرنامج الوطني المغربي للري بالطاقة الشمسية في عام 2013. ثم برنامج الأمم المتحدة الإنمائي لتعزيز تطور نظم الري باستخدام الضخ الكهروضوئي في عام 2016 (انظر الملحق 1).تشارك في إعداد هذين البرنامجين كل من الوكالة المغربية للنجاعة الطاقية (AMEE)، وزارة

الفلاحة والصيد البحري، وزارة الطاقة والمعادن والماء والبيئة، وزارة الاقتصاد والمالية، ومجموعة القرض الفلاحي بالمغرب (GCAM).يهدف البرنامج الأول الذي تم إطلاقه في عام 2013 إلى تشجيع المشاريع التي تستخدم في آن واحد تقنيات الري الموفرة للمياه وأنظمة الضخ بالطاقة الشمسية،و ذلك منخلال تحديد تمويل يدعم50%منالمحطةالشمسية فيحدود 75000 درهم لكلمشروع (15000 درهم عن كل هكتار و عن كل وحدة ضخ).بسبب مجموعة من التحديات لم يلق البرنامج الأول نجاحا ولم يتم تنفيذه على أرض الواقع. تم إطلاق البرنامج الثاني في عام 2016 لدعم البرنامج الأول وكان من الضروري للغاية وكخطوة أولية تحليل التحديات التي كانت سببا في فشل البرنامج الأول. من بين التحديات التي تم تحليلها هناك الجانب الاقتصادي ويتمثل في تكلفة الاستثمارالتي تفوق قدرة تحمل الفلاحين الصغار، والإعلان عن الدعم مع غياب التطبيق الفعلي لهذا الدعم. هناك أيضا الجانب التقني ويتجلى أولا في عدم توفر تقنيين متمكنين من وسائل وآليات الضخ باستعمال الطاقة الشمسة لضمان تطويق



ملخص برامج دعم ضخ المياه باستخدام الطاقة الشمسية بالمغرب[1]

إن تطبيق برنامج الأمم المتحدة الإنمائي لتعزيز تطور نظم الري باستخدام الضخ الكهروضوئي سيؤدي إلى مجموعة من النتائج الإيجابية والتي سيستفيد منها كل من المواطن والدولة على حد سواء. يمكن تلخيص الفوائد المتوقعة من هذا البرنامج في ما يلي[1]:

• تقليل الاعتماد على الطاقة الحرارية والمدعومة (البوتان): منشأن التشجيع على استخدام الضخ الشمسي في المغرب من خلال الدعم الذي أعلنته الدولة المغربية في برامج الضخ الشمسي أن يقلل من استهلاك الطاقة التقليدية (البوتان أو الغاز) وبالتالي تخفيف العبء على الدولة وتقليل الخطر على المواطن وكذا تخفيف العبء الذي كان يعاني منهدائما وهو تغيير قنينات الغاز كل يوم.

• توفير الشغل وإنشاء شركات خدمات الطاقة الشمسية:إن سوق ضخ الطاقة الشمسية في المغرب هو سوق ضخم. وسيؤدي استخدام المولدات الكهروضوئية في ضخ المياه إلى زيادة الطاقة الإنتاجية المحلية للمعدات والمكونات المتعلقة بأنظمة الضخ الكهروضوئية وكذا خلق فرص العمل.

• استخدام الطاقة الخضراء الصديقة للبيئة وتقليل التلوث وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري: إن استخدام الطاقات التقليدية يسبب انبعاثات الغازات الدفيئة (CO_2) التي تساهم في الاحتباس الحراري. أماستخدام الطاقات الخضراء الصديقة للبيئة مثل الضخ باستعمال الطاقة الشمسية من خلال البرنامج الذي سيتم العمل بهفسيقلل من التلوث وانبعاث الغازات المسببة في الاحتباس الحراري.

الخاتمة

في هذه الدراسة تم عرض عموميات حول أنظمة ضخ المياه وكذا الوضع العام لضخ المياه في المغرب. إن تحليل الوضعية الراهنة لضخ المياه في المغرب يظهر مستقبلا مشجعا لسوق استخدام الضخ بالطاقة الشمسية في المغرب والذي شهد تطورا مهما جدا على الرغم من ذلك، لا يزال هذا المجال يتطلب اهتماما أكثر فيما يخص توفر الدراسات اللازمة التي تسمح للمهتمين بتكوين فكرة واضحة عن مدى تطور الضخ بالطاقة الشمسية في المغرب. ولبلوغ هذه الغاية، فإن خطوتنا التالية هي تقييم تطور هذا المجال في المغرب وتقديم بيانات محدثة عن مدى تطوره.

المراجع

[1] PNUD and AMEE, ”Le programme des Nations Unies pour le Développement (Le projet APPSI Appui au Programme de Pompage Solaire pour l’Irrigation)“ 2016.

[2] S. Abdourraziq, M. A. Abdourraziq, and C. Darab, ”Photovoltaic water pumping system application in Morocco“Proc. 11th Int. Conf. Electromechanical Power Syst., Vol. 2017-January, pp. 271-274, 2017.

[3] S. S. Chandel, M. Nagaraju Naik, and R. Chandel, ”Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies“Renew. Sustain. Energy Rev., Vol. 49, pp. 1084-1099, 2015.

[4] M. L. LOUAZENE, D. KORICHI, and B. AZOUI, ”Dimensionnement d’un Système de Pompage Photovoltaïque, Application sur le Site de Ouargla“Int. Conf. Electron. Oil from Theory to Appl., Ouargla, Alger, 2013.

[5] A. Hadj Arab, A. Gharbi, and M. Benghanem, ”Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque“Rev. des Energies Renouvelables, Vol. 8, No. January, pp. 19-26, 2005.

[6] G. Li, Y. Jin, M. W. Akram, and X. Chen, ”Research and current status of the solar photovoltaic water pumping system – A review“Renew. Sustain. Energy Rev., Vol. 79, No. December 2016, pp. 440-458, 2017.

[7] ”Memoire Online - Dimensionnement d’un système de pompage d’eau potable pour les sites de Tlemcen et Adrar - Meriem Chadel“

[Online]. Available: https://www.memoireonline.com/08/13/7277/Dimensionnement-d-un-systeme-de-pompage-d-eau-potable-pour-les-sites-de-Tlemcen-et-Adrar.html. [Accessed: 12-Sep-2018].

[8] Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric Schiller, Bocar Sada Sy., Le pompage photovoltaique. 1998.

[9] ”Potentiel Maroc - Société d’Investissements Energétiques“

[Online]. Available: https://www.siem.ma/potentiel-maroc.

[Accessed: 12-Sep-2018].

[10] ”Haut-Commissariat au Plan, Maroc en chiffres“

[Online]. Available: https://www.hcp.ma/downloads/Maroc-en-chiffres_t13053.html.

[Accessed: 12-Sep-2018].

[11] A. Lahbabi, "Étude du marché de microfinancement en faveur de l'énergie durable au Maroc" 2015.

[12] "Le Matin - Lancement imminent du programme de promotion du pompage solaire"

[Online]. Available: https://lematin.ma/express/2017/lancement-imminent-du-programme-de-promotion-du-pompage-solaire/271005.html.

[Accessed: 10-Sep-2018].

[13] "Abhatoo : Caracteristiques du gisement eolien marocain et optimisation d'un systeme aerogenerateur/groupe electrogene pour l'electrification des villages isolés"

[Online]. Available: http://www.abhatoo.net.ma/maalama-textuelle/developpement-durable/economie-durable/energie/source-d-energie/energie-renouvelable/caracteristiques-du-gisement-eolien-marocain-et-optimisation-d-un-systeme-aerogenerateur-groupe-electrogene-pour-l-electrifica.

[Accessed: 10-Sep-2018].

[14] "Pompage solaire: De nouveaux mécanismes financiers pour l'irrigation" L'Economiste

[Online]. Available: https://www.leconomiste.com/article/1016688-pompage-solaire-de-nouveaux-mecanismes-financiers-pour-l-irrigation.

[Accessed: 10-Sep-2018].

Période du Programme :	2016-2019
Atlas Award ID :	00091134
Project ID :	00096531
PIMS #	5284
Date de Début :	1er août 2016
Date de Fin :	31 juillet 2019
Arrangements de Gestion :	NIM
Date de Réunion PAC :	7 juin 2016

Ressources totales requises :	**USD 73 542 726**
Ressources totales allouées :	
○ **GEF**	**USD 2 639 726**
Autres financements parallèles (cash/en nature) :	
○ ADEREE (cash)	USD 7 216 000
○ ADEREE (en nature)	USD 400 000
○ MAPM (cash)	USD 30 928 000
○ MAPM (en nature)	USD 200 000
○ MEMEE (cash)	USD 3 093 000
○ GCAM & autres banques (cash)	USD 28 866 000
○ GCAM & autres banques (en nature)	USD 100 000
○ PNUD (cash)	USD 100 000
Co-financement total :	**USD 70 903 000**

Approuvé par l'Agence Nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique (ADEREE)

Jour/Mois/Année

16 SEP. 2016

Le Directeur Général

Approuvé par le PNUD

Jour/Mois/Année

14 OCT. 2016

Mme Ayshanie Mendis

Représentante Résidente

PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT

NATION UNIES RABAT - C21 -

Effet(s) du PNUAD (UNDAF) :

Effet 5 du PNUAD : Les principes de la Charte Nationale pour l'Environnement et le Développement Durable sont mis en œuvre en assurant la cohérence entre les stratégies sectorielles et les priorités pour l'environnement, l'adaptation au changement climatique et la gestion des risques et en renforçant la convergence territoriale dans les zones et les populations les plus vulnérables avec une attention particulière au genre.

Produit 5.1: Les principaux acteurs sont appuyés pour mettre en cohérence les stratégies nationales et sectorielles avec la Charte Nationale pour l'Environnement et le Développement Durable (CNEDD).

Indicateur 5.1.1 : Nombre de strategies produites/revues de manière cohérente et intégrant les principes de la CNEDD.

Ligne de base : 0 plans de développement des capacités sont élaborés et mises en œuvre.

Cible finale : 4 plans de développement des capacités sont élaborés et mises en œuvre pour (i) la mise en œuvre des systèmes d'irrigation au goutte à goutte, (ii) la production de composants et d'équipements de pompage PV, (iii) la conception, l'installation, l'exploitation et la maintenance des systèmes de pompage PV, (iiii) l'évaluation des projets de pompage solaire "bankables" (professionnels de la finance).

Produit 5.3 : Les capacités en matière d'élaboration et de coordination des stratégies et programmes d'atténuation et adaptation au changement climatique et de gestion des risques naturels et technologiques sont développées et renforcées.

Indicateur 5.3.1: Nombre de stratégies élaborées en matière d'atténuation et d'adaptation au CC.

Ligne de base : 0 modèle de RESCO conçu et mis en place pour soutenir la mise en œuvre du programme national.

Cible finale : Un modèle de RESCO conçu et mis en place pour soutenir la mise en œuvre du programme national.

Indicateur 5.3.2 : Nombre d'entités ayant bénéficié de renforcement de capacités en matière de CC et de gestion des risques.

Ligne de base : 0 entité ayant bénéficié de renforcement de capacités en matière de CC liées au pompage solaire. **Cible finale** : Au moins 10 entités bénéficient de renforcement des capacités en matière de CC (Ministère de l'Agriculture, Ministère de l'Énergie, les associations d'usagers, les sociétés de service et les importateurs/distributeurs d'équipements de pompage solaire PV, ADEREE, ORMVA, Banques). **Il est à noter que le projet coïncidera avec le nouveau PNUAD (UNDAF 2017-2021) et contribuera à l'Effet 2. Les indicateurs de produits seront intégrés dans les plans de travail annuels.** **Effet 2 (UNDAF 2017-2021) : Les politiques publiques et les stratégies nationales en matière de développement industriel, d'environnement et d'aménagement du territoire intègrent les principes d'une croissance économique et d'un développement inclusifs et durables.**
Plan Stratégique du PNUD – Effet principal en matière d'Environnement et de Développement durable : **Effet 1**: La croissance et le développement sont inclusifs et durables, générant les capacités de production nécessaires pour créer des emplois et des moyens d'existence pour les pauvres et les exclus. **IRRF Produit 1.5 :** Des solutions inclusives et durables sont adoptées pour atteindre une efficacité énergétique accrue et/ou des solutions énergétiques durables visant de nouvelles communautés/groupes et les femmes. **Indicateur 1.5.1 :** Nombre de nouveaux partenariats de développement avec un financement pour une efficacité énergétique améliorée et / ou des solutions énergétiques durables ciblant les communautés / groupes non desservis et les femmes. **Indicateur 1.5.2 :** Nombre de personnes ayant un meilleur accès à l'énergie.
Résultat(s) attendu(s) du CP : Les principes de la Charte Nationale pour l'Environnement et le Développement Durable sont mis en œuvre en assurant la cohérence entre les stratégies sectorielles et les priorités pour l'environnement, l'adaptation au changement climatique et la gestion des risques et en renforçant la convergence territoriale dans les zones et les populations les plus vulnérables avec une attention particulière au genre.

طهي الطعام باستخدام الطاقة الشمسية

طهي الطعام باستخدام
الطاقة الشمسية

إعداد : الأستاذ بنشريفة رشيد

جامعة محمد الخامس، الرباط، المملكة المغربية

مقدمة

من الأسباب التي أدت إلى زيادة الوعي العام باستخدام طرق الطهي البديلة، ارتفاع أسعار الوقود باستمرار. ففي معظم المناطق الريفية في أفريقيا، يُفضل استخدام الخشب للطهي على الوقود الأحفوري، مما أدى إلى استنزافالغابات في العديد من المناطق(الشكل 1). فما يقارب 3 مليار شخص يستعملون الخشب فقط لطهي طعامهم،ويستهلك كل شخص 600 كيلوغرام في السنة. في حين تعطي الشمس طاقة حرارية سنوية في المتر المربع تعادل 4 أطنان من الخشب، بحيث يمكن لطباخ شمسي أن يحفظ 100 شجرة لمدة 15 سنة.باستخدام طرق الطهي البديلة، يمكن من جهة الاستجابة لشروط بيئية سليمة وحماية الغابات من الاستنزاف، ومن جهة أخرى يمكن للنساء استغلال الوقت الذي تقضينه في البحث عن الحطب وجمعه في أنشطة أكثرنفعا وإنتاجية.يُستعمل تركيز الأشعة الشمسية لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية أو طاقة حرارية، وهناك العديد من التقنيات التي يمكن استخدامها للحصول على الطاقة الحرارية بتحويل أشعة الشمس المباشرة. يمكن للطباخات الشمسية أن تلعب دورا مهما لرفع بعض التحديات التي تواجه المجتمعات النامية، مثل الحد من الإفراط في الاعتماد على المصادر الغابية لطهي الطعام، ولكن لا تزال تواجه الطباخات الشمسية العديد من الصعوبات، بعضها راجع لكفاءاتها الطاقية المتواضعة، والبعض راجع للقبول الاجتماعي الذي مازال محدودا. لذلك هناك حاجة لزيادة كفاءة هذه الأنواع من الطباخات لتحسين قدرتها على التنافس مع أنواع أخرى من الطباخات الحرارية التقليدية.

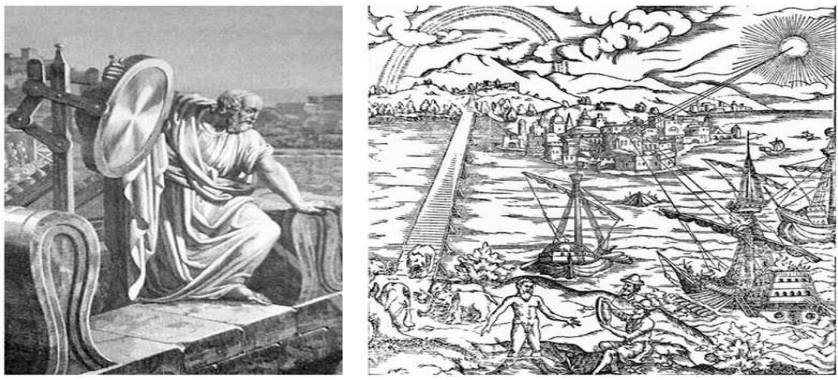
الشكل 1: الاحتطاب غير العقلاني يدمر المجال الغابي

الطبخ الشمسي حل واقعي للتحديات المرتبطة باستخدام الخشب كوسيلة لتوليد الحرارة اللازمة للطهي. وعلى سبيل المثال، يقدر استخدام المغرب للحطب ب11,3مليون طن سنويا، 88 في المائة منها تستهلك في الوسط القروي في حين تعتبر هذه المناطق مثالية لاستخدام الطباخات الشمسية لتوفرها على إشعاع شمسي جَيّد. وتقطع النساء في سعيهن للحصول على الخشب للطهي العديد من الكيلومترات غالبا في ظروف قاسية. وقد أدى الاعتماد المستمر على الخشب كمصدر للطاقة إلى إزالة العديد من الغابات. وتمثل الغابة المصدر الأول للحطب في المغرب بنسبة 53 في المائة، تليها الموارد الفلاحية بنسبة 28 في المائة، ثم الأشجار الفلاحية بنسبة 19 في المائة. وتستهلك كل أسرة في المتوسط ما بين 10 و30 طنا من الحطب سنويا.

غالبًا ما يكون استخدام أجهزة الطهي الشمسية محدودًا نظرًا لارتباطها بتَوفّر أشعة الشمس، فليس بإمكانها مثلا طهي وجبة الفطور أو العشاء. وتواجه الطبخات الشمسية عدة إشكالات أخرى كطول مدة الطهي، ودرجات الحرارة غير المنظمة، وكفاءة حرارية منخفضة، كل هذه المشاكل تعوق استخدام الطباخات الشمسية بشكل واسع. لذا وجب تطويرطباخات شمسية مجهزة بنظام تخزين حراري بسيط ومناسب، وضمان الحد من فقدان الحرارة باستعمال مواد عازلة، وتطوير آليات تتبع الطاقة الشمسية لِاستعمالات كبيرة وصناعية للطباخات الشمسية.

تاريخ استعمال الطباخات الشمسية

تشير الكثير من الأبحاث إلى أن الإغريق والرومان والصينيين قاموا في القرن السادس عشر باستخدام مرايا منحنية لعكس أشعة الشمس،وذلك بتركيز أشعة الشمس على الأجسام حتى تذوب وتتبخر. ووفقا لأسطورة يونانية، استخدم أرخميدس مرايا لتركيز ضوء الشمس على الأسطول الروماني الغازي في مدينة سيراكيوز ودمر كل السفن (الشكل 2).

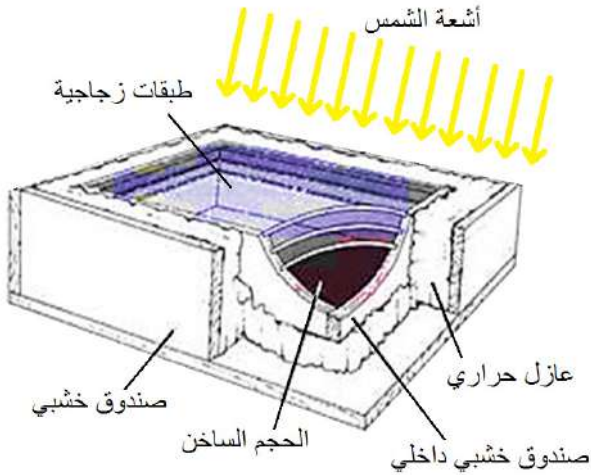


الشكل 1: استخدام أرخميدس للمرايا والشمس للدفاع عن مدينة سيراكيوز ضد الحصار الروماني.

تشير واحدة من أقدم الوثائق لاستعمال الطاقة الشمسية إلى أن صانع النار، وهو المكلف بإيقاد النار، يستخدم الشاعل الشمسي لإشعال النار باستخدام أشعة الشمس، وتم العثور على ستة من هذه المرايا الشمسية. يقدم الشكل3 شاعلا شمسيا تم اكتشافه في عام 1995. وتمكنت نسخة متماثلة من البرونز للشاعل من إيقاد النار في قش باستخدام أشعة الشمس في بضع ثوان.

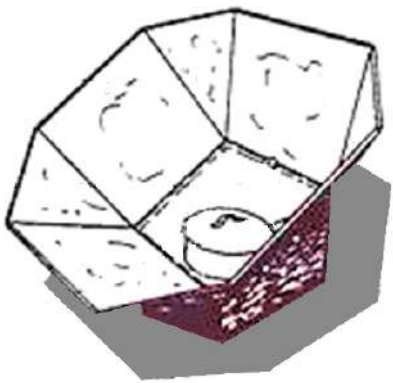
الشكل 3: شعالة شمسية برونزية عمرها 3000 عام

صمم العالم السويسري دي سوسورعام 1767 أول مجمع شمسي لطهي الطعام. ويقدم الشكل4 جهازامصنوعا من صندوقين خشبيين، صندوق صغير داخل صندوق كبير مع عازل حراري بينهما. الصندوق الصغير مطلي باللون الأسود من الداخل. الجزء العلوي من الصندوق مغطى بثلاث صفائح زجاجية منفصلة. من خلال توجيه الجزء العلوي من الصندوق باتجاه الشمس، وتحريك الصندوق باستمرار للحفاظ على تعامد الزجاج مع أشعة الشمس، تصل درجة الحرارة داخل الصندوق في بضع ساعات إلى ما يزيد عن 100 درجة مئوية. حمل دي سوسورالصندوق إلى قمة جبل واستنتج أنه على الرغم من أن درجة حرارة الهواء تقل في المتوسط 5 درجات مئوية مقارنة بالسهل، وصل الجزء الداخلي من الصندوق إلى نقطة غليان الماء. وعزا هذا التأثير إلى وضوح الأجواء في قمة الجبل، حيث يكون الإشعاع الشمسي شديدا. تعد تجربة دي سوسور دليلا على تأثير الاحتباس الحراري. شرحفورييه العالم الفيزيائي الفرنسي فيما بعد نظريته عن تأثير ظاهرة الاحتباس الحراري عن طريق طباخ شمسي مثيل لصندوق دي سوسور،حيث تحافظ الأغطية الزجاجية على الحرارة بداخل الصندوق. يمكن دخول أشعة الشمس ولا يمكن أن تنبعث، مما يجعل درجة الحرارة داخل الصندوق ترتفع إلى درجة غليان الماء.



الشكل 4: أول مجمع شمسي لطهي الطعام للعالم السويسري دي سوسور عام 1767

اخترع وليام آدم عام 1878، طباخا شمسيا في بومباي بالهند بثمانية مرايا مصنوعة من الزجاج الفضي (الشكل 5).تعكس المريا أشعة الشمس داخل صندوق خشبي مغطى بالزجاج، ويُرفع الصندوق لإحداث ميل لتوجيهه وتسقط أشعة الشمس عموديا على الصندوق وعلى وعاء للطهي.ويستمر توجيهه لتتبع مسار الشمس. يمكن أن تتجاوز درجة الحرارة في المربع الذي يحتوي على وعاء 200 درجة مئوية. إن طهي الطعام بهذه الأفران الشمسية لقي نجاحا كبيرا،بحيث أنتجت أعداد كبيرة من هذه الطباخات في الهند وأصبحت أكثر شعبية، وصارت فيما بعد معتمدة في التخييم بالولايات المتحدة.



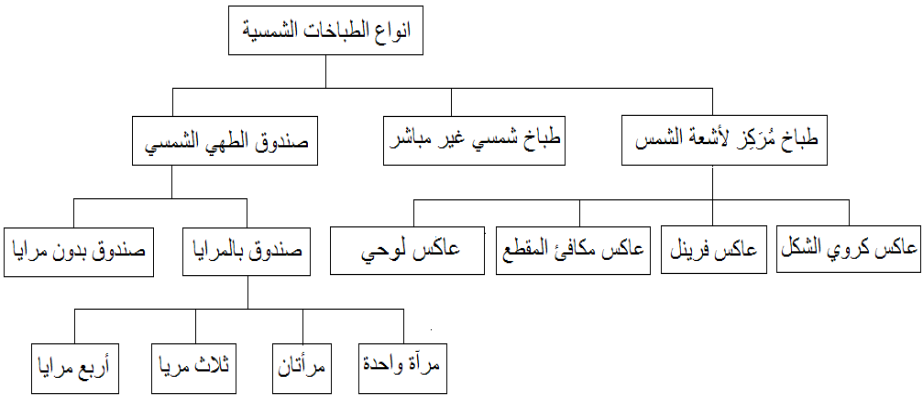
الشكل 5 : اخترع وليام آدم لطباخ شمسي في بومباي عام 1878

يظهر في الشكل 6 طباخ شمسي قيد الاستخدام على نطاق واسع في بلدان العالم الثالث،يتكون من عاكس مكافئ مصنوع من الحديد السبك مطلي بالكروم،وضلعين من الفولاذ لحمل وعاء الطبخ. يتم وضع الوعاء بالنقطة البؤرية للعاكس المكافئ. من خلال محاذاة محور الطبق المكافئ مع أشعة الشمس، يحصل الوعاء على أقصى قدر من الحرارة الشمسية. تَمَّ إنتاج هذا الطباخ الشمسي بأعداد كبيرة في شرق الصين. عموما تعتبر هذه الأجهزة سهلة التصميم والتصنيع، كما أنها تمتازبطهي جيد. وقد أصبحت واسعة الانتشار في الصين،حيث تم عقد أول مؤتمر للطبخ الشمسي في عام 1973. وفي عام 1992 بلغ استخدام الصينيين أكثر من 100 ألف جهاز للطهي بالطاقة الشمسية.

الشكل 6 : فرن الطاقة الشمسية من الحديد المصبوب

ترتيب أنواع الطباخات الشمسية

تعتبرتكنولوجيا الطهي الشمسي، باستخدام مستويات منخفضة نسبيا أو معقدة من التكنولوجيا، إحدى الطرق المهمة التي تُستخدم فيها الطاقة الشمسية، وهي متاحة في أنحاء مختلفة من البسيطة،وتُستخدم في المؤسسات كالمدارس أو الفنادق. تم تدريجيا تطويرأنواع مختلفة من الطباخات الشمسية حول العالم ويمكن تصنيفها إلى ثلاثة أنواع: طباخ مُركز لأشعة الشمس، وصندوق الطهي الشمسي، وطباخ شمسي غير مباشر(الشكل 7).



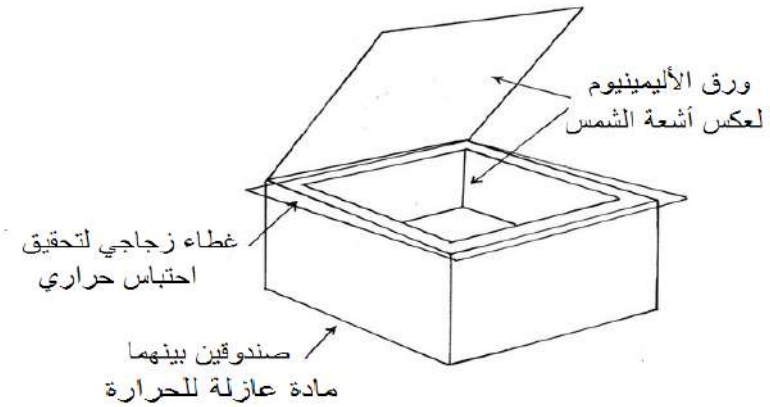
الشكل 7 : ترتيب أنواع الطباخات الشمسية

طباخات على شكل صناديق

تعتبر صناديق الطهي الشمسية الأكثر استعمالا عبر العالم لبساطتها وكفاءتها الجيدة (الشكل 8)، ويتم الطهي بالصندوق على متوسط حرارة تصل إلى100درجة مئوية،ويمكن صنع صندوق كبير يستوعب العديد من الأواني. ويحتفظ صندوق الطهي الشمسي بالحرارة حتى بعد الانتهاء من الطهي. وهناك مئات الآلاف من هذه الطباخات الشمسية في الهند،وهنالك عدة تصميمات مختلفة لصندوق الطهي.

الشكل 8 : الطباخات على شكل صناديق

صندوق الطهي الشمسي بدون عاكس (الشكل 1.8)،هوصندوق خشبي مجهز بعازل حراري وبغطاء زجاجي.يعتبر هذا الطباخ الصندوق أبا لجميع الطباخات الشمسية على شكل صناديق. في الشكل2.8، تمت إضافة مرآة عاكسة إلى التصميم الأول لتحسين كفاءة الطهي. ويقدم الشكل3.8طباخا ذا قاعدة مربعة مع عاكس مزدوج، في حين يتم استخدام ثلاثة عاكسات في الشكل 4.8. تتطلب هذه العاكسات الثلاثة وضعها بزوايا محددة لضمان اِنعكاس أشعة الشمس داخل الصندوق. يقدم الشكل5.8صندوق الطهي بأربع مرايا عاكسة. عموما الزيادة في عدد العاكسات لا تؤدي إلى زيادة في الكفاءة المنتظرة، فالوقت الذي استغرقه الطهي بالأربعة عاكسات لم يقل بأكثر من 25٪ مقارنة مع الوقت الذي استغرقه الطهي باستخدام عاكس واحد. إن التحديات الرئيسية لهذه الطباخات الشمسية هي خفض مدة الطهي، والحاجة إلى تطوير آليات لتوجيه العاكسات باتجاه الشمس.حقق صندوق الطهي بثمانية عاكسات درجة حرارة 220 درجة مئوية (الشكل 6.8). باستعمال صندوق مزدوج مع عازل حراري يفصل بينهما. تحتفظ الطباخات الشمسية على شكل صندوق بالطعام دافئا لفترة طويلة، تتم عملية الطهي في مكان مغلق يحافظ على الرطوبة وعلى الخصائص الغذائية للطعام. يقدم الشكل 9 رسما تخطيطيا لصندوق الطهي الشمسي بعاكس واحد. الطباخات الشمسية من هذا النوع سهلة التصميم وتتطلب عند الاستعمال قدرا أقل من المراقبة أو الفحص. على الرغم من هذه المزايا، فإن مدة الطهي طويلة نسبيا رغم استخدام المرايا الداعمة للتركيز.في المتوسط تتراوح درجات حرارة هذه الطباخات ما بين 100 و250 درجة مئوية، مما يجنبها مخاطر حرق الطعام أو خطر إشعال النار. أما في حالة تواجدالسحب فغالبا ما يتوقف طهي الطعام.



الشكل 9 : رسم تخطيطي قياسي لصندوق الطهي الشمسي

الطباخات الشمسية المُرَكِّزة لأشعة الشمس

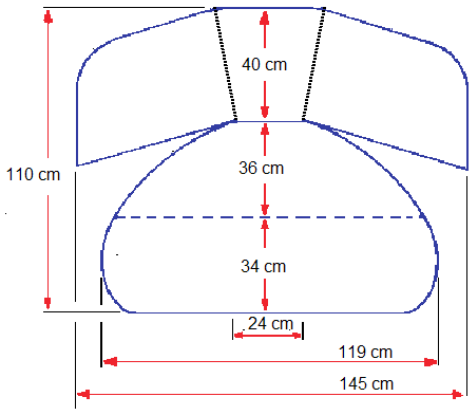
تنقسم الطباخات المُركِّزة لأشعة الشمس إلى أربعة أنواع: طباخ لوحي،عاكس كروي مقعر، وعاكس فرينل، وعاكس مكافئ المقطع.عند استعمال الطباخ الشمسي المُركِّزيُوضع وعاء الطهي في البؤرة،فيتم الطهي بسرعة وفي درجات حرارة عالية بالمقارنة مع صندوق الطهي. تتطلب هذه الطباخات مراقبة وتعديلا مستمرا للعاكس تجاه الشمس لضمان عملية طهي جيدة وآمنة باستثناء الطباخ اللوحي تصلح هذه الطباخات للاستعمال في المؤسسات الكبرى. وفي هذه الحالات تعتمد الطباخات على نظام تتبع مسار الشمس. يصل تركيز الأشعة إلى 50 مما يُمكن لدرجة الحرارة أن تصل في كثير من الأحيان إلى 300 درجة مئوية. تُركز بعض هذه الطباخات أشعة الشمس المنعكسة تحت إناء الطهي بينما يركز البعض الآخر الأشعة على جوانب الوعاء وعلى الجزء العلوي.

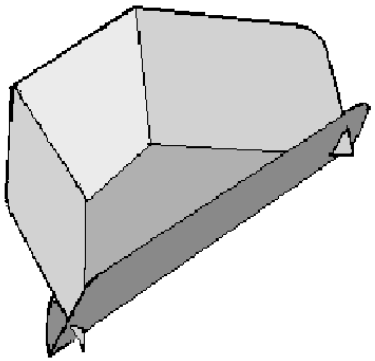
الطباخ اللوحي: يقدم الشكل 10 طريقة تركيز الأشعة على الأجزاء الجانبية والعلوية للإناء. وهو سهل الاستخدام،يستعمل وعاء بغطاء زجاجي لتحقيق ظاهرة الاحتباس الحراري. يمكن تحسين المردودية باستعمال وعاء الطهي بلون أسود أو داكن، يمكن لطباخ لوحي إعداد الوجبات بمعدل 4 إلى 5 أشخاص في ساعات قليلة تحت أشعة الشمس.ويمتازالطباخ اللوحي كذلك بالحفاظ على القيمة الغذائية للطعام. فهو جهاز طبخ بسيط وسهل التركيب،يحتوي على أكثرمن سطح عاكس لتركيزالإشعاع الشمسي على منطقة الطهي. يمكن تحقيق حرارة إضافية بوضع الوعاء في كيس بلاستيكي مقاوم لتسرب الحرارة. ترجع طول المدة اللازمة للطهي عوامل،منها كمية ونوعية الطعام. كذلك تواجد السحب التي تحجب أشعة الشمس وتُعيق عملية الطبخ.

الشكل 10: الطباخات اللوحية

يقدم الشكل 11 تخطيطا قياسيا لطباخ لوحي، يمتاز بسهولة التركيب ويتطلب مواد قليلة،

قطعة من الورق المقوى وورق الألمنيوم. غالبا ما يجب دعمه بالحجارة أو لوح من الجانب الخلفي عند الاستعمال.





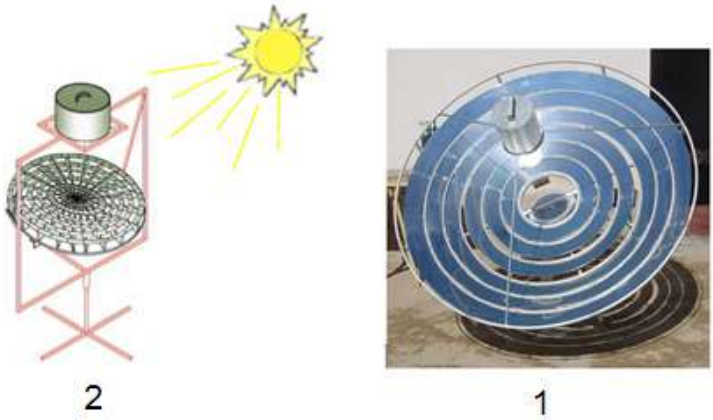
الشكل 11: رسم تخطيطي لطباخ لوحي

طباخ ذو عاكس كروي مقعر وذو القطع المكافئ: يقدم الشكل 1.12طباخا ذا عاكس كروي مقعر. تتركز أشعة الضوء أسفل الإناء. يُوضع وعاء الطهي على حامل يوجد في بؤرة العاكس. ويتميزالطباخ ذو العاكس الكروي المقعر بتصميم محددة وبأنه بسيط الصنع والتركيب في المنزل، فغالبا ما يُغلف صحن لاقط لترددات الأقمار الاصطناعية بأوراق الألمنيوم لصنع عاكس كروي مقعر. يتميز كذلك العاكس الكروي ببؤرة نقطية، حيث يتم تركيز الأشعة الشمسية على نقطة يتواجد بها الوعاء، ويجب توجيه الطباخ كل 15 دقيقة تقريبا.الطباخات الشمسيه ذات القطع المكافئ قوية جدا ويمكنها القيام بطهي سريع وبحرارة عالية.تُعكس الأشعة أسفل الوعاء وفي جوانبه، عندما تكون الظروف لجوية جيدة فهنالك خطرالاحتراق (الشكل 2.12). ليس من الضروري استخدام وعاء أسود عند استعمال هذه الطباخات. أما إذا حَجَبَت الغيوم جزءا كبيرا من الإشعاع الشمسي المباشر، وتكون سرعة الهواء عالية والحرارة منخفضة، فيمكن في هذه الحالة طهي كمية أقل من الطعام بوعاء ذي لون داكن مع غطاء من زجاج لإحداث تأثيراحتباس حراري.يمتاز الطباخ بعاكس مكافئ المقطع بامتلاكه بؤرة التركيز الأوسع بالمقارنة مع جميع الطباخات الشمسية المركزة لأشعة الشمس، وله تصميم فعال جدا من حيث توليد الحرارة، لكنه حساس لتغيرموقع الشمس،ولهذا يتطلب تتبعا مستمرا للأشعة الشمسية.يقدم الشكل 3.12 نموذجا مبسطا يمكن صنعه بالكامل من الورق المقوى ولوائح الألمنيوم.

الشكل 12: طباخ ذو عاكس كروي مقعر

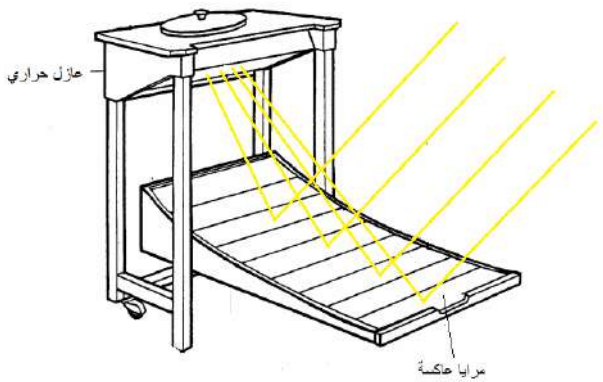
قام حسن أوزتوركباحث بكلية الفلاحة بجنوب تركيا بالعديد من التحليلات والتجارب على أداء طباخ مكافئ، أظهرت الدراسةالمعتمدة على قوانين الديناميكا الحرارية أن ناتج الطاقة يتراوح بين 20,9 واط و 78,1 واط وأن كفاءة الطاقة تتراوح بين 2,8٪ و 15,7٪. في حين أن كفاءة استخدام الطاقة في صناديق الطهي الشمسي كانت في حدود 3,05٪ إلى 35,2٪، في حين كانت طباخات الطاقة الشمسية المكافئة في نطاق 2,8٪ إلى 15,7٪. وتتحسن كفاءة الطباخات الشمسية المكافئة عند إضافة نظام تتبع الأشعة الشمسية. كما ساهمت إضافة نظام التخزين الحراري، إما بتخزن الحرارة الحساسة بمواد صلبة أو الحرارة الكامنة، في تحسين كفاءة الطباخات، ومَكَّن من استعمالها عند غياب أشعة الشمس.

طباخ مكافئ من نوع فرينل: تم تطوير بعض الأنظمة المثيرة للاهتمام وهي حاليا قيد الاستخدام.يقدم الشكل 1.13 أحد الأمثلة من جامعة سالتا بالأرجنتين.يتكون الطباخ من أقراص الألمنيوم مكافئة من نوع فرينل يُسخن وعاء الطبخ إلى درجات حرارة أعلى بكثير من 300 درجة مئوية.ويُستخدم طباخ فرينل لطهي وجبات يومية لثلاثين طفلا في شمال الأرجنتين.درس جون مانيكاجي منمركز أبحاث الطاقة الشمسية بالبوليتكنيك بنيجيريا تطوير عاكس فرينل للطاقة الشمسية. يقدم الشكل 2.13تصميم العاكس فرينل شمسي استخدمه جون لتوليد الحرارة من الشمس لأغراض الطهي والخبز والتقطير. تَمَكَّن العاكس من تركيز الطاقة الشمسية بقطر يبلغ 10 سم ويُمكن استخدامه لرفع درجة حرارة وعاء موضوع في المنطقة البؤرية. الحرارة المتولدة بهذا النوع تتناسب طرديا مع كل من تصميم المجمع، وبنائه، وجودة العاكسات، والمنطقة المعرضة للشمس وكثافة الطاقة الشمسيةعند الاستعمال. يجب استخدام طباخ فرينل برعاية كبيرة، فالأشعة المُركزة عند نقطة البؤرة تكون على درجة حرارة عالية وقد تؤدي إلى إشعال أي شيء متواجد في النقطة البؤرية.



الشكل 13 : طباخ مكافئ من نوع فرينل

يتكون عاكس الفرينيل للمخترع الفرنسي روجي برناردمن 9 مرايا مرتبطة بإطار(الشكل 14). يقوم العاكس بتركيز ضوء الشمس على قاع الإناء. يدور الإطار حول محور أفقي ويُضبط ميله على ارتفاع الشمس. تحت سطح الطاولة، يعمل صندوق زجاجي معزول كدفيئة للحفاظ على الجزء السفلي من الحاوية دافئًا. يمتاز طباخ فرينيل بكفاءة جيدة واستقرار بتواجد الريح.

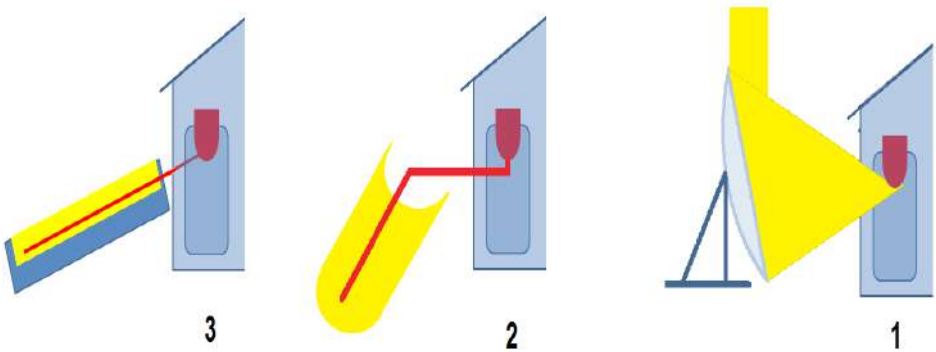


الشكل 14 : العاكس الفرينيل للمخترع روجي برنارد

طباخات شمسية غير مباشرة

تقوم الطباخات الشمسية غير المباشرة بنقل الحرارة عبر سائل حراري من المجمع الشمسي إلى طباخ ثانوي داخل المبنى.في حالة الطهي الشمسي غير المباشر لا يوجد اتصال مباشر لأشعة الشمس المنعكسة مع مركزالطهي، وبدلا من ذلك يتم نقل الحرارة المتولدة في المجمع

الشمسي إلى قسم الطهي بواسطة ناقل الحرارة. تم تطويرهذه الأنواع من الطباخات الشمسية للاستعمالات التجارية. وقد طور بعض الصناع أنواع تركيز الطاقة الشمسية بحيث اُستخدمت المجمعات الشمسية المسطحة وذات عاكس مكافئ المقطع ومجمعات شمسية ذات عاكس كروي مقعر الشكل وكذلك استُخدمت الأنابيب المفرغة من الهواء كمجمع شمسي لكفاءتها الجيدة (الشكل 15).



الشكل 15 : طباخ غير مباشر ذو مجمع كروي مقعر (1)، ذو مجمع اسطوانة مكافئة (2)، ذو مجمع مسطح (3)

طورت مريا دا سيلفا من جامعة دو سِيارا بالبرازيل وبتعاون مع المدرسة الشمسية بيوليش ألمانيا، طباخا شمسيا مزودًا بوسيلة تخزين حراري تستخدمه مدرسة ابتدائية في الجزء الشمالي من تشيلي (الشكل 1.16). يتكون من مجمعات شمسية مسطحة،ووسيط النقل الحراري المستعمل عبارة عن زيت نباتي. يحتوي الطباخ على وعاءين منفصلين ثابتين وعلى الأنبوب الذي يمتص أشعة الشمس ووسيط ناقل حراري هوعبارة عن مجموعة من أنابيب الحرارة التي تنقل الحرارة من الأنبوب المفرغ إلى قسم الطهي. يُعرف هذا النوع بالطبخ السريع ولديه القدرة على استيعاب وعاء كبير الحجم. تُوضع اللوحة المسطحة خارج المبنى، بينما يوجد قسم الطهي بالداخل.ومن العيوب الرئيسية لهذا النظام أنه لا يمكن الاعتماد عليه في غياب أشعة الشمس المباشرة.هذا النوع لا يتطلب تتبع أشعة الشمس، والمستعمل يكون داخل المنزل في حين يوجد المجمع خارجه.تقدم الصورة2.16 طباخا شمسيا غير مباشر اختبر في شمال شرق البرازيل، ويشتمل على مجمع شمسي بمساحة 1,7 متر مربع، دون نظام تخزين الحرارة.تعتمد كفاءات هذا النوع من أجهزة الطهي أيضًا على الخواص الفيزيائية الحرارية للسائل الحراري المستعمل بالإضافة إلى معايير التصميم. بالمقارنة مع أنواع أخرى من الطباخات، فإن استعمال

أنبوب الحرارة مع السائل الحراري يجعله أكثر فعالية، كما يقلل من تعرض المستعمل لحرارة الشمس. وعلى الرغم من هذا فإن هذه الأجهزة مكلفة وتتطلب الكثير من الخبرة.

2 1

الشكل 16 :الطباخات الشمسية غير المباشرة
مع مجمع شمسي مسطح في تشيلي (1) وفي البرازيل (2)

الطباخات التجارية غير المباشرة

لقد تجاوزت فكرة الطهي باستعمال أشعة الشمس مجرد إعداد نظام طهي بديل في المنازل. بل أصبح نظامًا معتمدا لتوليد الحرارة من أجل استعمالاتصناعية في العديد من البلدان.تملك الهند على سبيل المثال أكبرمطابخ شمسية في العالم. وقد تم تركيب نظام للطبخ الشمسي (الصورة 1.17) بالتعاون بين أكاديمية لعالم أفضل وجامعة براهما كوماريس العالمية بالهند، وباستعمال التكنولوجيا سولاري بروك الألمانية. يتكون المطبخ من 84 جهازاستقبال أشعة الشمس ويتم الطهي على 650 درجة، ويمكن للنظام إنتاج مايصل إلى 38500 وجبة في اليوم عندما تكون الشمس في ذروتها.

في ولاية ماهاراشترا، بُني نظاما للطهي الشمسي العملاق عام 2009 (الصورة 2.17). يحتويا لنظام على 73 مجمعا شمسيا مكافئا لالتقاط أشعة الشمس وتشغيل أكبرنظام طهي بالطاقة الشمسية في لعالم لطهي الطعام لـ 50000 زائرا يوميا. عادة تتطلع مراكز الاستقبال ومراكز التكوين وغيرها من المؤسسات في الهند بشكل متزايد إلى الاستفادة من الطاقة الشمسية في مطابخها التي تلبي احتياجات آلاف الأشخاص يوميا. تتميز هذه المراكزبمطابخهاالكبيرة،التي تلبي احتياجات الزائرين، وتستغل الطاقة الشمسية وتتخلص ببطء من طرق الطبخ القديمة التي

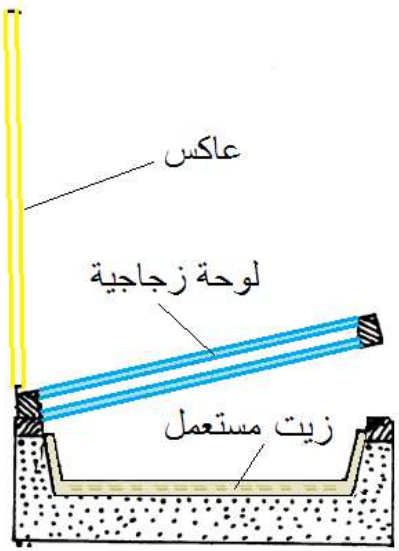
تستهلك كميات كبيرة من الطاقة. ينتج النظام أشعة الشمس لتوليد 3600 كيلوجراممنالبخار يوميا ويوفر ما يقرب من 100 ألف كيلوغرام من غاز الطبخ سنويا. الطبخ بالبخار نظيف وفعا وصحي، خاصة عندما يتم طهي الطعام لأعداد كبيرة. تركز الأشعة الشمسية على عاكس عملاق ينقل الحرارة لتوليد البخار بدرجة حرارة تتراوحبين بين 550 و 600 درجة مئوية. مع نظام تعقب الشمس الآلي، تدور المجمعات الشمسية باستمرار مع حركة الشمس، وتُركز باستمرار أشعة الشمس على أجهزة الاستقبال.

الصور 17 : أكبر مطابخ بالطاقة الشمسية في العالم في الهند

التخزين الحراري بالطباخات الشمسية

إن القبول الاجتماعي للطباخات الشمسية والقدرة على التنافس بشكل إيجابي مع وسائل طهي حرارية أخرى تبقى متواضعة. فمثلا في افريقيا، يأكل معظم الناس في المساء، وبالتالي فإن تطور الطباخات الشمسية رهين بتطور نظام تخزين الطاقة الحرارية.تعمل الطباخات المتقدمة في الصنع والمجهزة بنظام التخزين على تسخين سائل التخزين، ويتم الاحتفاظ بالحرارة على درجات عالية لمدة تسمح باستعمالها للطهي عند غياب الشمس أو في المساء.إن أداء الطباخ الشمسي بدون تخزين يتأثر بشكل كبير بالطبيعة المتقطعة للإشعاع الشمسي. عندما تكون هناك سحابة متقطعة، يبقى الطعام نصف مطبوخ، وبالتالي يتم إهداره، حيث لا يمكن إعادة طهيه حتى باستخدام الوسائل التقليدية. وبالتالي هناك حاجة ملحة لتطوير طباخ شمسي بنظام تخزين منخفض التكلفة.

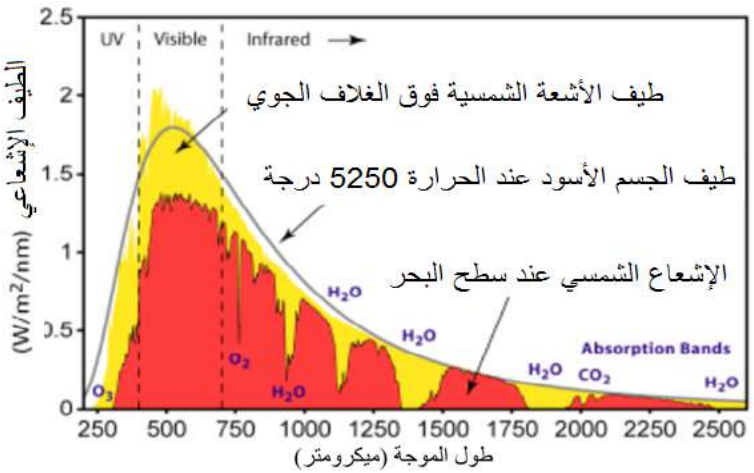
قام الباحث نفراتنا نهارمن معهد بحوث المنطقة القاحلة الوسطى براجستان (الهند)، بتصميم جهاز صندوق الطهي الشمسي واستعمل زيت المحرك المستخدم كسائل لتخزين الحرارة، وقام باختبار الجهازلكي يمكن الطهي حتى في وقت متأخر من المساء.تم اختبار أداء جهاز تخزين عن طريق قياس درجات حرارة الركود وإجراء تجارب الطهي. ولا يختلف اشتغال الجهاز بالتخزين وبدون تخزين بالنهار، ولكن في المساء كانت درجة الحرارة تزيد ب 23 درجة مئوية أكثر في وعاء التخزين الشمسي من الساعة الخامسة مساء إلى منتصف الليل، بحيث وُضع الأرز والحمص الأخضر على الساعة الخامسة والنصف، وتم طهي المكونات بحلول الساعة الثامنة بالحرارة المخزنة في الزيت.وتم تحديد كفاءة طباخ بنظام التخزين بنسبة 27.5٪.هناك نوعان من أنظمة التخزين الأكثر تطورا: نظام تخزين الحرارة المحسوسة ونظام تخزين الحرارة الكامنة. يعتبر تخزين الحرارة المحسوسة طريقة بسيطة، يتم رفع درجة حرارة مادة صلبة أو سائلة والاحتفاظ بها إلى حين الحاجة. ويتميز نظام تخزين الحرارة الكامنة بكثافة طاقية عالية، وتُستخدم الأملاح المعدنية التي تحتوي على حرارة انصهار كامنة قد تصل إلى350 كيلوجول / كجم ونقطة انصهار من 80 إلى 120 درجة مئوية.



الشكل 18 : صندوق الطهي مع نظام بسيط لتخزين الحرارة المحسوسة

الإشعاع الشمسي

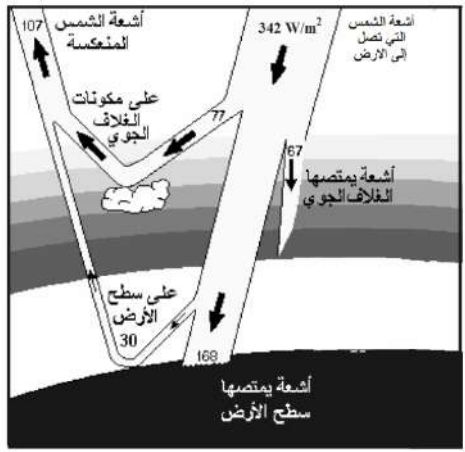
تعتبر أشعة الشمس عاملا مناخيا نستعمله إما بشكل سلبي أو بشكل فعلي لإنتاج الطاقة. وللتحكم في استعمال الطاقة الشمسية يتطلب الأمرمعرفة معطيات عن موقع الشمس في السماء كالارتفاع وشدة الإشعاع. فالشمس عبارة عن مفاعل نووي يعمل على تحويل الهيدروجين إلى هيليوم، ويصدركميات هائلة من الطاقة في الفضاء. تنتشر هذه الإشعاعات في جميع الاتجاهات وتنتقل عبر الفضاء بسرعة ثابتة تسمى سرعة الضوء. بعد قطع مسافة حوالي 150 مليون كيلومتر، يصل الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي للأرض بقوة تصل إلى 1367 واط / مترمربع. وهذا مايسمى بالثابت الشمسي. فالأرض بحجم صغيرمقارنة مع الشمس، تتوصل بالقليل من الطاقة المشعة للشمس التي تصل بشكل حزم متوازية. النظريات الحالية تقدم الإشعاع الشمسي باعتباره تدفقا لجسيمات تسمى الفوتونات، تصل إلى الأرض بمختلف أطوال موجية. ويسمى توزيع الطاقة للأطوال الموجية المختلفة للإشعاع الكهرومغناطيسي للشمس بطيف الأشعة الشمسية. (الشكل 19). درجة حرارةالإشعاع تصل إلى 5500 درجة مئوية، تشع الشمس معظم طاقتها بترددات عالية أي أطوال موجية قصيرة. يمثل الضوء المرئي48٪ والأشعة تحت الحمراء 46٪، والأشعة فوق البنفسجية 6٪. والطاقة المنبعثة من الشمس تتجاوز الأحمر المرئي أي الأشعة تحت الحمراء، وهذه مصدر الحرارة على وجه الأرض.



الشكل 19 : مخطط توضيحي لطيف الشمس على وجه الأرض

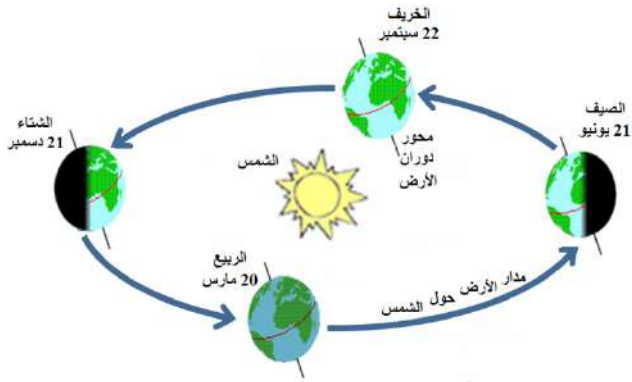
ينعكس ما لا يقل عن 35٪ من الإشعاع الشمسي على الغلاف الجوي في الفضاء. يمتص بخار الماء وثاني أكسيد الكربون والأوزون من الغلاف الجوي ما بين 10 إلى 15٪ من الإشعاع

الشمسي. بقية الإشعاع تصل إلى السطح مباشرة (الشكل 20).العامل الأهم في تقييم كمية الإشعاع الشمسي التي تصل إلى سطح الأرض هو سمك الغلاف الجوي الذي يجب أن يمرعبره الإشعاع.يبلغ متوسط كمية الطاقة التي يستقبلها الغلاف الجوي للأرض 342 واط / متر مربع. في منتصف النهار،تَعْبُرأشعة الشمس أصغرسماكة من الغلاف الجوي قبل أن تصل إلى الأرض. وفي بداية ونهاية اليوم حيث الشمس منخفضة في الأفق، تَعْبُر أشعة الشمس أطول سماكة من الغلاف الجوي.وبالتالي يتفاوت الإشعاع الشمسي الذي يتلقاه سطح الأرض حسب موقع الشمس والغطاءالجوي. الحد الأقصى للطاقة الشمسيةا لتي تصل إلى سطح الأرض هوحوالي 1000 واط / م^2 لسطح عمودي على الأشعة.



الشكل 20: توزيع كمية الطاقة الشمسية على الغلاف الجوي والأرض

تدور الأرض حول الشمس في فلك بيضاوي خلال سنة كاملة (الشكل 21)، وتقوم كذلك بدورة كاملة حول نفسها في 24 ساعة حول محور القطبين. يشكل هذا المحور الشمالي الجنوبي زاوية (23°27') مع اتجاه عمودي على مستوى مدار الأرض حول الشمس. هذا الميل ثابت طوال دوران الأرض حول الشمس وهو المسؤول عن الاختلافات الموسمية من الصيف إلى الربيع. خلال فصل الشتاء، تكون مدة التشمس قصيرة نسبيا في نصف الكرة الشمالي والشمس لا ترتفع عاليا جدا في السماء، بينما يسيطر الصيف على نصف الكرة الجنوبي. خلال أشهر الصيف، يتمعكس الوضع، ونصف الكرة الشمال ييتحول نحو الشمس. وتصير الأيام أطول من الليالي في نصف الكرة الشمالي والإشعاع أقرب إلى العمودية.

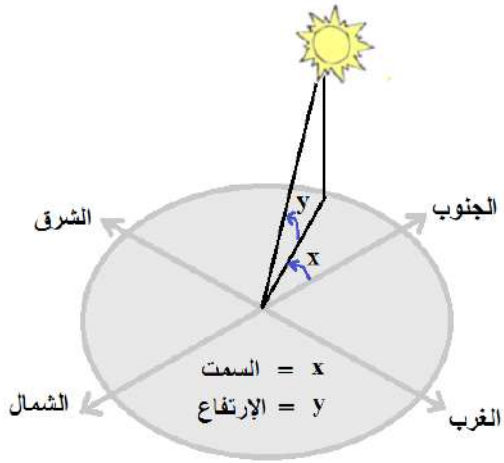


الشكل 21 : حركة الأرض حول الشمس

يتحرك موقع الشمس ظاهريا في السماء مع تغير الفصول، وتمر الكرة الأرضية بأربع نقاط مفصلية هامة أثناء رحلتها حول الشمس والتي تستغرق 365 يوما و6 ساعات تقريبا، وهي الاعتدال الربيعي والانقلاب الصيفي والاعتدال الخريفي والانقلاب الشتوي. يحدث الاعتدال الربيعي في 20 مارس والاعتدال الخريفي في 22 سبتمبر. يكون الإشعاع عموديا على خط الاستواء في كل الكرة الأرضية، وتتساوى مدة الأيام والليالي. يسهل حساب ارتفاع الشمس عند الظهر بحيث يساوي الزاوية التكميلية لخط العرض. يحدث الانقلاب الصيفي في 21 يونيو، تميل الأرض نحو أشعة الشمس، وفي منتصف النهار، تكون متعامدة مع مدار السرطان. لا تغيب الشمس أبدًا في المناطق داخل الدائرة القطبية المتواجدة تحت القطب الشمالي. ارتفاع الشمس عند الظهيرة هو أعلى من ذلك في الاعتدال. يحدث الانقلاب الشتوي في 21 ديسمبر، يتم عكس زاوية الميل وهو مدار الجدي الذي يستفيد من الإشعاع المتعامد. ارتفاع الشمس عند الظهيرة أقل من ذلك في الاعتدال.

لفهم واستخدام تأثير الشمس في اختيار الموقع، يجب تحديد موقع الشمس الظاهري في السماء. هذه المعلومات مهمة لتقييم الكمية الطاقية للشمس بالمكان والزمان، من أجل اختيارتوجيه المبنى، أوتثبيت أنظمة الطاقة الشمسية، أو توجيه طباخات شمسية فيما يخص موضوعنا. يُحدد ارتفاع وسمت الشمس في لحظة معينة موقع الشمس في السماء. يُعرف بالتالي اتجاه الإشعاع الشمسي ويمكن تقييم الكمية الطاقية. ارتفاع الشمس هوالزاوية التي يتخذها اتجاه الشمس مع المستوى الأفقي (الشكل 22). ومن 0 درجة إلى 90 درجة من الأفق إلى السماء.وسمت الشمس هو الزاوية التي تنشأ بين السطح المستوي العمودي الذي يمرعبركل من الشمس والموقع المعين،والمستوى العمودي شمال - جنوب هذه الزاوية هي 0 ° إلى الجنوب

وهي إيجابية بشكل تقليدي للغرب وسلبية إلى الشرق.

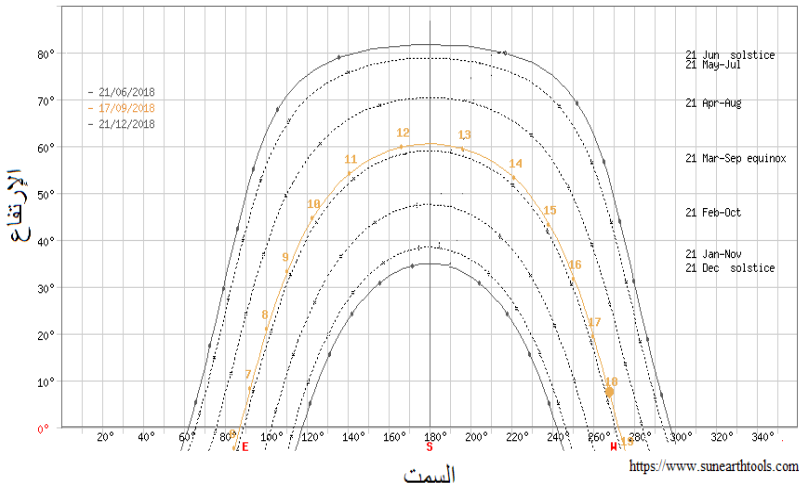


الشكل 22: ارتفاع الشمس الظاهري في السماء

تخطيط مسار الشمس

وبالنظر بشكل أكثر دقة إلى قيمة السمت في أوقات مختلفة من السنة، نجد أن التعبير «الشمس تشرق من الشرق وتغيب عند الغرب غيردقيق. في ديسمبر مثلا، ترتفع الشمس في الجنوب الشرقي لتستقر في الجنوب الغربي، وفي يونيو، ترتفع الشمس من الشمال الشرقي لتغيب في الشمال الغربي. هذا يعطي عدد ساعات من الحد الأقصى من أشعة الشمس في ديسمبرأقل بكثير منها في يونيو. أما بالنسبة لارتفاع الشمس، فإنه يصل مثلا في مدينة مراكش إلى حد أقصى قدره 82 درجة في 21 يونيو، وفي 21 ديسمبر يصل إلى35 درجة. يقدم الشكل 23 تخطيط مسار الشمس بمدينة مراكش، وفقًا للوقت العالمي، لأشهر مارس ويونيو وسبتمبر وديسمبر.

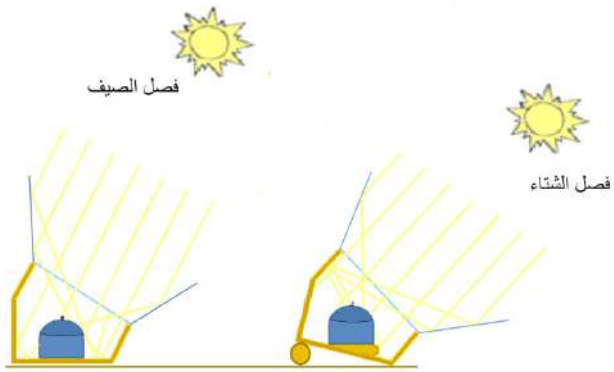
باستخدام السمت الشمسي والارتفاع الشمسي يمكننا تحديد كيفية تغير موقع الشمس خلال السنة. ويبين تخطيط مسار الشمس كيف تجري الشمس ظاهريا في السماء فوق سطح الأرض. يقدم الشكل 23 مخططا لمسار الشمس لمدينة مراكش. يمثل المحور العمودي الارتفاع الشمسي ويقاس من درجة 0ْ إلى درجة 90ْ مباشرة في السماء، ويمثل المحور الأفقي السمت الشمسي. مركز المخطط هو 180ْ درجة باتجاه الجنوب. إن تقاطع ارتفاع الشمس مع نقطة السمت يبين لنا موقع الشمس في السماء.



الشكل 23 : تخطيط مسار الشمس لمدينة مراكش

الإشعاع الشمسي الساقط

تحدد زاوية أشعة الشمس مع سطح الأرض كثافة الطاقة التي يتلقاها هذا السطح. وبما أن الإشعاع الشمسي يصل إلى الأرض كحزم إشعاعية موازية، فإن السطح المتعامد مع هذه الأشعة يتعرض لكثافة الطاقة القصوى- الشكل24. وإذا قمنا بإمالة السطح من هذا الوضع المتعامد، فإن الإضاءة وكثافة الطاقة تنخفض.يقدم الشكل 25 كثافة الطاقة لكل وحدة مساحة حسب الموقع على الأرض، فهي أكبرعند خط الإستواء. في القطب الشمالي تتم إمالة الأشعة المتوازية بحيث تغطي الأشعة مساحة أكبر وتنخفض بالتالي كثافة الطاقة.



الشكل 24 : تصويب سطح اللوحة الزجاجية للطباخ ليتعامد مع الأشعة الشمسية طيلة السنة

الشكل 25: كثافة الطاقة لكل وحدة مساحة حسب الموقع على الأرض

الأشعة الشمسية

يعتبر الإشعاع الشمسي المصدر الرئيسي للطاقة الحرارية على سطح الأرض، ويتم تصنيفه إلى ثلاثةعناصر:الإشعاع الشمسي المباشر، يمثل الأشعة المباشرة من الشمس إلى سطح الأرض، ويسميه البعض الإشعاع العمودي المباشر، ويعتبر الوقود الأساسي لتقنيات الطاقة الشمسية الحرارية المركزة، تتأثر هذه الأشعة بواسطة أي حاجب يقع بين الموقع على الأرض وبين الشمس كالغيوم مثلا.والإشعاع المنتشر، المقابل للإشعاع الوارد من مظلة من السماء، باستثناء الإشعاعات المباشرة. هذه الطاقة المنتشرة في الغلاف الجوي والموجهة نحوسطح الأرض، يمكن أن تصل إلى 50٪ من الإشعاع الكلي عندما تكون الشمس منخفضة في الأفق، و تصل 100٪ لسماء غائمة بالكامل. والصنف الثالث هو الإشعاع المنعكس الذي تعكسه البيئة الخارجية، ولاسيما البحر والبحيرات، ويختلف عن سابقه بأن وصوله إلى الأرض ليس مباشرة من الشمس، ولكن يكون انعكس من مصادرأخرى. حيث يمكن أن تصل أشعة الشمس إلى بعض المباني أوالمواقع الأخرى على الأرض،ثم تنعكس على الغيوم أوأي جسم آخرقبل أن تصل إلى موقع الاستعمال (الشكل 26).

الشكل 26 : الإشعاع الشمسي المباشر والإشعاع المنتشر والإشعاع المنعكس

الخاتمة

يعتبر طهي الطعام باستخدام الطاقة الشمسية بديلاً لحطبا لوقود في إعداد الطعام في كثيرمن بلدان العالم النامي. ويعتبرأحدالحلول لمشكل ندرة حطبالوقود،ولكن ما زال اعتماده في الطهي جد محدود بسبب الحواجز الثقافية والتكاليف العالية نسبيا. ويعتمد حاليا أكثر من 3ملايير شخص على حطب الوقود لأغراض الطهي والتدفئة، ثلثان منهم يعيشون في البلدان النامية ومعظمهم في المناطق الريفية.بالإضافة إلى حطب الوقود، يتم حرق الملايين من الأطنان من مخلفات المحاصيل الفلاحية ومن الروث سنويا. لواستخدمت هذه النفايات الفلاحية لتخصيب التربة لكان بالأمكان توفير الغذاء للملايين الفقراء.فتكلفة الطباخات الشمسية متواضعة في العالم المتقدم، إلا أنها مُكَلِفة بالنسبة لسكان العالم النامي، وغياب المساعدة الاقتصادية جعل توسيع استعمال الطبخ الشمسي عملية بطيئة.

حسب جمعية الطبخ الشمسي العالمية تم تقديم تكنلوجيا الطهي بالطاقة الشمسية في 69 دولة. في نهاية عام 1993،أصبح عدد الطباخات المستخدمة في الهند 34 ألفا، وفي الصين 14 ألفا. ويرجع ذلك إلى الدعم الكبيرالمقدم من طرف حكومات هذه البلدان. لقدكان الطهي بالطاقة الشمسية جزءًا من البرنامج الهندي منذ عام 1982، بحيث تم بدعم من الحكومة توزيع 85٪ من أجهزة الطهي التي تعمل بالطاقة الشمسية في ست ولايات بالهند.الادماج الناجح للطهي الشمسي يتطلب مشاركة واسعة للنساء، والقدرةعلى تكيف الاستعمال مع الظروف المحلية. من ناحية أخرى تنظيم أوراش بناء واستعمال الطباخات الشمسية. يجب جعل الطباخات تلائم احتياجات المستخدم بأكبرقدرممكن وتوليد درجة عالية من الاهتمام الشخصي من قبل المستخدم.

راحة المستعمل مهمة أيضا في إدماج طريقة طهي جديدة في الحياة الاجتماعية في الريف. خلال ساعات الطهي الرئيسية، غالبا ما تشارك النساء في العمل الزراعي بعيداعن المنزل، ما يجعل الطبخ الشمسي صعبا. عدم الاطمئنان على سلامة الغذاءعامل غيرمشجع لتكون عملية الطبخ خارج المنزل. إن إدخال طريقة جديدة لتحضيرالطعام تستلزم أسلوبًا جديدًا للطهي، فمثلا الطباخ لا يمكنه الطبخ بسرعة. لذايحتاج طهيا لطعام التخطيط المسبق والإعداد قبل بدء الطبخ بساعات. فمثلا لايمكن القيام به عند حضور الضيوف غيرالمتوقعين. فالطباخ الشمسي ليس بالضرورة بديلا كاملا، بل هو إضافة إلى المطبخ التقليدي.وعادة لا تحصل النساء في المجتمعات الريفية أوحتى العديد من المناطق الحضرية على إمكانية الحصول على الدخل الخاص بهن لشراء منتجات مبتكرة مثلا للطباخات الشمسية. ولذا يجب إشراك النساء في صنع

واستخدام أجهزة طهي بسيطة محلية الصنع. ويمكن أن تشارك النساء أيضا في طبخ أنواع جديدة ومختلفة من الأغذية وبالتالي نشرالمعلومات محليا حول المأكولات الناجحة الخاصة بالطبخ الشمسي.

رغم تسويق الطباخات الشمسية على أساس الفوائد التي توفرها، كوقت فراغ إضافي، والقضاء على المشاكل الصحية الناجمة عن التعرض المستمرللدخان، وتوفير الدخل الذي ينفق على الوقود، والحد من استنزاف الغابات، لم يؤدّي كل هذا إلى انتشار واسع لاستخدام الأفران الشمسية إلاَّ في البلدان التي كانت لها سياسة هادفة لدمج الطهي الشمسي في المنظومة الطاقية. الصين لديها ما يقرب من 4 ملايين طباخ شمسي قيد الاستخدام، ونفس الشيء بالنسبة للهند. هناك صعوبات لتوفير الطباخات الشمسية سهلة الاستعمال في البلدان التي فيها مستويات الفقر كبيرة تجعل العائلات غير قادرة على تحمل تكاليف شراء مطابخ شمسية بسيطة.ويمكن للدولة، كما هو الشأن في الهند،توزيع ما يكفي من الطباخات الشمسية على الأُسر الفقيرة.

المراجع

R.M. Muthusivagami, R. Velraj, R. Sethumadhavan; Solarcookerswith and without thermal storage - A review; Renewable and SustainableEnergyReviews 14 (2010) 691–701

Hasan H. Öztürk, Experimental determination of energy and exergy efficiency of the solar parabolic- cooker. Solar Energy 77 (2004) 67–71)

Manukaji John, Int. Development of a Solar Fresnel Reflector and Its Tracking Stand Using Local Material, Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 5, Issue 1(Part 5), January 2015, pp.22-30

Roger Bernard ; Construisez votre cuisinière solaire Id-Solaire,http://www.idsolaire.com

KlemensSchwarzer, Maria Eugenia Vieira da Silva; Characterisation and design methods of solar cookers; Solar Energy 82 (2008) 157–163

N.M. Nahar; Performance and testing of a hot box storage solar cooker; Energy Conversion and Management 44 (2003) 1323–1331

KlemensSchwarzer, Maria Eugenia Vieira da Silva; Solar cooking system with or without heat storage for families and institutions; Solar Energy 75 (2003) 35–41

Blum, B.L., 1992. Solar cooking trends a preliminary report. In: Pejack, E. (Ed.), Advances in Solar Cooking: Proceedings of the First World Conference on Solar Cooking.

University of the Pacific, Stockton, CA, pp. 32–36

Samantha NhiHuynh,Solarcooking in Namibia,Assessing the performance of a parabolic solar cooker; November, 2014, Lund

OmotoyosiOnalapo Craig; A Stand-alone Parabolic Dish Solar Cookerfor African Conditions; Thesis of Engineering (Mechanical) in the Faculty of Engineering at Stellenbosch University; December 2015

N.L. Panwara, S.C. Kaushika, SurendraKotharib; State of the art of solar cooking: An overview; Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 3776– 3785

A. Lecuona, J. I. Nogueira, C. Vereda and R. Ventas; Solar cooking figures of merit. Extension to heat storage; FORMATEX,2013.

AmalHereza, MohamadRamadana, Mahmoud Khaleda,Review on solar cooker systems: Economic and environmental study for different Lebanese scenarios; Renewable and Sustainable Energy Reviews 81 (2018) 421–432

AbhishekSaxena, Shalini Lath and VineetTirth, Solar Cooking by Using PCM as a Thermal Heat Storage, MIT International Journal of Mechanical Engineering, Vol. 3, No. 2, August 2013, pp. 91–95

Neha Garg, Noor Danish AhrarMundari,Review on Reflectors for Box Type Solar Cooker, International Journal of Engineering Technology Science and Research, IJETSR, ISSN 2394-386, Volume 4, Issue 6, June 2017

HaftomAsmelash, MuluBayray, C. Z. M. Kimambo, PetrosGebray and Adam M. Sebbit,Performance Test of Parabolic Trough Solar Cooker for Indoor Cooking;Momona Ethiopian Journal of Science (MEJS), Mekelle University, (2014).

Elamin O. M. Akoy, AbdallaI. A. Ahmed; Design, Construction and Performance Evaluationof Solar Cookers; Journal of Agricultural Science and Engineering; Vol. 1, No. 2, 2015, pp. 75-82

SolarCookers International ; Cuiseurs Solaires, employer et apprécier ; la 10ème édition, 2004

Art libre ; Le cuiseur solaire ; Version 1.0 - juin 2013

https://www.thehindu.com

https://inhabitat.com

كهربة المناطق الريفية والصحراوية من خلال استخدام الطاقة الشمسية

دراسة حالة :قرية بومهاوت في جنوب المغرب

إعداد : الأستاذ الدكتور عبد الفتاح بغدادي

جامعة محمد الخامس بالرباط، المملكة المغربية

فهرس

ملخص:

المقدمة :

1. تطور الكهرباء القروية في المغرب
2. الآثار الإيجابية لبرنامج الكهربة القروية
3. حالة الكهرباء الريفية في إفريقيا
4. إمكانية الطاقات المتجددة في المغرب

4.1 تعريف إمكانات الطاقة الشمسية في المغرب

4.2 تعريف إمكانات الطاقة الريحية في المغرب

5. منهجية معتمدة في وضع نموذج الكهربة بواسطة تطبيق الطاقة الشمسية

5.1 السياق العام لاحتياجات الكهرباء في المناطق الريفية

5.2 مبدأ الكهربة بواسطة تطبيق الطاقة الشمسية

5.3 اختيار القرية المناسبة

5.4 تقييم للاحتياجات الطاقية لقرية «بومهاوت»

5.5 تقدير القدرة لإنتاج الطاقة الشمسية

5.6 استخدام البرنامج المعلوماتي «PVsyst"

5.7 تقدير الإشعاع الشمسي بواسطة PVGIS

خاتمة

مراجع

ملخص:

لطالما كانت تغطية الحاجيات من الطاقة مستعصية على جل المناطق الريفية والصحراوية بالمغرب نظرا لتباعدها عن بعضها البعض وكذا بعدها عن الشبكة الوطنية للكهرباء. إلا أنه قد تم تعميم الكهربة على سائر المناطق القرويةبفضل برنامج الكهربة القروية الشمولي الذي انطلقسنة 1995.في هذا العمل، نخطط لتقديم نموذج لكهربة منطقة ريفية عن طريق تطبيق الطاقة الشمسية. وفي هذا السياق، فإن النجاح الذي شهده المغرب من حيث كهربة الريف، كانحافزا لنقل خبرته في مجال الكهرباء إلى إفريقيا التي ما زالت نسبة الكهربة في بعض أنحائها جد منخفضة.

تعتبر موارد الطاقة الشمسية المهمة لقرية تسمى "بومهاوت" التي تقع جنوب المغرب، والتي تنتمي إلى منطقة ريفية وصحراوية تشبه المناطق الريفية في إفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، حافزا مهما جعل من هاته الأخيرة اختيارا حكيما للدراسة التي يجري تنفيذها من طرف فريق البحث، من أجل إجراء مقارنة بين الكهربة عن طريق الربط بالشبكة الوطنية للكهرباء والكهربة بواسطة مجموعات الألواح الشمسية لإثبات أن المنشآت الكهروضوئية موثوقة وفعالة من حيث التكلفة والأداء وهذا لتغطية الاحتياجات الطاقية للمناطق الريفية و الصحراوية.

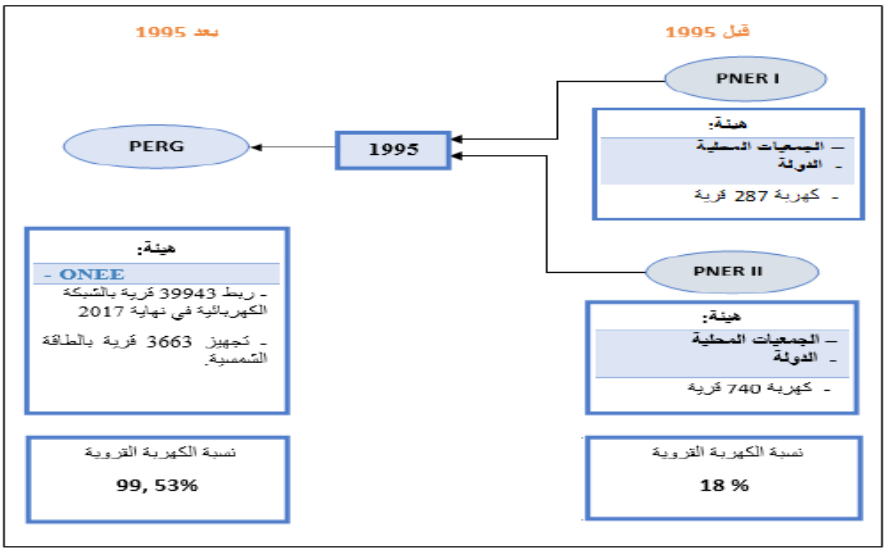
المقدمة :

من بين القضايا الرئيسية لإمداد العالم بالطاقة في العقود القادمة، كهربة 1.6 مليار شخص ريفي لا يستطيعون الحصول على الكهرباء[1]. جزء كبير منهم يعيشون في إفريقيا جنوب الصحراء الكبرى. ولقد تم اختيار المغرب كمثال لأنه نجح في مجال كهربة الريف من خلال استراتيجية استباقية وتنفيذ برنامج الكهربة القروية الشمولي (PERG) من قبل المكتب الوطني للكهرباء والماء الصالح للشرب (ONEE)، و الذي من خلاله حقق المغرب معدل كهربة أكثر من % 98 مقابل % 18 فقط في عام 1995[2]. وقد تم بالفعل تصدير هذه الخبرة المغربية من خلالالمكتب الوطني للكهرباء والماء الصالح للشرب، الذي يمتلك امتيازات للكهرباء في السنغال ويتدخل في العديد من البلدان الإفريقية من خلال تقديم المساعدة التقنية والمعرفية. ويمكن تكرار هذه التجارب الناجحة إلى حد كبير في القارة الإفريقية، التي لديها معدل كهربة منخفض للغاية في حدود % 38 [3]، وهو ما يعوق التنمية الاقتصادية والاجتماعية للبلدان الإفريقية. في هذا السياق، تم اختيار كهربة منطقة قروية بألواح شمسية لقرية تدعى «بومهاوت» تقع في جنوب المغرب وتنتمي إلى منطقة ريفية وصحراوية تشبه المناطق الريفية في إفريقيا

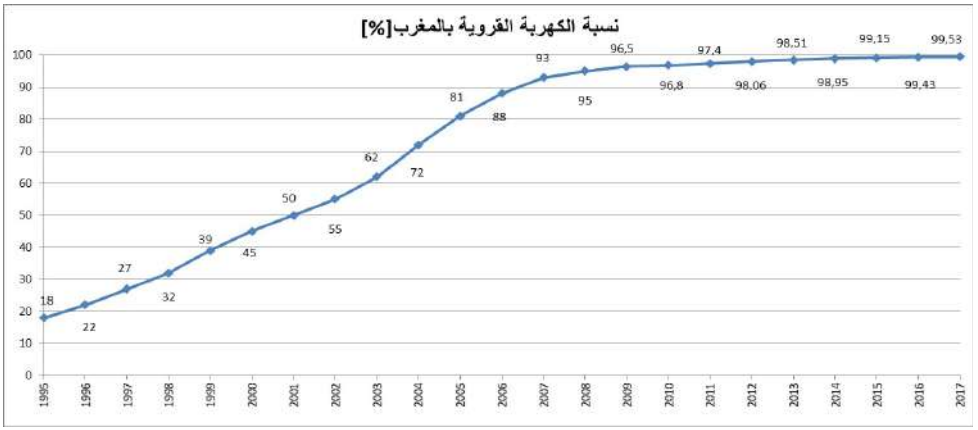
جنوب الصحراء الكبرى من أجل وضع نموذج موثوق به للغاية يعتمد على الطاقة الشمسية الكهروضوئية لتغطية الاحتياجات المطلوبة في المناطق الريفية والصحراوية، ويمكن نقله لإفريقيا جنوب الصحراء.

1. تطور الكهرباء القروية في المغرب

بلغ البرنامج الوطني للكهربة القروية، الذي تم تنفيذه قبل عام 1995 على مرحلتين متتاليتين، PNER I وPNER II ، معدل كهربة بنسبة % 18، إلا أن هذا المعدلقد تحسن بشكل كبير منذ منتصف عام 1990، حيث تم تنفيذ برنامج الكهربة القروية الشمولي (PERG) الذي مكن من رفع معدل الكهربة القروية من % 18 في عام 1995 إلى % 88 بعد 10 سنوات (2006) وبلغ % 99.53 في عام 2017 [4]، وقد واكبت هذا البرنامج الطموح، الرامي إلى جعل نسبة الكهربة في حدود 80 % في عام 2010، إجراءات مالية وتمويل جدير بطموحاته بغلاف إجمالي قدره 15مليار درهم، أي بميزانية متوسطة قدرها مليار درهم سنويا. تم تبني الكهربة المركزية كوسيلة رئيسية لزيادة إمكانية الوصول إلى الكهرباء، في حين تم توفير الطاقة اللامركزية باستخدام الطاقة الشمسية بشكل أساسي للقرى غير المزودة بالكهرباء و ذات الطلب المتناثر أو المنخفض على الكهرباء وتقع عمومًا في مناطق نائية أو غير سهلة الوصول. يظهر الرسم البياني (2)تطور نسبة الكهرباء في إطار برنامج الكهربة القروية الشمولي بين عام 1995وعام 2017.



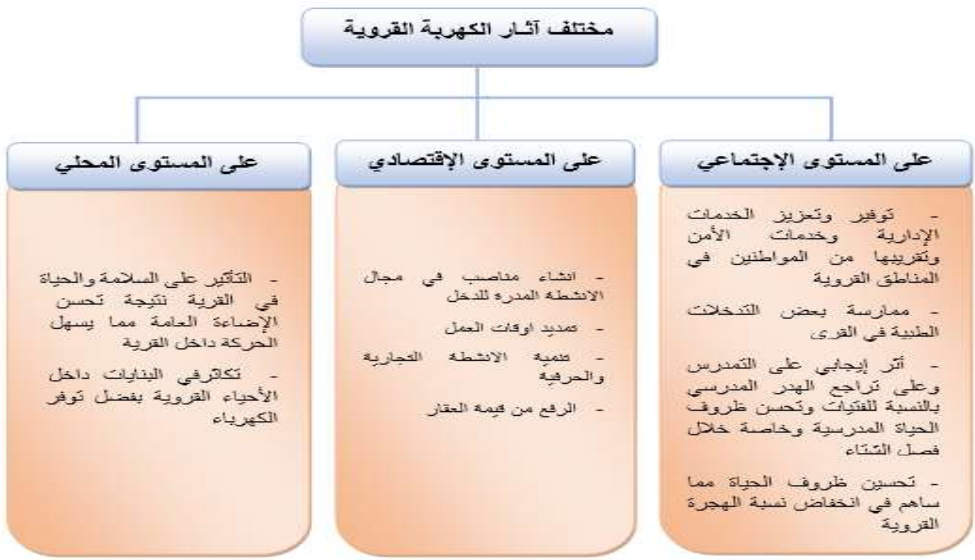
الرسم البياني 1:يوضح حالة البرامج التي تم إطلاقها لكهربة المناطق الريفية و الصحراوية



الرسم البياني 2: تطور نسبة الكهرباء
في إطار برنامج الكهربة القروية الشمولي بين 1995 و 2017 [4]

2. الآثار الإيجابية لبرنامج الكهربة القروية

عرفت القرى عدة تغيرات إيجابية على مختلف المستويات مما ساهم بشكل مباشر في تحسين ظروف العيش بالمناطق الريفية والصحراوية. تلخص الخطاطة أسفله آثار الكهربة القروية على مختلف المستويات الاجتماعية والاقتصاديةوالمحلية.



3. حالة الكهرباء الريفية في إفريقيا

يعتبرمعدل الكهربة مختلفا جدا داخل القارة الأفريقية بحيث هناك اختلافات ملحوظة بين مختلف البلدان الإفريقية. على سبيل المثال معدل الكهربة يبلغ % 17 في مالي، بينما يبلغ % 59 في كوت ديفوار و% 82 في الغابون[5]. لذلك تعتبر حالة الطاقة في القارة الإفريقية شديدة التباين.

يعتبر الوضع أكثر أهمية بالنسبة لسكان المناطق الريفية في الصحراء الكبرى، حيث يعيش حوالي % 82 منهم بدون كهرباء في عام 2014 في مناطق تتميز بالبُعد والكثافة السكانية المتناثرة[5]، حيث غالبا ما يكون امتداد الشبكات الوطنية صعبا من الناحية التقنية ومكلفا وكذا غير فعال. بالنسبة للسكان في إفريقيا جنوب الصحراء الذين يعيشون بالقرب من شبكةالكهرباء، فإن الكهربة التي توفرها الشبكة هي خيار ممكن لتحسين التوصيل بالكهرباء، ولكنها مشروطة بتكلفتها. ومع ذلك، في المناطق الريفية ذات الكثافة السكانية المنخفضة، بعيدا عن الشبكة، يمكن للأنظمة خارج الشبكة، والتي تشمل الشبكات المصغرة والأنظمة المستقلة، توفير الكهرباء بتكلفة أقل من الشبكة التقليدية، خاصة عندما يكون استهلاك الطاقة منخفضا. يعتمد اختيار التكنولوجيا خارج الشبكة بشكل كبيرعلى توافر الموارد المحلية والطلب على الكهرباء من المجتمع المحلي. وبالتالي فإن أكثر الأنظمة خارج الشبكة فعالية من حيث التكلفة لتلبية احتياجات الطاقة في إفريقيا هي أنظمة الطاقة الشمسية المنزلية. في الواقع، يقدر الخبراء أنه مع مستويات الإشعاع الشمسي في إفريقيا والذي يعتبر من بين أعلى المستويات في العالم، يمكن أن تنتج الألواح الشمسيةفي إفريقيا ضعف الكهرباء الذي تنتجه في أوروبا الوسطى. بالإضافة إلى ذلك، انخفض سعر الألواح الشمسية بنسبة80% منذ عام 2010 [5]، مما أتاح لمئات الآلاف من الأفارقة الحصول على لوحة شمسية صغيرة وبطارية لتلبية احتياجاتهم الأساسية من الطاقة.

إن حجم التحدي المتمثل في الوصول الواسع النطاق إلى الكهرباء في إفريقيا جنوب الصحراء الكبرى لا يقتضي مشاركة قوية من الجهات الفاعلة الوطنية فحسب، بل يتطلب أيضا تعاونا وثيقا مع الوكالات الدولية والبلدان المجاورة. وفي هذا السياق، قدم المغرب، عن طيب خاطر، الخيار الذي لا رجعة فيه لتقديم مساهمة قوية في بناء هذا الحق الأساسي في كل مكان في القارة الإفريقية.

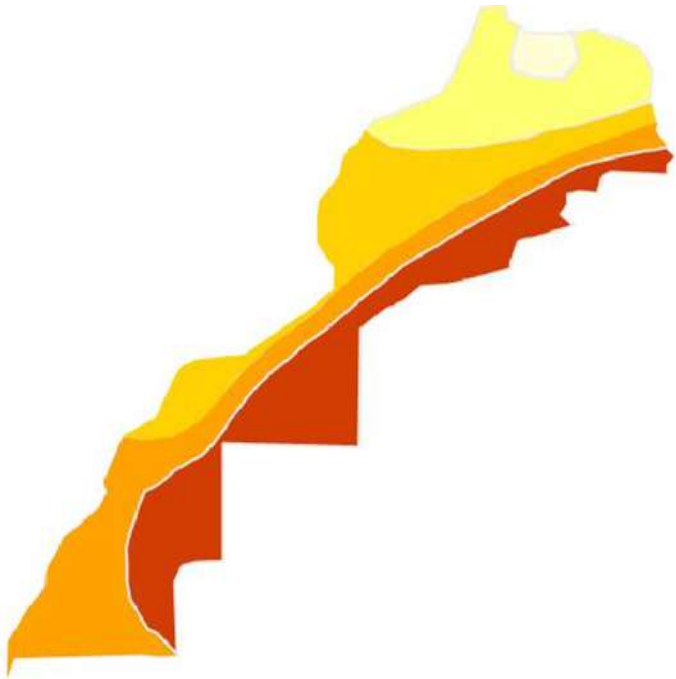
4. إمكانية الطاقات المتجددة في المغرب

أصبحت مصادر الطاقة المتجددة جزءًا متزايد الأهمية من مزيج الطاقة العالمي. وقد

انخرط المغرب في هذا الاتجاه وله ميزة التمتع بإمكانيات غنية خاصة مقارنة بالدول الأخرى. يعتبرالاستغلال الأمثل للإمكانات الغنية من الطاقات المتجددة منهجا لتخفيض الاعتماد على الطاقة الأحفورية ويضمن استقرار البلاد وكذا التخفيض من فاتورة المغرب الطاقية تجاه الدول المصدرة للطاقة.

1.4 تعريف إمكانات الطاقة الشمسية في المغرب

الطاقة الشمسية هي بالتأكيد أهم مصدر للطاقة المتجددة في المغرب. مع أكثر من 3000 ساعة في السنة من أشعة الشمس، أي إشعاع 5 ~ كيلو واط ساعة / متر مربع /اليوم. هذا الأخير يجعل المغرب يتمتع بمجال شمسي كبير.ويعتبر مصدر الطاقة هذا أحد الإمكانات الهامة بشكل خاص، خاصة في المناطق ذات قدرة إنتاج الكهرباء الضعيفة كما هو موضح في الشكل أسفله.



الشكل 1 : شدة الإشعاع الشمسي بمختلف المناطق بالمغرب

أطلق المغرب البرنامج المغربي للطاقة الشمسية "نور" بمدينة ورززات نظرا للإمكانيات الطاقية التي تعرفها المنطقة، وهذا البرنامج هو جزء من استراتيجية الطاقة التي تم وضعها وفقا للمبادئ والتوجيهات السامية لصاحب الجلالة. وقد تم رسم هذا البرنامج من خلال بناء

محطات نور للطاقة الشمسية في ورززات (510 ميجاواط بمركزات القدرة الشمسية (CSP) و 70 ميغاواط بالأنظمة الشمسية الكهروضوئية (PV)) ، ونور تافيلالت و أطلس (300 ميغاواط من PV) ، ونور ميدلت (300 ميغاواط من CSP و 300 ميغاواط من PV) ، ونورالعيون و بوجدور (100 ميغاواط من PV) ، ونور طاطا (300 ميغاواط من CSP و 300 ميغاواط من PV) ومحطات الطاقة الشمسية في المناطق الاقتصادية (150 ميغاواط من PV).

ويهدف هذا البرنامج، الذي تقدر تكلفته الإجمالية بنحو 9 مليارات دولار، إلى توليد 2000 ميغاواط من الكهرباء بالطاقة الشمسية بحلول عام 2020. ومن المؤكد أن هذه المحطات ستمكن المغرب من اقتصاد استهلاكه من الوقود الأحفوري بمليون طن من البترول سنويا، إضافة إلى خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بـ3.7ملايين طن سنويا[6].

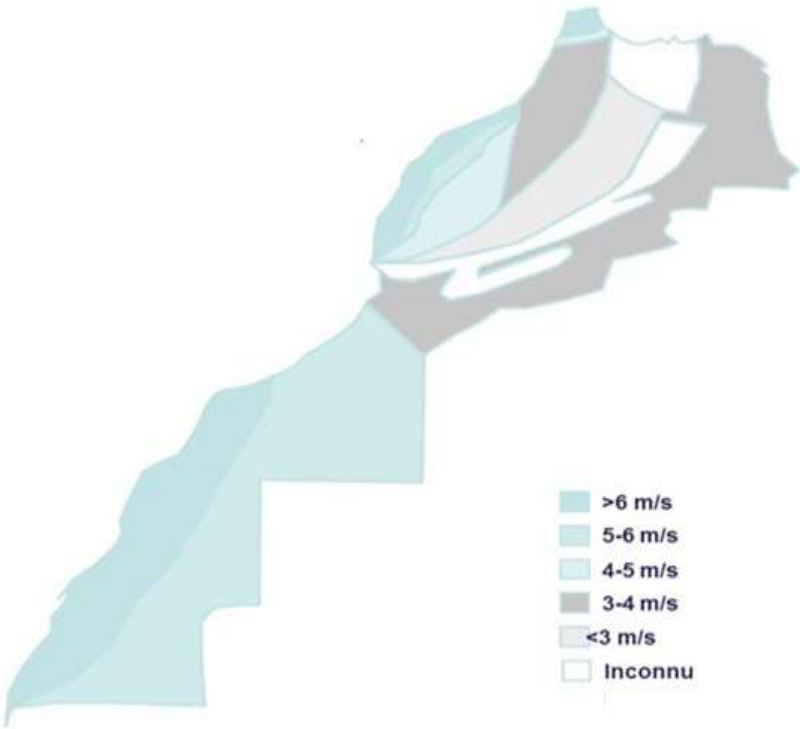
إطار المشروع :

- تعزيز الطاقات المتجددة لعموم الساكنة والشركات،
- تقليل فاتورة الكهرباء للساكنة،
- المساهمة في الحفاظ على البيئة،
- تقليل إنتاج الكهرباء من الوقود الأحفوري.

2.4 تعريف إمكانات الطاقة الريحية في المغرب

بالنسبة إلى طاقة الرياح، فإن لدى المغرب إمكانات تبلغ 25 جيغا واط، منها ما يقرب من 6 جيغا واط قابلة للتحقيق بحلول عام 2030 في مناطق محددة على الشاطئ حيث تتراوح سرعة الرياح بين 9 و 11 متر/ ثانية في المتوسط على ارتفاع 40 مترا من الأرض. فيما يتعلق بإمكانيات الرياح الساحلية المغربية، فإن التقديرات الأولى على طول الخط الساحلي البالغ طوله 3500 كيلومتر هي 250 جيغا واط (انظر الشكل 2).

يعتبر المشروع المغربي للطاقة الريحية جزءا من استراتيجية الطاقة الموضوعة وفقا للتوجيهات العليا الملكية، ويهدف هذا المشروع إلى إنجاز قدرة 2000 ميغاوات بحلول عام 2020، مما يسمح بإنتاج سنوي يقارب 6600 جيغا واط ساعة ، وهو ما يعادل % 26 من إنتاجنا الحالي للكهرباء. وهو يوفر 1.5 مليون طن سنويا، أو 750 مليون دولار أمريكي سنويا، ويجنب انبعاث 5.6 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنويا[5].



الشكل 2 : سرعة الرياح بمختلف مناطق المغرب

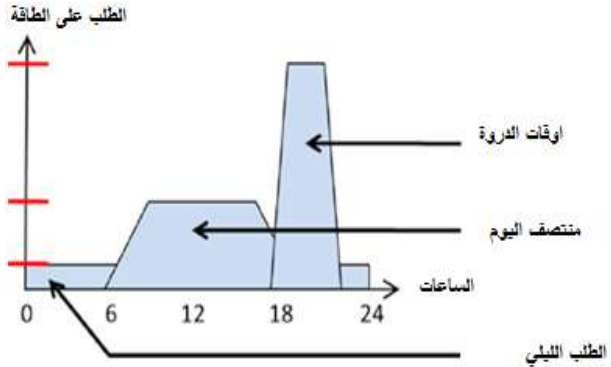
5. منهجية معتمدة في وضع نموذج الكهربة بواسطة تطبيق الطاقة الشمسية

1.5 السياق العام لاحتياجات الكهرباء في المناطق الريفية

يتكون عادة منحنى الطلب على الطاقة النموذجي لقرية ريفية من:

- ذروة كبيرة في المساء، والتي تتوافق بشكل أساسي مع استخدامات الإضاءة،
- طلب كبير في الصباح وبعد الظهر، والذي يشكل القاعدة.

عادة ما تتعلق القاعدة بالساعات الأولى من اليوم، ولكن يمكن أن تتضمن أحيانًا استهلاكا ليليا. في كثير من الحالات، تكون ذروة القوة في المساء تفوق بمرتين إلى خمس مرات القدرة القصوى في فترة القاعدة. الطلب على الطاقة الليلي محدود للغاية في المناطق الريفية (أو حتى غير موجود في القرى الصغيرة) وبالتالي فإن القدرة المطلوبة عادة ما تكون منخفضة للغاية في الليل، مقارنة بقمم المساء ومنتصف اليوم كما يوضحه الشكل 3.



الشكل 3 : منحنى الطلب على الطاقة النموذجي في المناطق الريفية [7].

2.5 مبدأ الكهربة بواسطة تطبيق الطاقة الشمسية

تتوقف فعالية أي أنظمة كهربائية شمسية بشكل أساسي على دقة تصميمها واستخدامها لأنها تؤثر بشكل مباشر على تكلفة وأداء النظام.

إن الغرض من دراسة أنظمة الطاقة الشمسية هو تحديد قوة المولد الكهروضوئي وقدرة البطارية، استنادا إلى بيانات الشمس المشرقة للموقع من ناحية والاحتياجات الكهربائية للمستخدم من ناحية أخرى.

لدراسة قياس النظام الكهربائي الشمسي يتم اتباع الخطوات التالية:

- تقدير القدرة الإجمالية باليوم (واط/ساعة/يوم) ،
- تقدير الإشعاع اليومي،
- اختيار الميل الأمثل وفقا للإمكانيات المحلية،
- تقدير سعة التخزين المطلوبة وفقًا للفترة اللازمة المراد استخدامها في حالة غياب الشمس.

يلخص الجدول التالي مختلف العناصر التي تكون نظام الكهربة بواسطة تطبيق الطاقة الشمسية والتي يجب دراستها و تحديد خصائصها بدقة.

العوامل التي يجب تحديدها	التعريف والخصائص
العوامل التي يجب أخذها بعين الاعتبار	بشكل عام، العوامل التي يجب أخذها بعين الاعتبار لتصميم النظام الكهربائي الشمسي عديدة وتتعلق ب: • المكان الذي سيتم فيه وضع مولد الطاقة الشمسية، • النظام الكهربائي الشمسي (وحدات، منظم، محول وبطاريات)، • الطلب على الطاقة.
العوامل المتعلقة بالنظام الكهربائي الشمسي	تعطى العوامل المتعلقة بالنظام الكهربائي الشمسي كمؤشر على مقدار حجم كفاءة التركيب، وهي تتعلق بالوحدات الكهربائية الشمسية وخلايا البطارية والمنظم والمحولات الموجودة في السوق.
العوامل المتعلقة بموقع التثبيت	يجب أن تكون البيانات معروفة لكل شهر من السنة. يمكن الحصول عليها من قبل منظمات الأرصاد الجوية الوطنية أو الحسابات (المسجلة بالكمبيوتر)، والتي تتطلب المعلومات الأولية التالية: • خط العرض، • الارتفاع، • انعكاسية الأرض، • أقل متوسط يومي للإشعاع في السنة، سواء تم قياسه أو حسابه.
العوامل المتعلقة بالألواح الشمسية	يتم إعطاء المعلومات في الظروف العادية (1000واط/مترمربع، درجة حرارية°C 25) من قبل الشركة المصنعة. المعلومات المتعلقة بالألواح الشمسية هي: • التوترالأقصى (فولط)، • التيار الأقصى (امبير)، • القدرة القصوى (واط).
العوامل المتعلقة بمنظم الشحن	لمنظم الشحن وظيفتان رئيسيتان: •حماية البطاريات ضد الشحن الزائد والتفريغ العميق. • الاستفادة المثلى من نقل الطاقة الكهروضوئية المولدة إلى المستخدم. يتم تحديد المنظم وفقا لتوتر وتيار الدخول.التوتر هو توتر المجال الكهروضوئي، والتيار هو الحد الأقصى للتحميل الذي من المرجح أن تقوم الوحدات بإنتاجه في وقت معين.
العوامل المتعلقة بالعاكس	العاكس هو جهاز يحول التيار المستمر (DC) إلى تيار متردد (AC)، مع اختيار دقيق للتردد. بالنسبة إلى العاكس يتم تحديد الكفاءة فقط، والتي يتم منحها أيضًا من قبل الشركة المصنعة.

تحديد نظام البطاريات	يقصد بها البطاريات الموصلة على التوالي أو التوازي أو كلاهما، وتتم أولا بتحديد الفترة اللازمة لاستخدام الكهرباء من البطاريات حتى يتم حساب الفترة اللازمة لشحنها من الألواح الشمسية في أوقات النهار أو الاستعانة بمولد كهربائي لشحنها في حالة غياب الشمس. ولا ننسى أهمية معرفة المواصفات التقنية للبطاريات والتي يمكن من خلالها تحديد ما إذا كانت البطاريات ملائمة لتشغيل الأحمال الكهربائية باستخدام النظام الشمسي أم لا، ومن أهم تلك المواصفات: تأثير درجة الحرارة – مقدار التفريغ (الفترة الزمنية اللازمة لسحب القدرة المستوعبة من البطارية) – القدرة المستوعبة من البطارية (العلاقة بين القدرة المخزونة في البطارية وتيار التفريغ في أوقات الطلب الأقصى) – دورات حياة البطارية – الصيانة اللازمة للبطارية – كفاءة البطارية.

الجدول 1 : أهم العناصر التي يتم دراستها و اختيارها لتوليد الطاقة بواسطة الألواح الشمسية

3.5 اختيار القرية المناسبة

تم اختيار قرية «بومهاوت» لاعتماد بياناتها في وضع نموذج للكهربة بواسطة تطبيق الطاقة الشمسية. هذه القرية تنتمي إلى جنوب المغرب، وتقع على مسافة 30 كيلومتر من مدينة «كلميم». يبلغ عدد سكان هذه القرية حوالي 300 نسمة. يعتبر مناخ هذه المنطقة شبه صحراوي، ولكنه أقل حرارة بكثيروأقل جفافا من المناطق الصحراوية النموذجية، وذلك بسبب التأثيرات المحيطية المعتدلة. بشكل عام، مناخ هذه القرية شبه قاحل. يتراوح متوسط درجة الحرارة بين 12 درجة مئوية في الشتاء و30 درجة مئوية في الصيف ولكن يمكن أن تنخفض بسهولة بأقل من 5 درجات مئوية أو أكثر من 40 درجة مئوية. هذه القرية مزودة بشبكة الكهرباء و تستفيد من موارد طاقية شمسية مماثلة للبلاد الإفريقية مما يسمح لنا بإجراء مقارنة بين الكهرباء بالطريقة التقليدية (شبكة الكهرباء) وكذا اعتماد الكهربة بواسطة الألواح الشمسية.

الشكل 4 :قرية «بومهاوت» التي تنتمي إلى جنوب المغرب،
وتقع على مسافة 30 كلم من مدينة كلميم

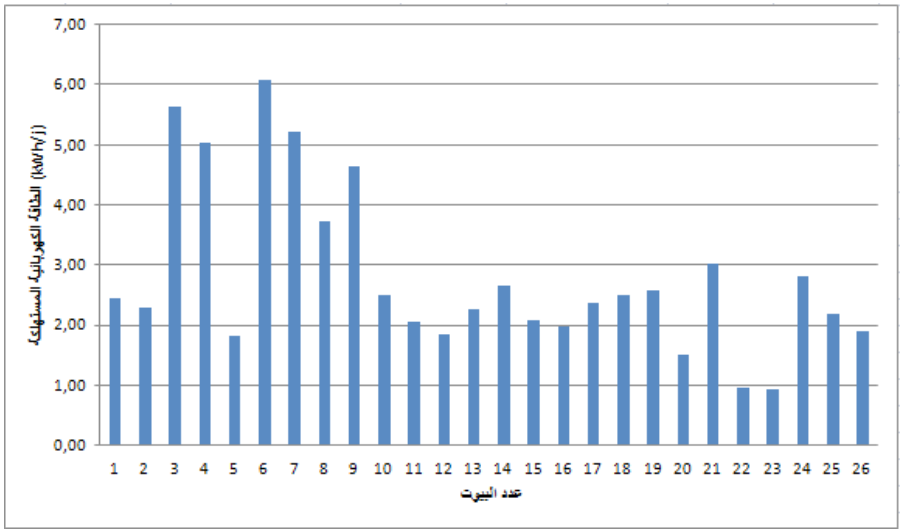
4.5 تقييم للاحتياجات الطاقية لقرية «بومهاوت»

من أجل وضع نظام للكهربة بواسطة الطاقة الشمسية، فإن الخطوة الأولى هي تحديد احتياجات الطاقة للكهرباء، وقياس الاستهلاك اليومي. ولهذا السبب، أجرينا استطلاعا لتحديد احتياجات الكهرباء لهذه القرية. لإجراء هذا الاستطلاع، قمنا بزيارة 26 منزلا لمعرفة معلومات حول الآلات الكهربائية التي يستخدمونها، وعدد ساعات تشغيلها وأي معلومات مفيدة لتحديد أبعاد نظام الكهربة بواسطة الألواح الشمسية. خلال هذا الاستطلاع استخدمنا النموذج التالي لكل منزل سكني. لقد قمنا بتلخيص نتائج تقييم احتياجات الطاقة التي تم الحصول عليها بعد

الاستطلاع في الرسم البياني 3.

جهاز استقبال كهربائي	عدد الأجهزة	القدرة الكهربائية(واط)	عدد ساعات التشغيل
جهاز1: ثلاجة	1	150	8
مصابيح فلورسنت	8	30	0.25
مصابيح متوهجة	8	60	0.5
مصابيح متوهجة	4	80	1
جهاز 2 : تلفاز	1	60	5
الاستهلاك اليومي		2.12 كيلوواط ساعة	

الجدول 2 : نموذج استهلاك الطاقة المنزلية الذي تمت تعبئته من طرف فريق البحث

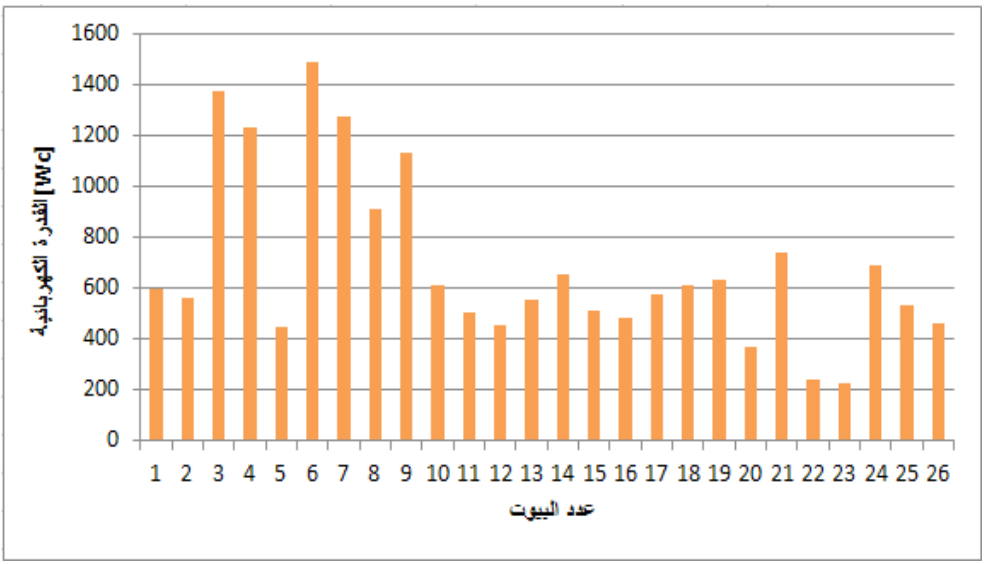


الرسم البياني 3 : تقييم الاحتياجات في مجال الطاقة التي تم الحصول عليها بعد الاستطلاع الذي أجري على 26 منزلا سكنيا بقرية بومهاوت.

5.5 تقدير القدرة لإنتاج الطاقة الشمسية

لتغطية احتياجات الطاقة لكل منزل سكني، تم اعتماد الاستطلاع الذي تم إجراؤه من طرف فريق البحث، حيث إن تحديد قدرة الإنتاج تعتبر مرحلة مهمة لتحديد أبعاد نظام الكهربة بواسطة الألواح الشمسية. يتم تعريف هذه الأخيرة استنادًا إلى معدل الإشعاع اليومي الذي يساوي 5.4 كيلوواط ساعة /متر مربع/اليوم لهذه القرية. يمثل الرسم البياني 4 القدرة الطاقية

لكل منزل سكني حيث يختلف الاستهلاك من منزل لآخر.



الرسم البياني 4 : القدرة الكهربائية المتعلقة ب 26 منزلا سكنيافي قرية بومهاوت

6.5 استخدامالبرنامج المعلوماتي «PVsyst»

PVsystهو برنامج كمبيوتر للدراسة وتحليل البيانات للأنظمة الشمسية الكاملة. وهو يتعامل مع الأنظمة الكهروضوئية القائمة بذاتها والمتصلة بالشبكة وشبكات التيار المستمر (DC)، ويتضمن بيانات مكونات أنظمة الأرصاد الجوية، بالإضافة إلى مكونات أنظمة الطاقة الشمسية العامة. هذا البرنامج موجه لاحتياجات المهندسين المعماريين والمهندسين والباحثين. وهو أيضا مفيد جدا للتدريب التربوي.

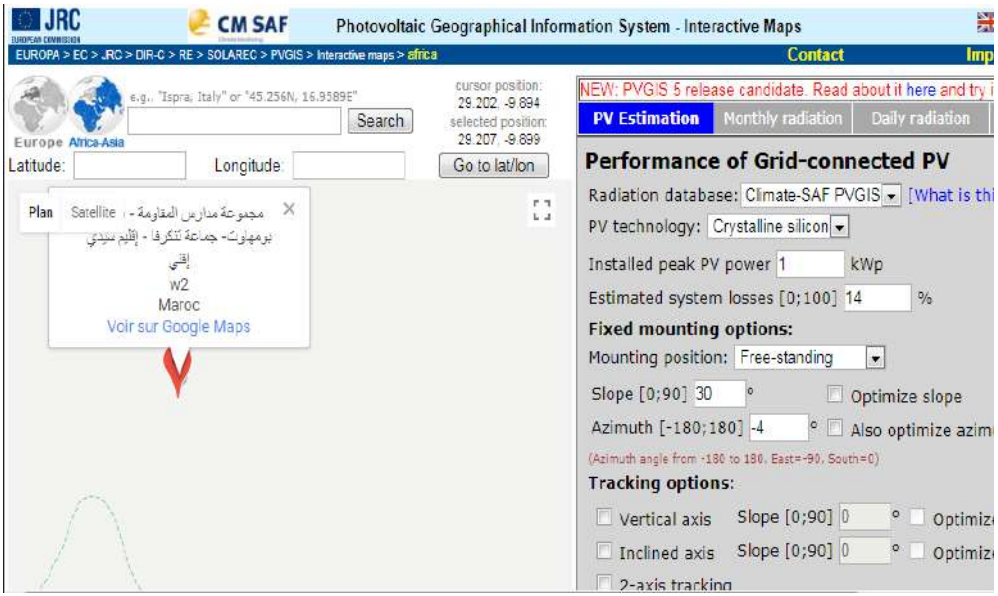
بناءعلى احتياجات الطاقة في القرية التي تم الحصول عليها عن طريق الاستطلاع، وباستخدام برنامج PVsyst الذي يسمح لنا بتحديد و تقييم مكونات النظام الشمسي من أجل كهربة هذه القرية ، فإن الخطوات الواجب اتباعها لهذا البعد هي كالتالي :

- تحديد احتياجات المستخدم: الجهد، وقوة استقبال الطاقة الكهربائية ومدد الاستخدام،
- تشفير الطاقة الشمسية القابلة للاسترداد عن طريق الموقع،
- تعريف الوحدات الشمسية : جهد التشغيل، التكنولوجيا، الطاقة الكلية التي سيتم تركيبها،
- تعريف سعة البطارية واختيار التكنولوجيا،

- اختيار منظم،
- خطة الأسلاك الكهربائية.

7.5 تقدير الإشعاع الشمسي بواسطة PVGIS

تعتبر دراسة الإشعاع الشمسي ضرورية لاستغلال موارد الطاقة الشمسية بشكل فعال. ويعتمد الإشعاع الذي يستقبله مجمع الطاقة الشمسية أيضًا على مستوى أشعة الشمس للموقع المدروس وتوجهه بالنسبة للشمس. تتلقى الألواح الشمسية الثابتة الطاقة القصوى عندما توجهجنوبا وتميل بزاوية تكاد تكون مساوية لخط العرض لموقع التثبيت، بحيث يكون الإشعاع الشمسي متعامدا مع الألواح الشمسية. ومن أجل تحسين نظام استقبال جل الأشعة الشمسية، من الضروري اللجوء إلى تقنية تتبع المسار الشمسي والتي أصبحت الأكثر استعمالا نظرا لفعالية إنتاجها. وللعثور على الإشعاع الشمسي، استخدمنا برنامج PVGIS الموجود على الإنترنت والذي يعتبر متوافقا تماما مع برنامج PVsyst.

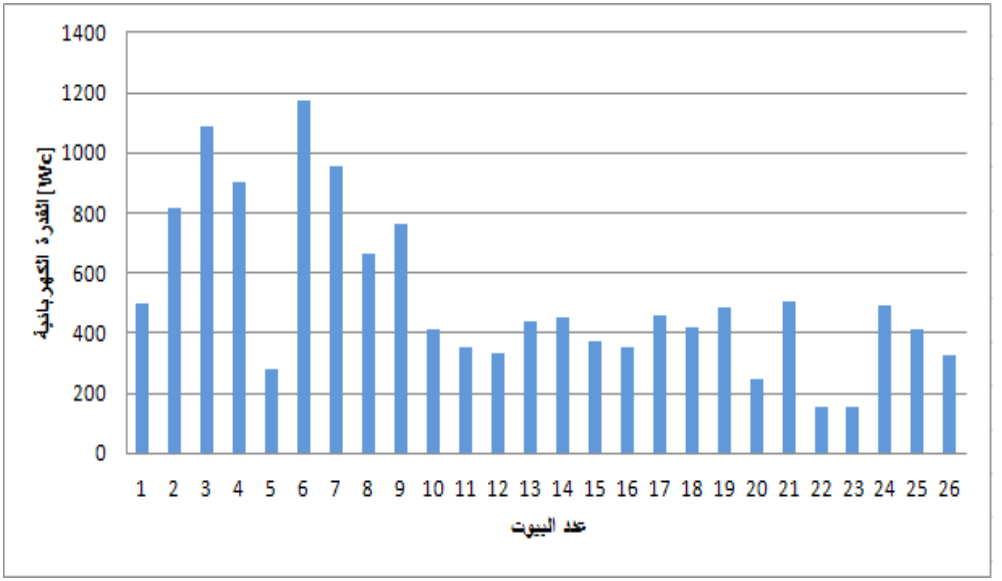


الشكل 5 : صورة لواجهة برنامج PVGIS

يمثل الرسم البياني أدناه القدرة الكهربائية المتحصل عليها بواسطة PVsystلكل منزل سكني. استنادا إلى الاستطلاع الذي أجريناه، فإن النتائج الأولية التي قمنا بحسابها في الرسم البياني 4 قد

تم التحقق منها بواسطة برنامج PVsyst أيضا في الرسم البياني 5. يمكننا ملاحظة أن القدرة التي يجب تثبيتها تبلغ حوالي 20 كيلوواط ذروة، وهي كافية لتغطية الاحتياجات الطاقية لقرية بأكملها. ولذلك، يبدو أن كهربة الريف بالتطبيقات الشمسية هي الحل المناسب لإمداد هذه القرية التي لا تتجاوز احتياجاتها من الطاقة 73 كيلوواط الساعة في اليوم.

من المؤكد أن هذه الفرضيات ستثبت صحتها من خلال دراسة اقتصادية لكهربة الريف عن طريق الطاقة الشمسية، والتي هي قيد التنفيذ، لأن هذه المنطقة لديها إمكانات شمسية كبيرة يجب ترشيدها لتوليد الطاقة الكهربائية التي تعتبر الحل الأمثل عوض تمديد الأسلاك الكهربائية على مسافة 30 كيلومترا لأجل ربط هاته القرية بمدينة «كلميم».



الرسم البياني 5 : القدرة الكهربائية المتحصل عليها من قبل PVsyst لـ 26 منزلا سكنيا

خاتمة

على الرغم من أن الكهربة بواسطة الشبكة لها حدود اقتصادية في معظم الحالات التمثيلية في العالم الريفي، فإن كهربة هذه المنطقة بواسطة الطاقة الشمسية يمكن أن توفر حلا واقعيا وملائما لخصائص المنطقة .

وقد أدت تجربة المغرب في هذا المجال إلى تطوير قطاع جديد لكهربة الريف: الكهربة اللامركزية. وبناء على الاحتياجات التي يجب تلبيتها، فإن هذا القطاع يعتبر الموارد المحلية

المتاحة من الطاقة الشمسية أو الريحية لتحديد الاحتياجات الطاقية متكيفة مع الطلب. وهو يقوم على مشاركة السكان المحليين في تمويل وإدارة واستغلال معدات الإنتاج. و يقتصر دور الدولة على الاستثمار في معدات الإنتاج والتوزيع، كما هو الحال في كهربة الريف التقليدية.

أما على المستوى الإفريقي،فقدتمكن المغرب عن طريق المكتب الوطني للكهرباء والماء الصالح للشرب من نقل إنجازاته التقنية وخبراته الناجحة من خلال برنامج الكهربة القروية الشمولي من أجل تطبيقها في المناطق الإفريقية.

بعد تحديد القدرة الكهربائية التي يجب تثبيتها بالإضافة إلى الشروع في اختيار المعدات التي سيتم وضعها، سيكون من الضروري إجراء دراسة اقتصادية باعتبارها جزءًا لا غنى عنه لتقييم مدى نجاعة وفعالية مشروعنا، لاسيما مدى قدرته على استرداد نفقات الاستثمار والتشغيل في أقصر وقت ممكن.

نهدف في نهاية هذا العمل إلى تطوير نموذج لكهربة الريف يمكننا نقله إلى قرى في إفريقيا جنوب الصحراء الكبرى التي تجد صعوبات في أن تكون مدعومة بالكهرباء. وبالتالي فإننا نحتاج إلى أن نستنتج من خلال هذه الدراسة أن كهربة الريف بالطاقة الشمسية هي الحل الأنسب لتغطية الاحتياجات في مجال الطاقة لهذه المناطق القاحلة.

مراجع

[1] B. Michelon, A. Nejmi, J. Dos Ghali, A. D. Saïdi, and J. C. Bolay, ”Electrification of isolated areas by interconnecting renewable sources (ERD project): lessons learned“ 2008 IEEE Int. Conf. Sustain. Energy Technol. ICSET 2008, pp. 684–689, 2008.

[2] I. Nygaard and T. Dafrallah, ”Utility led rural electrification in Morocco: Combining grid extension, mini-grids, and solar home systems“ Wiley Interdiscip. Rev. Energy Environ., vol. 5, no. 2, pp. 155–168, 2016.

[3] B. FASSI FIHRI, ”Le Maroc et l’Afrique pour une mobilisation nationnale d’envergue“ Institut Amadeus, p. 113_132, 2014.

[4] ”Site web officiel de l’ONEE - Branche Electricité“ [Online]. Available: http://www.one.org.ma/. [Accessed : 04-Sep-2018].

[5] M. ALAOUI and M. BAHRI, ”Defis et opportunites de developpement rural en afrique subsaharienne“ pp. 46–78, 2018.

[6] F. BEN-BAH, ”Etude et dimensionnement de l’installation Photovoltaïque connectée au réseau à la Faculté des sciences-Rabat“ 2016.

[7] G. Léna, ”Mini-réseaux hybrides PV-diesel pour l’électrification rurale“ 2013.

مردودية المحطة الشمسية الحرارية نور ورززات I

إعداد : الأستاذ الدكتور عبد الفتاح بغدادي

جامعة محمد الخامس، الرباط، المملكة المغربية

الملخص

في الرابع من فبراير 2016، افتتح ملك المغرب محمد السادس المحطة الشمسية الحرارية نور I بمدينة ورزازات. هذا المحطة الضخمة، ذات المرايا الأسطوانية المقعرة من سعة 160 ميغاواط، تعد أول جزء تم إنجازه لحد الآن من ضمن الأجزاء الأخرى التي هي في طور الإنجاز و التي سوف تشكل مع بعضها أكبر مجمع للطاقة الشمسية الحرارية في العالم من حيث القدرة الإنتاجية للكهرباء. فمن المنتظر أن تصل هذه القدرة الانتاجية إلى أكثر من 500 ميغاوات، من شأنها أن توفر الطاقة الكهربائية النظيفة لقرابة مليون أسرة مغربية. إنجاز هذا المجمع الشمسي الهائل يندمج ضمن أطوار و مراحل تفعيل الاستراتيجية الوطنية للطاقات المتجددة في المملكة المغربية. و تهدف هذه الاستراتيجية إلى اعتماد 42٪ من القدرة الانتاجية الإجمالية للطاقة الكهربائية على الطاقات النظيفة والمستدامة قبل نهاية سنة 2020، 14٪ منها تعتمد على تقنيات تحويل الطاقة الشمسية [1]. لهذا يعتبر المغرب نموذجا يحتذى به، سواء على مستوى البلدان المغاربية أو على نطاق أوسع في العالم العربي والقارة الأفريقية، في مجال توظيف الطاقات المتجددة من أجل توفير الأمن الطاقي للبلاد. فهل هذا النموذج فعلا جيد وصائب؟ هل يمكن أن يكون مرجعا أو مصدر إلهام للآخرين ؟ هل ينبغي تطبيقه كما هو في جهات أخرى و بلدان مشابهة ؟ وإذا لم يكن الأمر كذلك، ما هي الدروس التي يمكن استخلاصها من هذه التجربة المغربية المثيرة ؟

1. مقدمة

احتياجات المغرب من الطاقة تفوق بكثير إنتاجاته من النفط والغاز، فهو يعتمد بشكل كبير على استيراد الموارد الطاقة لتلبية جل احتياجاته. مع استهلاك يومي يقدر ب 000 123 برميل من النفط و 560 مليون متر مكعب من الغاز، يعد المغرب حاليا أكبر مستورد لموارد الطاقة الأحفورية في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا (MENA). في السنوات الأخيرة، استورد المغرب 95٪ من احتياجاته الطاقية في شكل وقود أحفوري، بدعم مالي عمومي يتراوح بين مليار و أربعة مليارات دولار سنويا. ويستمر الطلب على الطاقة الأولية في النمو حيث ازداد في المتوسط بنسبة 7.2٪ بين عامي 2002 و 2012. ومن أجل متطلبات النمو الاقتصادي والتنمية الصناعية بالمغرب، فمن المتوقع أن يرتفع هذا الطلب ثلاث مرات بحلول سنة 2030، كما أن استهلاك الكهرباء مرشح هو أيضا ليتضاعف أربع مرات تقريبا في حدود السنة نفسها.

لحسن الحظ، فإن المغرب ماض بكل ثقة و بخطى حثيثة في إنجاز برنامجه الشمسي الضخم والاستراتيجي الذي يعرف باسم "نور" باللغة العربية أو "NOOR» باللغة الفرنسية. الهدف

الرئيسي من هذا البرنامج هو إنجاز 2000 ميغاواط على الأقل من قدرات المغرب في توليد الكهرباء، بالاعتماد على استغلال طاقته الشمسية الهائلة، قبل نهاية سنة 2020. هذا البرنامج الكبير والطموح ليس إلا جزءا من الاستراتيجية المغربية الكبرى والمتميزة في مجال استغلال الطاقات المتجددة على امتداد 20 سنة (2010 - 2030). و تهدف هذه الاستراتيجية الوطنية الكبرى إلى تحسين أمن إمدادات الطاقة الكهربائية في المملكة والحد من الاعتماد على استيرادها من الخارج على المدى الطويل. كما أنها تراهن على تنويع مصادر الإنتاج من خلال استغلال الطاقات المتجددة و الرفع من حصتها في توليد الطاقة الكهربائية إلى نسبة 42٪ قبل نهاية سنة 2020 و 52٪ قبل نهاية 2030، مقابل أقل من 15٪ في الوقت الراهن. في نهاية المطاف، وحسب الدراسات المنجزة والتوقعات سيوفر مشروع الطاقة الشمسية «نور» للمغرب حوالي مليون طن من المكافئ النفطي (Tonnes of Oil Equivalent, TOE) من الموارد الطاقية وسيمكنه من اجتناب انبعاث 3.7 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنويا. كما أنه سيساعده فعليا على تطوير وتنويع صناعاته المحلية في مجال الطاقات المتجددة.

يمثل المجمع الشمسي «نور ورززات» أو «NOORo» بالفرنسية (يشير»o» إلى أول حرف من كلمة «ouarzazate» وهي الترجمة الفرنسية لكلمة «ورززات») أول مرحلة رئيسية في مسار تفعيل البرنامج الشمسي الاستراتيجي المغربي وإنجازه الفعلي على أرض الواقع. يقع هذا المجمع على بعد حوالي 10 كيلومترات من مدينة ورززات المغربية و من المنتظر أن تبلغ طاقته الإنتاجية الإجمالية 510 ميغاوات قبل نهاية سنة 2020. عند اكتمال إنجازه كليا، سوف يمكن مجمع «نور ورززات» من حجب 762 ألف طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون سنويا و 19 مليون طن على امتداد 25 عامًا من تشغيله. و يعتبر المجمع الشمسي «نور ورززات» مكونا أساسيا ضمن البرنامج الضخم والاستراتيجي «نور» للطاقة الشمسية بالمغرب حيث إن مجمعات شمسية أخرى سوف ترى النور في المستقبل القريب مثل «نور ميدلت» و «نور طاطا» وسيكون لديها ما يميزها عن غيرها.

تعد محطة الطاقة الحرارية الشمسية «نور ورززات I» أو «NOORo I» الجزء الأول من مجمع الطاقة الشمسية الكبير «نور ورززات». هذه المحطة تعمل على تركيز الطاقة الشمسية (CSP) باستخدام المرايا الأسطوانية المقعرة «cylindro-parabolic mirrors". وهي حاليا الأكبر من نوعها في العالم بطاقة إنتاجية تصل إلى 160 ميغاواط. و لديها جهاز لتخزين الطاقة الحرارية المنتجة يسمح لها بالعمل بكامل طاقتها لمدة 3 ساعات دون إشعاع شمسي (بعد غروب الشمس أو خلال الطقس الغائم). وقد تم فعلا تشغيلها تجاريا منذ فبراير 2016. وبهذا تكون "نور ورززات I» من أولى محطات الطاقة الشمسية الحرارية الضخمة التي يتم تسليمها

واستعمالها في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا.

في هذه الدراسة سنركز على محطة الطاقة الحرارية الشمسية «نور ورززات I» التي تعد الأولى التي تم فعلا إنجازها من ضمن الأجزاء الأربعة لمجمع «نور ورززات» الكبير. سنناقش خصوصا مردوديتها من جميع الجوانب الأساسية و الهامة.

2. نشأة محطة الطاقة الشمسية نور ورززات I

في نوفمبر 2009 قدمت الحكومة المغربية، بأمر من ملك المغرب محمد السادس وتحت إشرافه ورئاسته الفعلية، الخطة الشمسية المغربية من أجل إنتاج 2 جيجاوات من قدرة توليد الطاقة الكهربائية النظيفة باستخدام الطاقة الشمسية قبل نهاية سنة 2020. تم إطلاق هذه الخطة لتقليل اعتماد المغرب على موارد الطاقة المستوردة (حوالي 95٪ من احتياجاته الطاقية) فضلا عن تطوير موارد وطنية إيكولوجية ومتوفرة. تم إنشاء الوكالة المغربية للطاقة المستدامة "مازن" أو "MASEN» في عام 2010 لدعم نشر مشاريع الطاقة الشمسية على نطاق واسع في الأراضي الوطنية للمملكة. تضمن الوكالة «مازن» توجيه تنفيذ البرنامج. كما أنها مسؤولة عن الترويج لمصادر الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية على نطاق واسع. و من خلال مشاريع متكاملة ومصممة بشكل جيد تهدف «مازن» كذلك إلى:

- تزويد البلاد بشبكة صناعية تنافسية لخلق قيمة مضافة وفرص عمل،
- تطوير قدرات البحث العلمي وتوظيفه الجيد في خدمة المؤسسات الصناعية،
- تعزيز التدريب المتخصص في الطاقات المتجددة،
- المساهمة في التنمية المحلية حول المشاريع المحدثة.

مجمع الطاقة الشمسية "نور ورززات" أو "NOORo» هو جزء من هذه الخطة الشمسية الوطنية. و يتكون هذا المجمع من أربع محطات للطاقة الشمسية تعتمد على تقنيات مختلفة. فهناك «نور ورززات I» و «نور ورززات II» اللتان تستخدمان تقنية تركيز الأشعة الشمسية بواسطة المرايا الأسطوانية المقعرة (160 ميغاوات من القدرة الإنتاجية مع إمكانية تخزين الطاقة الحرارية المنتجة لمدة 3 ساعات بالنسبة لمحطة «نور ورززات I» و 200 ميغاوات من القدرة الإنتاجية مع إمكانية تخزين الطاقة الحرارية المنتجة لمدة 8 ساعات بالنسبة لمحطة «نور ورززات II«). ثم هناك المحطة الثالثة «نور ورززات III» التي تعتمد على تقنية تركيز الأشعة الشمسية بواسطة حقل من المرايا العاكسة الموجهة واستقبالها عند قمة برج شمسي (150 ميغاوات من القدرة الإنتاجية مع إمكانية تخزين الطاقة الحرارية المنتجة لمدة 8 ساعات). أما بالنسبة للمحطة الرابعة «نور ورززات IV»، فقد تم اختيار التكنولوجيا الكهروضوئية بقدرة

إنتاجية إجمالية تصل إلى 60 ميغاوات. بعد المناقصات الدولية التي أطلقتها «مازن»، تم منح إنجاز كل مشروع للمرشح الذي يقدم أقل سعر للكهرباء المولدة. وهكذا تم منح عقد إنجاز محطة «نور ورززات I» للشركة السعودية ACWA Power بارتباط مع الشركات الإسبانية Aries IS وTSK EE [2]. ثم تم منح عقد انجاز المحطتين «نور ورززات II « و «نور ورززات III» لائتلاف مكون من مجموعة ACWA Power وشركة Sener الإسبانية [3]. ولم يتم بعد منح عقد إنجاز المحطة الرابعة «نور ورززات IV». وتقدر التكلفة الإجمالية لإنجاز المشاريع بمبلغ 1438 مليون دولار بالنسبة لمحطة «نور ورززات I» و 2677 مليون دولار بالنسبة للمحطتين «نور ورززات II « و «نور ورززات III».

تم توقيع عقد من نوع «BOOT» (Built, Own, Operate, Transfer) مدته 25 عامًا بين «مازن» و «الكونسورتيوم» الفائز بإنجاز كل مشروع على حدة. العقود من نوع BOOT هي عبارة عن شراكات بين القطاعين العام والخاص (PPP) تتصرف فيها «مازن» كهيئة عامة (شريك عام) و الشركات المنجزة للمشاريع كمنتج مستقل للطاقة (شريك خاص). وبالتالي، بموجب عقود PPP هذه، تشتري «مازن» الكهرباء المنتجة بسعر ثابت من «الكونسورتيوم» (1.62 درهم/ كلوات-ساعة بالنسبة لمحطة «نور ورززات I» و 1.36 درهم/كلوات- الساعة بالنسبة لمحطة «نور ورززات II» و 1.42 درهم/كلوات- الساعة بالنسبة لمحطة «نور ورززات III».

«نور ورززات I» هي عبارة عن محطة حرارية شمسية مزودة بمرايا أسطوانية مقعرة تقوم بتركيز الأشعة الشمسية المباشرة. قدرتها الإنتاجية الإجمالية للطاقة الكهربائية هي 160 ميغاوات. التكنولوجيا المعتمدة في هذا المحطة تشمل العناصر التالية:

- تقوم عدة صفوف من المرايا الأسطوانية المقعرة (تسمى أيضا حقول تركيز الطاقة الشمسية) بتركيز الأشعة الشمسية المباشرة على خط أنابيب فولاذي يحتوي على سائل ناقل للحرارة (HTF). كل المرايا قابلة للتحرك تلقائيا وأوتوماتيكيا لتتبع مسار الشمس طوال اليوم.
- يتم ضخ HTF إلى حقول تركيز الطاقة الشمسية حيث يتم تسخينه قبل تحويله إلى جهاز مولد البخار حيث يقوم بنقل حرارته لتبخير الماء.
- يُستخدم البخار المتحصل عليه في إدارة التوربين البخاري التقليدي الذي بدوره يقود التوربينات المولدة للطاقة.
- يتم توصيل الكهرباء إلى محول يقوم بحقنها في شبكة التوزيع.

محطة الطاقة الشمسية الحرارية "نور ورززات I» هي المحطة الوحيدة التي بدأ تشغيلها حتى الآن. سنحاول فيما يلي تحليل هيكلها المالي من أجل تقييم ربحية المشروع. تجدر الإشارة

أيضًا إلى أن عقود «نور ورززات II» و «نور ورززات III» مشابهة لسابقتهما «نور ورززات I»، وأنها جميعها جزء من منطق الشراكة بين القطاعين العام والخاص.

كانت عملية التمويل و مصادره حاسمة لإنجاز المشروع والاقتناع بأهميته و بجدواه. عند تحليل هذه المسألة، يبدو أن المشروع تم تمويله بشكل رئيسي من قبل المؤسسات المالية الدولية (البنك الإفريقي للتنمية، بنك الاستثمار الأوروبي، البنك الأوروبي للإنشاء والتعمير) ووكالتي التنمية الفرنسية والألمانية على شكل قروض من 20 الى 40 سنة كما هو مبين في الجدول التالي [5]:

FINANCING

	Original Amount (US$)	Revised Amount (US$)	Actual Disbursed (US$)
World Bank Financing			
IBRD-80880	200,000,000	500,000	469,865
TF-10916	97,000,000	97,000,000	97,000,000
Total	**297,000,000**	**97,500,000**	**97,469,865**
Non-World Bank Financing			
Borrower	474,000,000	168,000,000	168,000,000
FRANCE: French Agency for Development	136,000,000	103,000,000	103,000,000
African Development Bank	236,000,000	233,000,000	233,000,000
EC: European Investment Bank	156,000,000	120,000,000	120,000,000
GERMANY: KREDITANSTALT FUR WIEDERAUFBAU (KFW)	136,000,000	133,000,000	133,000,000
Total	**1,138,000,000**	**757,000,000**	**757,000,000**
Total Project Cost	**1,435,000,000**	**854,500,000**	**854,469,865**

توزيع تمويل المرحلة الأولى من المشروع "نور ورززات I»
وفقًا للبنك الدولي بالدولار الأمريكي [5]

إذا قمنا بتحليل المخطط المالي لإنجاز المحطة بشكل دقيق، سوف نجد أنه يمكن تقسيمه إلى مرحلتين على النحو التالي: مرحلة بناء المحطة ومرحلة تشغيلها [6].

مخطط مرحلة البناء: تعتبرالشركة المالكة للمحطة الشمسية "نور ورززات I» من صنف SPC أي «Solar Power Company». تم إنشاؤها خصيصا لإنجاز هذا المشروع و هي مملوكة بنسبة 75٪ لكونسورتيوم المؤسسات الخاصة بقيادة ACWA Power و بنسبة 25٪ للوكالة «مازن» من خلال شركتها الفرعية «مازن كابيتال». تم إنجاز المحطة بتمويل من قبل

المؤسسات المالية الدولية على شكل ديون من خلال وساطة «مازن»: المؤسسات المالية الدولية تقرض «مازن» التي بدورها تقرض الشركة المالكة للمحطة SPC.

مخطط مرحلة التشغيل: تشتري الوكالة "مازن" الكهرباء التي تنتجها المحطة من الشركة المالكة SPC بسعر ثابت (من خلال عقد شراء الطاقة PPA بقيمة 1.62 درهم / كلوات- ساعة) وتبيعه بسعر السوق إلى المكتب الوطني للكهرباء والماء الصالح للشرب (ONEE) بالمغرب. أما الفرق في السعر فهو مدعوم من طرف المالية العمومية للدولة المغربية كما سنراه لاحقا.

3. دور "مازن" المحوري

تعتبر «مازن» من الناحية القانونية شركة وطنية ذات مسؤولية محدودة مملوكة من طرف أربع مؤسسات هي: الحكومة المغربية، المكتب الوطني للكهرباء والماء الصالح للشرب، صندوق الحسن الثاني للتنمية الاقتصادية والاجتماعية وشركة الاستثمارات الطاقية (SIE). كل واحدة من هذه المؤسسات الوطنية تملك حصة 25٪ من رأسمال الشركة. «مازن» مسؤولة عن دراسة الجدوى، وتصميم وتطوير وتمويل مشاريع الطاقة الشمسية في المغرب على أساس كل حالة على حدة، فضلا عن المساهمة في الخبرات والبحوث في صناعة الطاقة الشمسية. ويعد إنشاء «مازن» و تحديد أدوارها المتعددة في إنجاز هذا النوع من المشاريع الضخمة والمكلفة الدعم السياسي الكامل للحكومة المغربية وقدرتها على حماية الشركات الأجنبية المتدخلة من تضارب المصالح. الجدول التالي يوضح الأدوار العديدة التي لعبتها «مازن» في مشروع إنجاز المحطة الشمسية «نور ورززات I». كما يوضح الرسم البياني أدناه مكونات العقد الرئيسية للمشروع.

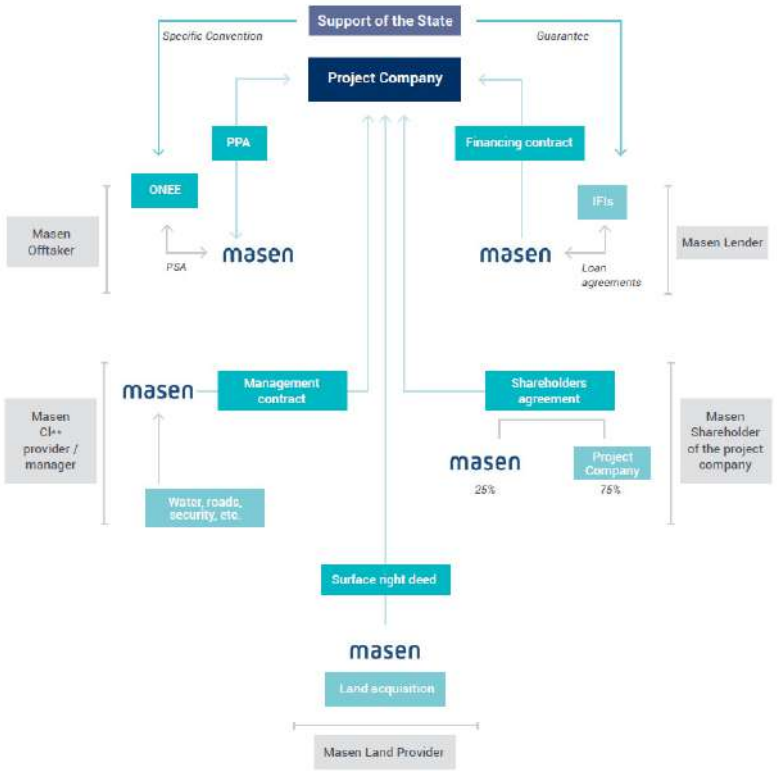


Diagram courtesy of MASEN

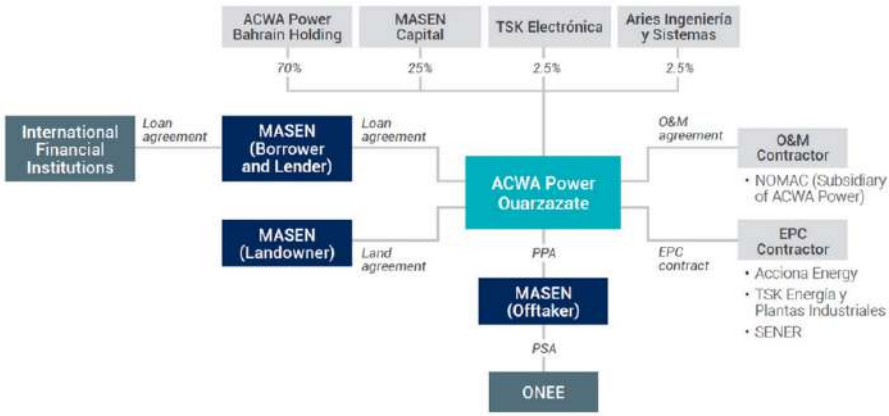


Diagram acknowledgement: Norton Rose Fulbright

4. مردودية المجمع نور ورززات I.

كما تمت الإشارة إليه سابقا، تقوم شركة "مازن" بشراء الكهرباء التي تنتجها محطة "نور ورززات 1" من الشركة المالكة SPC بسعر ثابت متفاوض عليه، ثم تبيعها للمكتب الوطني للكهرباء والماء الصلح للشرب (ONEE) بسعر السوق الذي هو أقل بكثير من سعر التكلفة. فارق السعر تتحمله خزينة الدولة المغربية وحدها. بالإضافة إلى ذلك، لدى «مازن» التزام تعاقدي للحفاظ على توازن مالي على الرغم من بيع الكهرباء المنتجة بسعر أقل من التكلفة. لذلك تلجأ الدولة المغربية إلى الاقتراض بشكل منفصل من البنك الدولي والمؤسسات المالية الدولية الأخرى لضمان هذا التوازن المالي.

توضح الجداول أدناه فوارق الأسعار الموجودة بين سعر الكهرباء التي توفرها الشبكة (سعر البيع الذي يختلف حسب مستوى الاستهلاك ونوع المستهلك) وسعر الكهرباء التي تنتجها محطة «نور ورززات I» (سعر الشراء). يتم تغطية فوارق الأسعار هذه بمنح من الحكومة المغربية وقرض دعم تشغيلي من البنك الدولي [7].

قطاع السكن				
فترة الفوترة الشهرية	سعر الشراء	سعر الشبكة	قيمة الدعم لكل كلوات بالدرهم	الفارق بالمقارنة مع تكافؤ الشبكة
0 à 100 kWh	1.62	0.901	0.719	80 %
101 à 150 kWh	1.62	1.037	0.583	56 %
151 à 200 kWh	1.62	1.037	0.583	56 %
201 à 300 kWh	1.62	1.1282	0.4918	44 %
301 à 500 kWh	1.62	1.3351	0.2849	21 %
> 500 kWh	1.62	1.542	0.078	5 %

جدول قيم الدعم في كهرباء القطاع السكني المترتبة عن محطة توليد الطاقة "نور ورززاتI" [7]

القطاعات الاستهلاكية الكبرى				
فترة الفوترة الشهرية	سعر الشراء	سعر الشبكة	قيمة الدعم لكل كلوات بالدرهم	الفارق بالمقارنة مع تكافؤ الشبكة
ساعات الذروة	1.62	1.3384	0.2816	21 %
ساعات العمل العادية	1.62	0.9443	0.6757	72 %
خارج ساعات الذروة	1.62	0.6516	0.9684	149 %

جدول قيم الدعم في كهرباء القطاعات الاستهلاكية الكبرى المترتبة عن محطة توليد الطاقة "نور ورززاتI" [7]

يتبين إذن أن محطة الطاقة الشمسية الحرارية «نور ورززات I» غير مربحة من الناحية التجارية. وهذا ما أكده البنك الدولي في أحد تقاريره [6] حيث كتب بالحرف:It must be« concluded that the project on a stand-alone basis is not economically viable and should be considered as part of a larger transformational program». مما يعني أنه لا بد من الاستنتاج أن «نور ورززات I» كمحطة شمسية حرارية قائمة بذاتها ليست مجدية من الناحية الاقتصادية ولذلك ينبغي اعتبارها جزءا من برنامج تحويلي على نطاق أوسع».

يمكن تبرير عدم وجود الربح الاقتصادي للمشروع بالإخفاق في اختيار التكنولوجيا الأنسب لتحويل الطاقة الشمسية بهذه المحطة. فالطاقة الشمسية الحرارية تعتبر من التقنيات التي تولد الكهرباء بأعلى سعر للكيلوواط في الساعة مقارنة مثلا مع التقنيات المعتمدة على الخلايا الكهروضوئية [8]. بناء أربع محطات من التكنولوجيات المختلفة (مكافئ الشمسية، برج للطاقة الشمسية الحرارية، ومصنع الضوئية) في المنطقة نفسها بورززات (الشكل أدناه) يبين أن هذا الخيار لا يسترشد فقط بالاعتبارات الفنية والاقتصادية في الانجاز.

الشكل 1 : صورة لجزء من المجمع الشمسي الضخم "نور ورززات"

استنتجنا إذن أن المحطة الشمسية الحرارية "نور ورززات I» غير مربحة على المستوى التجاري للكهرباء المنتجة. لكن رغم ذلك، إذا نظرنا إليها كخطوة أولى في أجندة التحول الاستراتيجي الأوسع للمغرب، فإننا ندرك أنها تقدم العديد من الجوانب الإيجابية والمثيرة للاهتمام والتي يمكن تقديمها في ما يلي:

تستخدم محطة «نور ورززات I» تكنولوجيا الطاقة الشمسية المركزة (CSP). هذه التكنولوجيا غالبا ما تكون أكثر تكلفة في التركيب من الألواح الكهروضوئية المستخدمة على نطاق واسع، لكنها في المقابل تسمح بتخزين الطاقة الحرارية المنتجة لاستخدامها بعد غروب الشمس عندما يكون الطلب على الكهرباء عند أقصى مستواه. فمحطة «نور ورززات I» لديها قدرة تخزين الطاقة الحرارية لمدة ثلاث ساعات تسمح لها بالعمل بكامل طاقتها طيلة هذه المدة بدون شمس (بعد الغروب مثلا) وتزويد الكهرباء خلال الليل. و بالتالي يمكن للمحطة تغطية الطلب على الكهرباء خلال ساعات الذروة التي عادة ما تكون في المغرب بين الساعة 17:00 و 22:30 في فصل الشتاء و 18:00 و 23:30 في فصل الصيف. لذلك فإن محطة «نور ورززات I» تعتبر واعدة جدا في تطبيق تكنولوجيا CSP على نطاق واسع، وسيكون لنجاحها تأثيرات مهمة على تطوير هذه التكنولوجيا وكذا تفعيل المفهوم الحقيقي لمزيج الطاقات

المتجددة في منطقة شمال أفريقيا و الشرق الأوسط. حتى إن المخاطر المرتبطة باستخدام هذه التكنولوجيا في توليد الكهرباء وتخزينها كانت محدودة من قبل المؤيدين للمشروع و الذين طُلب منهم تقديم الدعم الكامل مع التخفيف الشامل للمخاطر.

وقد أدى إنجاز مشروع كبير مثل «نور ورززات I» إلى توفير كبير في التكاليف وانخفاض في فجوة القدرة التنافسية بين CSP وغيرها من التقنيات المتجددة. تتمثل إحدى التحديات الرئيسية لمشروع «نور ورززات I» في الحد قدر الإمكان من الفرق بين التعريفة المدفوعة بموجب «اتفاقية شراء الكهرباء» أو Purchasing Power Agreement (PPA) و"اتفاقية بيع الكهرباء" أوSailing Power Agreement (SPA). بلغ سعر العطاء المقترح من قبل العارض الفائز 0.18 دولارًا أمريكيا وهو أدنى سعر في ذلك الوقت بالنسبة لتكنولوجيا CSP ومن بين أقل معدلات الأسعار في مشروعات الطاقة الشمسية الحرارية في جميع أنحاء العالم. ويرجع الفضل في جزء كبير من هذا إلى الهيكل المبتكر للمشروع والتمويل بشروط ميسرة. فبعد بدء العمل بالمشروع في عام 2016، قالت مديرة صناديق الاستثمار في المناخ (CIF): «المغرب يظهر قيادة حقيقية في استغلال مصادر الطاقة المتجددة في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا والتخفيض من تكلفة تكنولوجيا CSP في عملية الاستخدام».

تلقى إنجاز المحطة الشمسية الحرارية «نور ورززات I» الدعم الكامل من الحكومة المغربية ومؤسسات التمويل الدولية المتعددة لتجنب مخاطر معينة كالمنعش الخاص وأيضا ضمان استمرارية التمويل أثناء الإنشاء والتشغيل. بعد اختيار كونسورتيوم ACWA Power كمقدم عطاء ناجح، كان العطاء النهائي لتكاليف المشروع أقل بنسبة 25٪ من التوقعات الأولية. و كشف العرض النهائي أيضا أن هناك حاجة إلى قدر أقل من رأس المال والديون لتمويل المشروع مما كان متوقعا. ويرجع ذلك إلى ترشيد عملية الشراء بأكملها و كذلك إدماج نظام لتخفيف المخاطر. ويشمل ذلك: ضمانات الإنجاز الكامل من قبل المنعش أو المقاول، خيار نقل الأسهم لـ «مازن»، والتوزيع الأمثل للمخاطر بين القطاعين العام والخاص مع تدقيقه في جميع الوثائق التعاقدية. ووفقا لهذا التوزيع، يتحمل القطاع العام المخاطر السياسية والمالية والتجارية، في حين يتحمل القطاع الخاص المخاطر المتعلقة بالبناء و الأداء. ولذلك طورت تجربة «نور ورززات I» مزيجا فريدا من الإعانات العامة وأدوات تخفيف المخاطر لجذب كبار المستثمرين من القطاع الخاص.

أما عن الجانب الاجتماعي، فالأمل في إمدادات طاقية أفضل مع كهرباء شمسية متوفرة ونظيفة سيقلل من عدد المصابيح الرديئة وسوء أداء معدات المستشفيات، كما سيوفر ما يكفي من الطاقة الكهربائية الضرورية لأكثر من مليون منزل. بالإضافة إلى ذلك، فإن كنسورتيوم

ACWA Power المسؤول عن تنفيذ إنجاز المحطة، بما في ذلك تصميمها وبناؤها وتحسين أدائها، له أيضا دور فاعل على المستوى الاجتماعي. فلقد استغرقت فترة الإنجاز مدة ثلاثين شهرا بما في ذلك الفترة التجريبية، ثم هنالك حوالي 25 سنة من التشغيل الفعلي و المستمر للمحطة. كما أن معظم الذين ساهموا في بناء المحطة هم مغاربة، وهذا يمثل نقطة جد إيجابية للمشروع من خلال تقديم فرص الشغل للسكان النشطين الذين كانوا سابقا مهمشين في المنطقة.

وتجدر الإشارة أيضًا إلى أن إنجاز محطة "نور ورززات I»، و كذا المشاريع الأخرى للمخطط المغربي للطاقة الشمسية، سيعود بفوائد صناعية محلية ووطنية كبيرة. ومن المتوقع أن يساهم مشروع «نور ورززات I»، بالإضافة إلى الأجزاء الثلاثة الأخرى، مساهمة فاعلة و هامة في التنمية الاقتصادية المحلية من خلال تعزيز صناعات الإمدادات المحلية وخلق فرص العمل في قطاعات البناء والتصنيع والتعدين والتشييد و الصيانة. في كل مرحلة من مراحل إنجاز أجزاء المشروع، تلتزم «مازن» بتشجيع استخدام الأيدي العاملة والمواد المحلية وكذا استهداف ما لا يقل عن 30٪ من تكاليف الاستثمار لتشمل المنتوج المحلي للمساعدة على تحفيز نشاط القطاع الخاص و خلق مواطن شغل جديدة. كان القرار النهائي لإدراج المنتوج المحلي في مشاريع «نور» طوعيا تمامًا واستند إلى اقتراح مقدم العطاء المحدد وفقًا لتقديره الخاص.

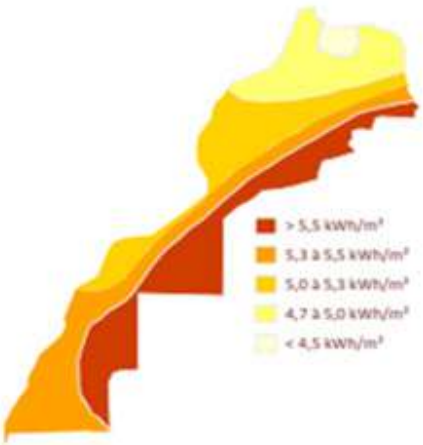
بالموازاة مع التزام الحكومة المغربية بتمويل العجز الكبير في استدامة مشروع "نور ورززات"، فقد وضعت أيضا إطارا تنظيميا وسياسيا مناسبا للاستغلال الجيد للطاقات المتجددة وتشجيع مشاركة ومساهمة القطاع الخاص في هذا المجال بما يتماشى مع أهدافها الواضحة والطموحة للتنمية المستدامة لمصادر الطاقة النظيفة.

5. نور ورززات I، هل هو استمرار لمشروع Desertec ؟

بما أن سعر الكهرباء لمحطة الطاقة الشمسية "نور ورززات I» غير قادر على المنافسة، فإن التصدير يصبح ضرورة لجعل المشروع قابلا للتطبيق اقتصاديا. في الواقع، الأسواق الأوروبية هي الأكثر جاذبية من خلال ارتفاع أسعار الكهرباء. يبرز هذا المسار بوضوح في مختلف تقارير البنك الدولي الداعمة للمشروع. نذكر أن أحد أهداف مشروع ورززات هو تقليل اعتماد المغرب على الطاقة من خلال الترويج لمورد وطني. هكذا، و من خلال إنجازه، سوف يحد المغرب من اعتماده على الطاقة على جانب المورد (الجزائر) مع تعزيز اعتماده على جانب العميل (الاتحاد الأوروبي). كما أنه يبدو لبعض الخبراء المتمرسين أن تكنولوجيا الطاقة الشمسية الحرارية (CSP) المعتمدة في إنجاز المشروع، والتي لا تزال باهظة التكاليف لأنها تتضمن

تكاليف استثمارية عالية للغاية، قد تم اختيارها بحيث يتم توجيه الكهرباء الشمسية المنتجة نحو التصدير إلى السوق الأوروبية.

بما أن الخلايا الكهروضوئية قد وصلت إلى التكافؤ الشبكي في عدة مناطق من العالم [9]، وأن منطقة ورززات تستفيد من إشعاع شمسي استثنائي (الشكل 2)، يمكن طرح أسئلة حول الأسباب التي أدت إلى رفض صانعي القرار بالمغرب هذا الخيار التكنولوجي.



الشكل 2 : مع ما يصل إلى 3600 ساعة من أشعة الشمس سنويا ، تعد ورززات واحدة من المناطق ذات أعلى مستوى من الطاقة الشمسية في العالم.

بعض عناصر الإجابة على هذه التساؤلات قد تظهر ضمن طرق تمويل المشروع. في سنة 2009 أصدرت مجموعة صناديق الاستثمار في المناخ CIF «Climate Investment Funds»، التابعة لصندوق البنك الدولي للمشروعات الخضراء، تقريرا عن خطط الاستثمار المستقبلية في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا [10]. في هذا التقرير كان التركيز على اعتماد تكنولوجيا الطاقة الشمسية الحرارية بدلا من تكنولوجيا الخلايا الكهروضوئية. كان الغرض من هذا الاستثمار هو خفض تكلفة الطاقة الشمسية الحرارية من خلال توفير التكلفة ونقل الكهرباء المنتجة إلى السوق الأوروبية. ويندمج مشروع «نور ورززات I» في هذه الاستراتيجية وهذا النهج لتحقيق توفير تكلفة تطبيق التكنولوجيا الحرارية الشمسية مع الحد من الخسائر للقطاع الخاص من خلال التعاقد بطريقة PPP. وبالتالي فإن المغرب أصبح بمثابة مختبر حقيقي للتجارب

التكنولوجية الضخمة والباهظة مثل مشروع «نور ورززات» وسيضطر إلى تصدير الكهرباء المنتجة إلى السوق الأوروبية لسداد ديون الإنجاز. لهذا يبدو أن إنجاز محطة «نور ورززات I» يتماشى مع منظور المشروع الأوربي العملاق الشهير باسم «ديزيرتيك» Desertec الذي تعرض لانتقادات كثيرة واعتبره بعض المحللين استمرارًا للنظام الاستعماري الجديد.

6. عقد الشراكة بين القطاعين العام والخاص

العقد المبرم بين كونسورتيوم ACWA Power و»مازن» هو من صنف BOOT (بناء، تملك، تشغيل، نقل) كما أن الشراكة بين القطاعين العام والخاص (PPP) كانت شرطا للحصول على التمويل من المؤسسات الدولية. هذا النوع من العقود يقلل من مخاطر القطاع الخاص من خلال ضمان الدولة (التنشئة الاجتماعية للخسائر وخصخصة الأرباح). وبالتالي فإن الدولة تدعم المشروع بشكل تام إذا ما تعرض للإفلاس [11]. ولهذا يصبح تصدير الإنتاج من الكهرباء هو السبيل الوحيد لتجنب إفلاس المشروع. تم توقيع عقد BOOT لمدة 25 سنة. بعد هذه الفترة، سيتم نقل ملكية المحطة «نور ورززات I» إلى الدولة المغربية، علما أن مدة الضمان القانونية لأي محطة شمسية حرارية هو 25 سنة. يمكننا إذن هنا طرح عدة تساؤلات حول كفاءة المصنع بعد مدة الضمان حين تكون فعاليته ومردوديته أقل من أي وقت مضى.

7. استفادة الصناعة المغربية من المشروع

يحقق مشروع "نور ورززات I» تكاملا واندماجا صناعيا يبلغ حوالي 32٪. لكن يتبين أن الجزء الكبير المستهدف هو البناء والميكانيكا والكهرباء والتشغيل. تم توظيف عدد قليل من الصناعات المغربية ذات القيمة المضافة العالية خلال بناء وإنجاز المحطة. كما تم أيضا إسناد صناعة وإرساء المرايا والتوربينات إلى مجموعتين ألمانيتين [12] لأنه غالبا ما تشكك المؤسسات المالية الدولية في أي تفضيل لمنح العقود للمؤسسات الصناعية الوطنية. فهل كان هناك نقل ولو جزئي للتكنولوجيا الهامة المعتمدة لصالح الصناعة المغربية ؟ أشك في ذلك. لهذا يبدو أن مشروع «نور ورززات I» لم تستفد منه الصناعة المغربية ذات القيمة المضافة العالية كثيرا. لكنه في المقابل يعتبر مفيدا وإيجابيا بالنسبة للمؤسسات المغربية الصغيرة والمتوسطة التي لم تنضج بعد بشكل كافٍ لدعم مثل هذه المشاريع الكبيرة في إطار عقود PPP [13].

8. خلاصة وتوصيات

توضح هذه الدراسة أن المحطة الشمسية الحرارية «نور ورززات I» لا تتميز بمردودية تجارية أو اقتصادية واضحة. أكثر من ذلك، فإنها تزيد من ضغط الديون الخارجية على الاقتصاد

المغربي. وقد انعكست التكاليف الباهظة لإنجاز المحطة سلبا على سعر الكهرباء المولدة، مما أدى إلى زيادة دعم الدولة التي عليها أن تلجأ للاقتراض لضمان استمرار المحطة في إنتاج الكهرباء.

عشية استضافة المغرب لمؤتمر COP22 بمراكش، استثمرت الحكومة المغربية مبلغا هائلا من أجل الترويج لمشروع «نور ورززات» وقامت بحملة إعلانية كبيرة بتنسيق مع المؤسسات المالية الدولية من أجل الحصول على لقب البلد «الأخضر»

الانتقال إلى استعمال الطاقات المتجددة النظيفة أمر هام و ضروري. لكن لا ينبغي أن يكون هذا الانتقال على حساب المالية العامة للدولة من خلال الإفراط في المديونية. لذا يجب علينا أن نستحضر عقولنا وأفكارنا النقدية حول المشاريع التي، تحت غطاء حماية البيئة، ترهق اقتصاد البلاد وتعمق تبعيته [14]. سيكون من الأجدى و الأنفع استخدام التقنيات الشمسية الأكثر ربحية (لا سيما الكهروضوئية) بمستويات وأحجام ومقاييس يمكن أن تضمن مشاركة أكبر عدد ممكن من الشركات والصناعات الوطنية. ينبغي الموافقة على هذا الخيار التكنولوجي من قبل لجنة مستقلة تستند إلى بيانات شمسية موثوقة والتي يجب تحديدها بعناية ودقة. هدف المغرب في عام 2030 لا ينبغي أن يقتصر على إنتاج نسبة معتبرة من احتياجاته من الكهرباء من الطاقة النظيفة، بل عليه أن يطور قدراته من أجل بناء وإدارة محطات توليد هذه الطاقة النظيفة اعتمادا على كفاءاته الوطنية.

المراجع

[1] http://www.masen.org.ma/index.php?Id=42&lang=fr#/_

[2] http://www.usinenouvelle.com/article/la-centrale-solaire-csp-d-ouarzazate-fonctionnera-en-aout-2015-selon-masen.N249119

[3] http://www.usinenouvelle.com/article/le-saoudien-acwa-power-adjudicataire-des-projets-solaires-geants-marocains-noor-ii-et-noor-iii.N307196

[4] http://www.leconomiste.com/article/984037-noor-ouarzazatece-que-sera-la-place-du-maroc-au-soleil

[5] Implementation Completion and Results Report on Ouarzazate Concentrated Solar Power Project, World Bank Report No: ICR00004271, March 31th, 2018, p. 2,

http://documents.worldbank.org/curated/en/503371525382384008/pdf/ICR4271-

PUBLIC-3-29-18.pdf

[6] World Bank Report No: 64663-MA

https://www.climateinvestmentfunds.org/sites/climateinvestmentfunds.org/files/Ouarzazate_Concentrated_Solar_Power_Project_AfDB_and_WB_PAD.pdf

[7] http://www.onee.org.ma/

[8] https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien-en/studien-und-konzeptpapiere/study-levelized-cost-of-electricity-renewable-energies.pdf

[9] http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111003492

[10] https://www-cif.climateinvestmentfunds.org/sites/default/files/meeting-documents/mna_csp_ctf_investment_plan_111009_0.pdf

[11] http://www.economie-tunisie.org/fr/observatoire/analysiseconomics/bombe-a-retardement-rapport-partenariats-publics-prives

[12] http://www.usinenouvelle.com/article/maroc-32-d-integration-locale-atteinte-pour-la-centrale-solaire-csp-noor-1-qui-va-incessamment-entrer-en-service.N358571

[13] http://www.massolia.com/rencontre/developpement-des-energies-solaires-au-maroc-quel-impact-sur-la-creation-demplois/

[14] http://www.jadaliyya.com/pages/index/24124/the-ouarzazate-solar-plant-in-morocco_triumphal-gr

I.S.B.N. : 978-9973-15-420-0