

## التصاميم المبدئية لمحطة شمسية برجية في ليبيا \*

د . فؤاد محمد فريد سيالة \*

م . محمود علي عبد الرحمن \*

م . مصطفى الطاهر العائبي \*

1 . مقدمة

تعتبر المحطات الشمسية البرجية إحدى تقنيات الطاقة الشمسية التي تعتمد على قاعدة واسعة من الخبرة العلمية والعملية ، كما تشهد حالياً اهتماماً محدداً على المستوى العالمي كأفضل الوسائل اقتصادياً لتحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء بقدرات عالية [1] . وبالرغم من أن تكاليف التشغيل والصيانة لهذه المحطات تعتبر أعلى من التي تحتاجها بعض التقنيات الأخرى للطاقات المتجددة مثل الخلايا الشمسية ، إلا أنها تتميز بما يلي [2 ، 3] :

وضع المقترح موضع التنفيذ ، حيث تكون فريق بحثي لوضع التصميم المبدئية ودراسة الجدوى الاقتصادية له ، وذلك بالتعاون مع شريك أجنبي له دراية بالمجال . ومع مطلع هذه السنة بدأت الدراسة تؤتي ثمارها .

### 2 . اختيار الموقع

تم وضع عدة معايير لاختيار الموقع المناسب لإنشاء المحطة ، كان من أهمها ما يلي :

- \* القرب من مقر مركز دراسات الطاقة الشمسية ما أمكن لسهولة متابعة المشروع فيما بعد .
- \* سهولة الوصول والاتصال بالموقع .
- \* القرب من خطوط نقل القدرة الكهربائية .

تحقيقاً للأهداف التالية :

- \* التعرف محلياً بإمكانات منظومات المحطات البرجية كإحدى أنجح وسائل تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية .
- \* اقتحام مجال علمي وتغني متقدم لا يزال حتى الآن حكراً على عدد محدود من الدول .
- \* تطوير القاعدة التقنية والعلمية اللازمة في هذا المجال .
- \* تأهيل وإعداد الكوادر الهندسية والفنية لتصميم وصيانة وتشغيل المحطات البرجية .
- \* توفير إمكانية إجراء البحوث والدراسات المتعلقة بلانة هذه التقنية مع الظروف السائدة في ليبيا .

وبحلول منتصف سنة 1993 ،

- \* كفاءة عالية نسبياً .
- \* صالحة لتغطية حل الأساس .
- \* استخدام الخزان الحراري يمكن من الحصول على عوامل سعة عالية .
- \* التقنيات المصاحبة - وفقاً للغرض المطلوب - معتادة ومعروفة لأصحاب ذلك الاستخدام .
- \* غنتاز عن الخلايا الشمسية بأنها لا تعطي كهرباء فقط بل تشمل مدى واسعاً من الطاقة والتطبيقات المختلفة .
- \* وتوقعاً للدور المستقبلي الذي يمكن أن تلعبه هذه المحطات لتوليد الكهرباء في ليبيا نظراً لما تتمتع به من موقع جغرافي مناسب لإقامة مثل هذه المحطات ، فإن مركز دراسات الطاقة الشمسية تبنى مقترحاً لإنشاء وحدة تجريبية ريادية لمحطة شمسية برجية بقدرة 1 ميجاوات ، وذلك

الدراسة تحديد أقصى زاوية أفقية بأربعين درجة (40°) من محور الشمال ، إذ تسبب المرايا ذات الزوايا الأكبر هدرا أكبر عند كوة المركزات الثانوية للمستقبل .

لقد أعد برنامج حاسب أتى يعمل على توزيع المرايا ، وفقا للشروط الحدية ، بطريقة التوزيع التناوب نصف القطري . حيث يعمل على تحديد موقع كل مرآة بما يضمن عدم ارتداد الأتعة المنعكسة منها بأي من المرايا المجاورة .

ويتم بعد ذلك إجراء حسابات الإشعاع والفقدوات البصرية الأخرى وعمليات المفاضلة باستخدام خرج هذا البرنامج لتشغيل برنامج (HELIOS) المعروف في هذا المجال . شكل (1) يوضح التوزيع العام للحقل بعد استيفاء عمليات المفاضلة المختلفة . ويمكن ملاحظة أن القدرة الساقطة من هذا الحقل على المستقبل ، شكل (2) ، كافية عند النقطة التصميمية (21 يونيو / الصيف ، شدة الإشعاع الشمسي 970 وات متر مربع

توجيه سطحها العاكس إلى أسفل لحمايته من ترسب الرمال والرطوبة في أوقات عدم التشغيل .

إن هيئة المستقبل - كما سيرد لاحقا - تؤثر بشكل كبير في تصميم حقل المرايا فوفقا لذلك تم اختيار الحقل الشمالي في هذه الدراسة . كما أن زوايا السقوط الصغيرة المفضلة للإشعاع الشمسي على السطح الماص أدت إلى تحديد الحد الأدنى لبداية توزيع المرايا التي تعكس أصغر صور ممكنة (القريبة من البرج ومن محور الشمال) . حيث تزداد مساحة الصورة المنعكسة في الحالات التالية :

• كلما زادت المسافة بين المرآة والمستقبل .

• كلما زادت الزاوية الأفقية من محور الشمال .

• كلما ابتعد الوقت عن الظهيرة الشمسية .

وقد نتج من عملية المفاضلة في هذه

• القرب من مصدر للمياه (البحر مثلا ، لأغراض التبريد والتحلية) .

• العوامل الطبوغرافية (نوعية التربة ، طبيعة الموقع ... الخ) .

• العوامل الجوية (الإشعاع الشمسي ، سقوط الأمطار ، صفاء السماء ، ... الخ) .

ولقد جرت زيارة عدد من المواقع المحيطة بمدينة طرابلس للمفاضلة بينها بناء على هذه الأسس . ونتج عن ذلك ترشيح موقع ملائم يقع شرقي مدينة القرهوللي ويبعد عنها مسافة حوالي 8 كيلومترات بين مصبي وادي ترغت ووادي مقدر .

### 3 حقل المرايا

يتكون هذا الحقل من توزيع مناسب لمجموعة من المرايا المركبة (Heliostats) وتتكون كل مرآة مركبة من مجموعة من المرايا مثبتة على قاعدة واحدة وتعمل على تتبع المسار الظاهري للشمس وتوجيه أشعتها نحو المستقبل المركزي . وحيث أن حقل المرايا يمثل نصيب الأسد من التكلفة الإجمالية للمحطات البرجية ، فإنه من الأهمية بمكان الوصول إلى التصميم الأمثل لهذا الحقل والذي يحقق القدرة المطلوبة بأقل عدد من المرايا وأصغر مساحة ممكنة للحقل . ويتصد بالتصميم الأمثل للحقل ، اختيار المواصفات المناسبة للمرايا وتحديد موضع كل منها في الحقل بالشكل الذي يقلل الفقدوات البصرية ما أمكن .

بالرغم أن المرايا المركبة الأصغر تكون أكثر دقة في التصويب نحو نقاط الهدف ، إلا أن التكاليف تنف على الطرف الآخر لاختيار الحجم المناسب . ففي هذه الدراسة تم اختيار مرايا بمساحة 95 مترا مربعا ، لأن تكاليف ذات 65 مترا مربعا تزيد عنها بحوالي 19% في حين تقل دقة التصويب في المرايا ذات المساحة الأكبر . كما تتميز المرايا المختارة بإمكانية



شكل ملحوظ ، وذلك على وجه الخصوص بسبب إمكانية تقليل عدد المرايا ، وحجم الخزان الحراري .

وقد تم تصميم هذا المستقبل استناداً إلى الخبرة المكتسبة في تنفيذ نموذج تجريبي مشابه بقدرة اسمية 500 كيلووات ، والذي تم اختباره بأنولابيات المتحدة سنة 1992 ، وقد أوضحت النتائج حينها أن كفاءة المستقبل كانت في المدى 82-84 % عندما كانت درجة الحرارة خرج المستقبل في حدود 710-760 م° ، وعند درجات حرارة 810-840 م° كانت الكفاءة في المدى 72-76 % (-7 م°) بينما تشير الحسابات من النموذج الرياضي أن الكفاءة الأخيرة يمكن رفعها إلى حوالي 83 % عند توزيع متماثل لدرجات الحرارة عبر السطح الماص . وقد وصلت أقصى درجة حرارة للهواء الخارج من السطح الماص في تلك الاختبارات ، إلى 1050 م° وكسنت أقصى قدرة 340 كيلووات [6 ، 7] .

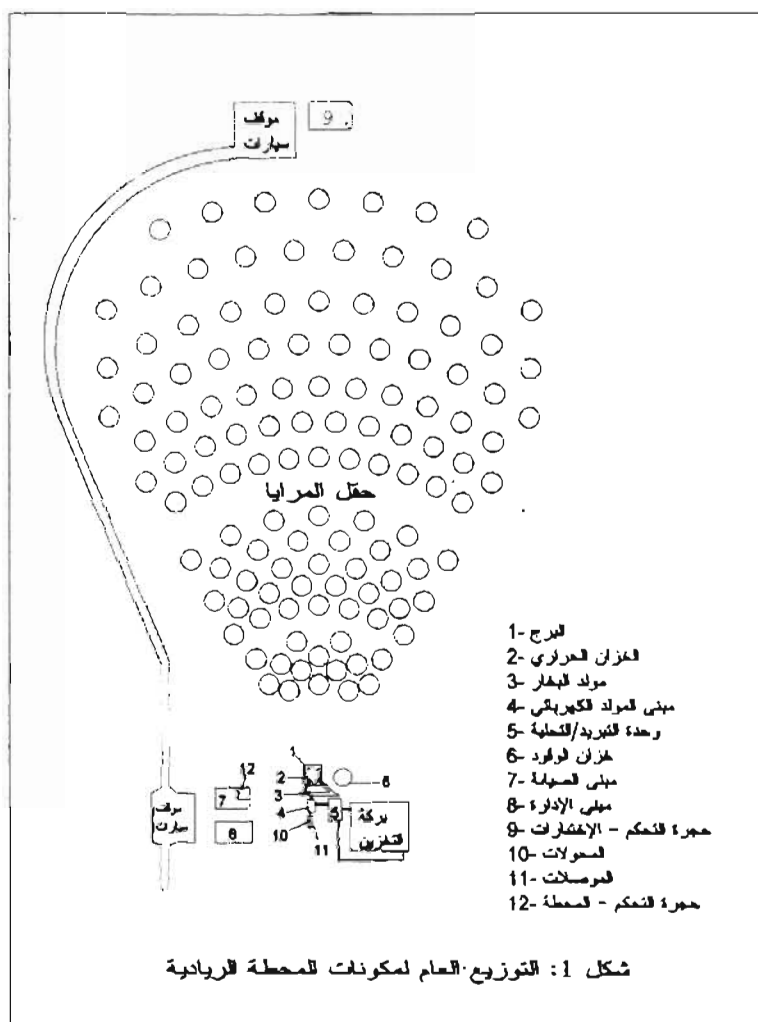
يعتمد المستقبل المذكور أساساً على شبكة خزفية ماصة لها خواص حرارية ممتازة . وتتكون من قنوات مستقيمة لانتقال الحرارة وبمساحات صغيرة جداً ، وجدوان رقيقة بحيث يمتص أغلب الإشعاع الشمسي داخل سطح القناة .

ونظراً لتكاليف المنظومة وأسباب الموثوقية (Reliability) ، يستخدم المستقبل هواء غير ذي ضغط (قريب من الضغط الجوي) كوسيط لنقل الحرارة .

كما أن الدورة المغلقة للمستقبل تسهل التحكم في تماثل انسياب الهواء خلال الأسطح الماصة ، والذي بدوره يساعد في تماثل تسخين الهواء العابر لهذه الأسطح . ويتميز المستقبل المغلق بكفاءة أفضل من المستقبل المفتوح وذلك للأسباب التالية :

• عدم وجود فقد حراري من الهواء العائد بالضرورة .

• تماثل أكثر لتوزيع درجات الحرارة عبر الماص متعدد المراحل في المستقبل المغلق



شكل 1: التوزيع العام لمكونات المحطة لرابدية

تجتمع في غيره من المستقبلات الأخرى وهذه المميزات هي [4 ، 5] :

• يمكن الوصول إلى كفاءات عالية في مختلف ظروف التشغيل (رياح ، تذبذب الإشعاع الشمسي ، ... ) .

• درجات حرارة عالية تزيد عن 800 م° للهواء الخارج من المستقبل

• يمكن تحقيق المساحة المطلوبة للمستقبل بدون تكاليف مفرطة .

وتجدر الإشارة هنا إلى أن كفاءة المستقبل ودرجة حرارة الخارج ، العاليتين ، تخفضان التكاليف الإجمالية للمشروع

حتى إذا تم أخذ في الاعتبار الخسائر المعكوسة من المركبات التاسوية (1-2 %) في حسابات (HELIOS)

#### المستقبل

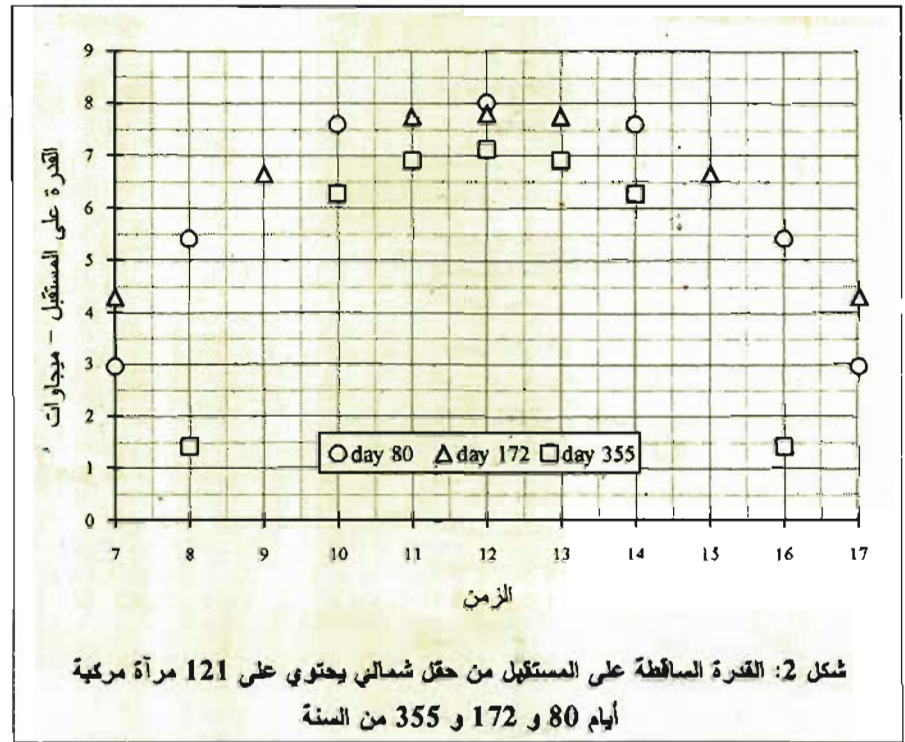
المستقبل هو المنظومة التي تعمل على تحويل الطاقة الشمسية المعكوسة من حقل المرايا إلى طاقة حرارية . وتوجد عدة أنواع من المستقبلات . وقد اختير المستقبل اخوائي الحجمي ذو الشبكة الخرفية والدورة المغلقة (وهو من تصميم الشريك الأجنبي) لهذا المشروع نظراً لاجتماع عدد من المميزات فيه ، قل أن

للمستقبل عن طريق حساب توزيع  
تنفيض الشمسي الساقط على سطح  
نستقبل باستخدام برنامج  
"HELIOS" مع الأخذ في الاعتبار أن  
قصى شدة للفيض مسموح بسقوطها على  
مساحة الفعالة للمستقبل هي 800  
كيلوات / متر مربع .

كما تم تخفيض التكلفة الإجمالية  
للمنظومة إلى الحد الأدنى عن طريق  
المفاضلة بين تكاليف المرايا ، والمساحة  
الفعالة للمستقبل ، وتكاليف مساحة  
العاكسات الثانوية . والأخيرة صنعت  
من صفائح الألمنيوم ذات الانعكاسية  
العالية وهي تبرد بالماء لتفادي التسخين  
نتيجة الجزء المتص من الإشعاع  
الشمسي . أما زوايا العاكسات الثانوية  
فقد اختيرت بحيث تحترق معظم الأشعة  
عمق القنوات الخاصة (بتفادي زوايا  
سقوط الكبيرة على السطح الماص) مما  
يؤدي إلى زيادة المساحة الناجمة لانتقال  
حرارة وتقليل درجة حرارة السطح  
خاص ، وهذا يعني ضماناً أقصى  
للمستقبل .

يتكون المستقبل ، شكل (3) ،  
من أنابيب زجاج الكوارتز مربعة  
المقطع ، معلق داخل كل منها 6 مراحل  
مائلة من السطح الماص بطريقة تسمح  
للتمددات الحرارية التفاضلية أن تحدث  
بحرية ودون أن تسبب إجهادات  
مفرطة . كما أن التمددات الحرارية  
أخذت في الحسبان في منشأة تعليق  
الأنابيب والتي تتميز بإمكانية استبدال أي  
منها بأخر وبسرعة .

يسرى الهواء من أسفل الأنابيب  
ويتخلل مراحل السطح الماص فترتفع  
درجة حرارته إلى مستويات عالية ويسمح  
له بالاختلاط بين كل مرحلة وأخرى  
بحيث تقلل فروق درجات الحرارة  
الموضعية . ويتم التحكم في معدل تدفق  
الهواء خلال كل أنبوب على حدة ،  
بواسطة مخمدات (Dampers) لإبقاء  
درجة حرارة الخرج لكل أنبوب ثابتة بقدر



الثانوية ، مما يقلل من الفقد بالامتصاص  
على سطح العاكسات الثانوية (كفاءة  
أفضل للمستقبل) ، كما يقلل أعمال  
الصيانة الصقلية عند تأكيد أسطحها  
العاكسة .

إن استخدام المركبات الثانوية  
يخفض المساحة للمستقبل من 2 . 6 متر  
 $2 \times 4.6$  متر (عرض)  $2 \times 4.2$  متر (ارتفاع) وذلك بسبب انعكاس أغلب  
الفيض الشمسي المنخفض نسبياً نحو  
حواف المساحة الفعالة ، مما يؤدي إلى  
توزيع أكثر تماثلاً للفيض الشمسي . كما  
أن تكلفة العاكسات الثانوية أرخص  
بكثير من المساحة الفعالة . ناهيك عن  
تقليل الفقد بإعادة الإشعاع كلما قلت  
المساحة الفعالة . وعلى وجه العموم فإن  
استخدام المركبات الثانوية يخفض من  
تكاليف المستقبل والمنظومة ككل .

وقد تمت المفاضلة بين حجم  
الكوة ، وحجم المساحة الفعالة

مما يقلل انعقد حراري بالإشعاع . كما  
أن التكلفة الإضافية لزجاج الكوارتز في  
المستقبل المغلق يعوضها توفير في تكلفة  
المرايا نتيجة لتحسين الكفاءة الإجمالية  
للمحطة .

لقد تمت المفاضلة بين طريقتين  
لهيئة المستقبل (بقدر 3 . 6 ميجاوات)  
خلال هذه الدراسة ، تعتمد الأولى على  
صفيين من الأنابيب أحدهما فوق الآخر ،  
ومواجه للشمال . أما الهيئة الثانية الممكنة  
فهى استخدام مستقبلين متماثلين ،  
أحدهما مواجه للشمال الغربى والآخر  
للشمال الشرقى . وقد وجد أن الطريقة  
الأولى أكثر كفاءة للقدرة المختارة للمحطة  
حيث تتميز هيئة المستقبل الواحد عن  
هيئة المستقبلين بمائل :

\*كوة أكبر للمستقبل مما يؤدي إلى سهولة  
في تصويب المرايا لجعل توزيع الفيض  
الشمسي متماثلاً وبدون هدر .

\*مساحة إجمالية أصغر للمركبات



8 كجم/ث ، شحن/تفريغ عند الحمل الكلي) في حدود 25 مل بار للخرزان نصف المملوء (Half Filled) أما زمن التخزين (1.5 ساعة) فقد اختير لإيضاح جدوى الكفاءة والتكاليف المنخفضة للخرزان الحراري مع السعة المناسبة للتطبيقات التجارية . شكل (4) يوضح موضع الخرزان الحراري أسفل البرج .

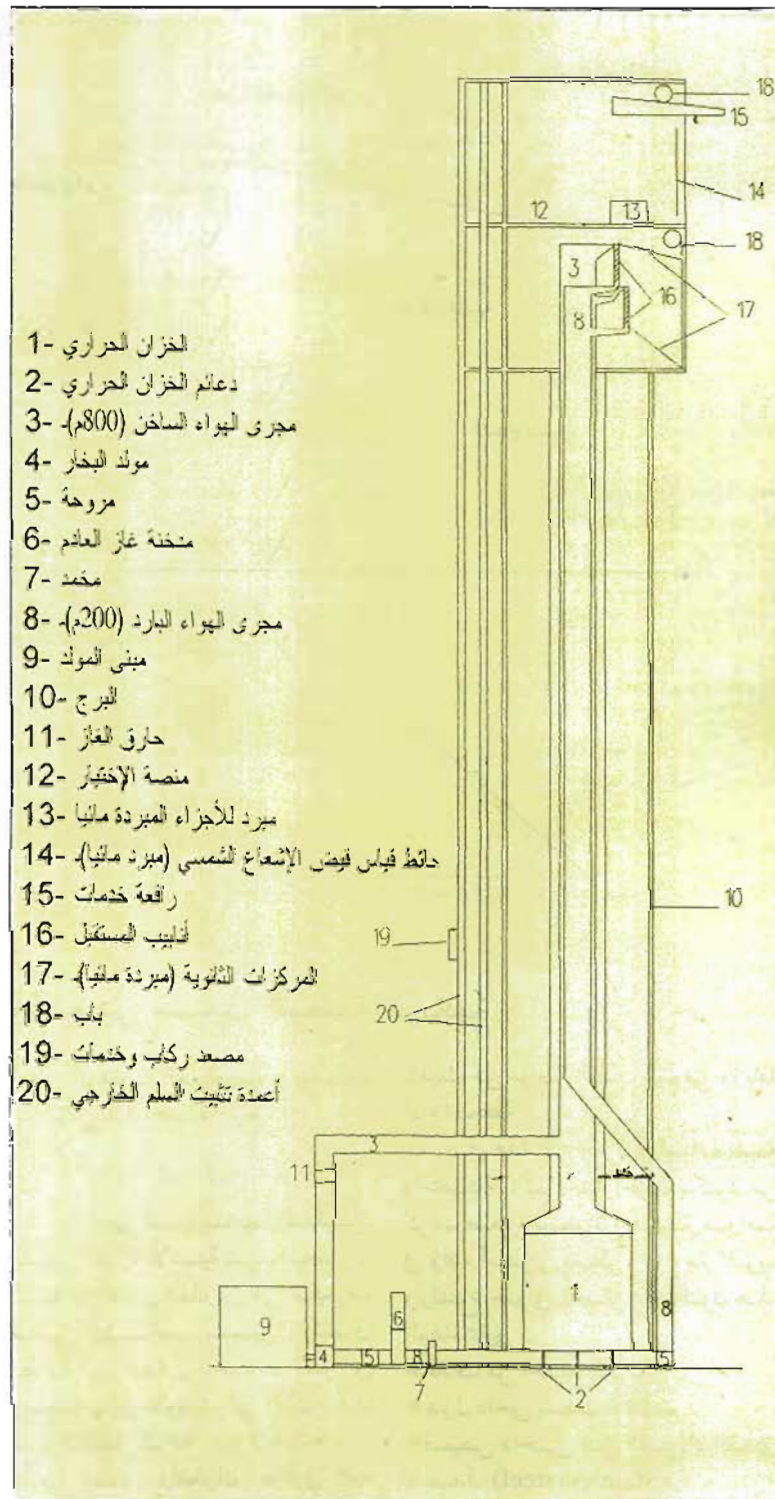
#### ٤ مولد البخار

وهو عبارة عن مبادل حراري يعمل على توليد البخار عن طريق الطاقة الحرارية التي يحملها الهواء من المستقبل أو الخرزان الحراري . وحيث أن درجة الهواء الخارج من مولد البخار لها علاقة بمعدل التدفق الكلي للهواء ، فإن القدرة المطلوبة للمروحة تكون أقل كلما قلت تلك الدرجة ، إلا أن درجة الحرارة المنخفضة تزيد من تكلفة مولد البخار نتيجة لزيادة المساحة المطلوبة للتفريق الضئيلة في درجات الحرارة . لذا فقد وجد أن أفضل درجة حرارة للهواء الخارج من مولد البخار هي 180°م وفيما يلي المواصفات الفنية الأساسية المختارة لهذه المنظومة :

التدفق الاسمي للهواء 8 كجم/ث  
التدفق الاسمي للبخار 1.74 كجم/ث  
درجة حرارة الهواء الداخل 800°م .  
درجة حرارة الهواء الخارج 180°م .  
الانخفاض الاسمي في ضغط الهواء 1500 بسكال .  
ضغط البخار الخارج 49.5 بار مطلق

#### 7 . منظومة توليد القدرة الكهربائية

نتيجة للصعوبات التقنية والاقتصادية والتي لها علاقة بسعة المحطة (1 ميجاوات) ، تم اختيار دورة رانكن البخارية لتحويل القدرة الحرارية إلى كهرباء ، شكل (5) . والسما

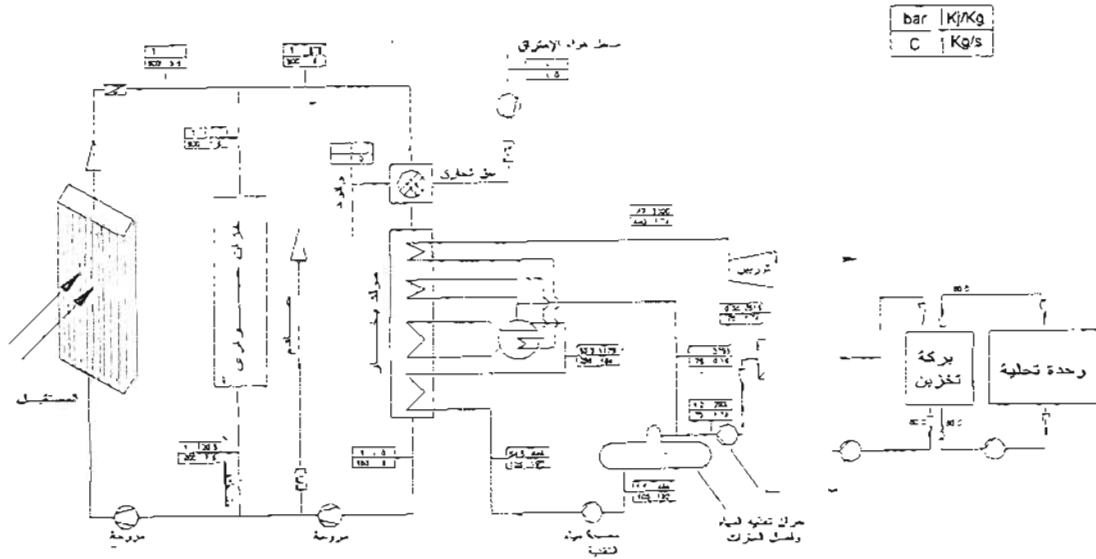


شكل 4 : المخطط العام للبرج ومحتوياته

| الأساسية المتوقعة له         | لومة عند                                          | ظروف تشغيل الحمل الكلى ، كهايل : | كما أن المنظومة تصل إلى أداء                                                                                                      |
|------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| نوع التوربين                 | تكتيفى ذوست مراحل<br>(6 stage condensing turbine) |                                  | حسن تحت ظروف الحمل الجزئى . فعند<br>حل النصف مثلاً ، يصل خرج المولد إلى<br>حوالى 480 كيلوات أي مايعادل 44٪<br>من القيمة الاسمية . |
| ضغط البخار الداخل            | 49.3                                              | بار                              | مطلق                                                                                                                              |
| ضغط البخار الخارج            | 0.38                                              | بار                              | مطلق                                                                                                                              |
| درجة حرارة البخار الداخلى    | 440°م                                             |                                  |                                                                                                                                   |
| درجة حرارة البخار الخارج     | 75°م                                              |                                  |                                                                                                                                   |
| معدل التدفق الكتلى للبخار    | 1.74                                              | كجم/ث                            |                                                                                                                                   |
| السرعة الدورانية             | 5000                                              | دورة/دقيقة                       |                                                                                                                                   |
| القدرة الميكانيكية (t power) | 1137                                              | كيلوات                           |                                                                                                                                   |
| القدرة الكهربائية من المولد  | 1086                                              | كيلوات                           |                                                                                                                                   |
| زمن بداية التشغيل (البارد)   | 20-15                                             | ثانية                            |                                                                                                                                   |

8 . خيار تحلية المياه

يتوقع للمحطات البرجية انتشاراً  
واسعاً في المناطق التي تتمتع بشدة عالية  
للإشعاع الشمسى ، والتي غالباً ما تكون  
في حاجة للمياه أيضاً . وحيث أن جزءاً  
فقط من الطاقة الحرارية يمكن تحويله إلى  
كهرباء في محطات القوى عموماً بينما يطرد



شكل 5 : مخطط الإنسياب الحرارى لمحطة الريادية عند الحمل الكلى.

بعض الأعمال الهندسية ، وتنفيذ الأعمال المدنية كاملة ، بالإضافة إلى منتجات المنشآت الصناعية المحلية ، مثل مصانع الإسمنت ، ومصانع الأنابيب المعدنية والبلاستيكية ، ومصنع الحديد والصلب ، ومصانع المعدات الكهربائية . ولقد قدرت تكلفة الأعمال التي يمكن تنفيذها محلياً بالدينار الليبي . أما بالنسبة إلى الأعمال التي يتوجب تنفيذها عن طريق مقاول خارجي فلقد قدرت تكلفتها بالفرنك السويسري . الجدول التالي يوضح التكلفة الإجمالية لإنشاء المحطة الريادية ، كما يبين نسبة الأعمال المنفذة محلياً .

وينبغي ملاحظة أن تكلفة منظومة التحلية في الحالة الثانية لا تتضمن تكاليف منظومات مآخذ مياه البحر وشبكة التوزيع خارج المحطة .

## 2.1.9 تكلفة التشغيل والصيانة

الجدول التالي يوضح مفردات تكاليف التشغيل والصيانة السنوية . ولقد روعي أن تقدم في الجدول تكلفة الأجزاء التي يمكن تنفيذها محلياً بالدينار الليبي ، وتلك التي يتوجب تنفيذها عن طريق مقاول خارجي بالفرنك السويسري . كما حست أسعار الوقود على أساس السعر العالمي للنظ . وفي حالة استخدام الوقود ، أفترض أنه يستعمل بمتوسط 3 ساعات يومياً .

جدول (٦) : التكلفة الإجمالية لإنشاء المحطة الريادية .

| نسبة التكلفة بالدينار الليبي | التكلفة الرأسمالية الإجمالية (الف د.ل.) |                |
|------------------------------|-----------------------------------------|----------------|
| 21%                          | 5617                                    | الحالة الأولى  |
| 20%                          | 6196                                    | الحالة الثانية |

على أساس أن تؤدي دورها الرئيسي كمحطة ريادية لإجراء الدراسات والأبحاث . كما ستقدم تقديرات تكلفة إنتاج الكهرباء والمياه في الحالتين على أساس تشغيل المحطة عن طريق الطاقة الشمسية فقط ، أو عن طريق الطاقة الشمسية بالإضافة إلى استخدام وقود حفري (غاز طبيعي أو زيت وقود خفيف) . ولقد أعدت هذه التقديرات على الأسس التالية :

\* أسعار عام 1993/1994 (معدلات التحويل : 1 مارك ألماني = 0.85 فرنك سويسري ، 1 فرنك سويسري = 0.25 د.ل.) .

\* أسعار المعدات والمنظومات طبقاً لعروض من الشركات المصنعة شاملة لما يلي :

- تكلفة التصميم النهائي
- تكلفة التصنيع
- الشحن إلى طرابلس .
- التركيب بالموقع .
- اختبارات التشغيل .
- قطع الغيار الأولية .

\* المشروع معفى بالكامل من كل الضرائب والرسوم المعمول بها في ليبيا .

## 2.1.9 تكلفة الإنشاء

أخذ في الاعتبار إمكانية تنفيذ بعض الأعمال الإنشائية محلياً ، وذلك مثل

الباقى إلى الوسط المحيط في حين يمكن الاستفادة منه في التطبيقات التي لا تحتاج درجات حرارة عالية ، لذا فقد ضمنت هذه الدراسة خيار تحلية المياه المالحة ، باستخدام تقنية تعمل بمستوى منخفض من درجات الحرارة (55-75°م) والمطورة من قبل الشريك الأجنبي . ويمكن باستخدام هذه الطريقة إنتاج 300 متراً مكعباً من المياه المحلاة يومياً وذلك استناداً للمتوسط اليومي للحرارة المطرودة من المحطة (24 ميجاوات . ساعة تقريباً) أي بمعدل 80 كيلووات . ساعة/متر مكعب .

كما يمكن تخزين الطاقة الحرارية لضمان عمل محطة التحلية طوال 24 ساعة وقد وجد أنه من المجدى اقتصادياً استخدام مبدأ تدرج الأملاح (البركة الشمسية) لهذا الغرض . والجدير بالذكر أن التكاليف الإضافية لهذه البركة أقل بشكل ملحوظ من تكاليف السعة الإضافية المركبة لمحطة التحلية اللازمة لاستغلال كل الطاقة الحرارية المطرودة .

## 9 . الدراسة الاقتصادية

### 9.1 التقييم الاقتصادي للمحطة الريادية

ضمن المشروع الذي قام به مركز دراسات الطاقة الشمسية ، أعدت تقديرات لحجم الاستثمار اللازم لإنشاء المحطة المقترحة ، شاملة لكل التكاليف من بداية أعمال التصميمات النهائية ، إلى بداية التشغيل . وفيما يلي ملخص هذه التقديرات بالنسبة لحالتين التتين ، هما :

\* الحالة الأولى : وهي تشغيل المحطة لتوليد الكهرباء فقط .

\* الحالة الثانية : وهي تشغيل المحطة على أساس توليد الكهرباء ، وإنتاج المياه

المحلاة باستخدام الطاقة الحرارية الزائدة ، والتي يتم التخلص منها في مكثف دائرة البخار .

وفي كلتا الحالتين ، جهزت المحطة

جدول (2) : منردات تكاليف التشغيل والصيانة السنوية للمحطة الريادية .

| الوزن            | الحالة الأولى   | الناتجة الذاتية |                 |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ألف د. ل. / سنة  | ألف ف. س. / سنة | ألف د. ل. / سنة | ألف ف. س. / سنة |
| 37.2             |                 | 37.2            |                 |
| 25.8             | 159             | 26.2            | 179             |
| 24               |                 | 24              |                 |
| في حالة استعماله |                 |                 |                 |

إن العمر الافتراضي لهذه المحطة هو ثلاثون عاماً . وبناء على تقديرات التكلفة الموضحة أعلاه ، وعلى تقديرات الطاقة الكهربائية المنتجة سنوياً من المحطة ، يمكن حساب تكلفة الكهرباء والمياه المنتجة كما هو مبين في الجداول التالية :

سنوية موزعة بالتساوي على العمر الافتراضي للمحطة ، وفي هذا الصدد أيضاً كان من الضروري تقدير العمر الافتراضي للمحطة . ولقد قدر هذا على أساس الخبرة المكتسبة في جهات مختلفة في العالم ، حيث تقوم منشآت مشابهة تحتوي على منظومات مشابهة . وهكذا أفترض

### 9.7.3 حساب تكلفة الكهرباء والمياه المنتجة

لتحويل المصاريف الرأسالية إلى تكلفة الإنشاء السنوية ، أفترض أن المشروع سوف يمول بالكامل عن طريق الافتراض بسعر فائدة يبلغ 6٪ سنوياً ، على أن يتم تسديد القرض بدفعات

جدول (3) : الحالة الأولى ، باستخدام الطاقة الشمسية فقط .

| الطاقة الكهربائية المنتجة سنوياً 2100000 كيلووات . ساعة |                 |                          |
|---------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------|
| مفرد التكلفة                                            | التكلفة السنوية | التكلفة للكيلووات . ساعة |
| (ألف د.ل.)                                              | (ألف د.ل.)      | (د.ل.)                   |
| تشغيل وصيانة                                            | 102.2           | 0.049                    |
| رأس المال                                               | 407.8           | 0.194                    |
| مجموع تكلفة الكهرباء                                    | 510             | 0.243                    |

جدول (4) : الحالة الثانية ، باستخدام الطاقة الشمسية فقط .

| الطاقة الكهربائية المنتجة سنوياً 1900000 كيلووات . ساعة |                 |                          |
|---------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------|
| مفرد التكلفة                                            | التكلفة السنوية | التكلفة للكيلووات . ساعة |
| (ألف د.ل.)                                              | (ألف د.ل.)      | (د.ل.)                   |
| تشغيل وصيانة                                            | 108             | 0.057                    |
| رأس المال                                               | 450             | 0.237                    |
| مجموع تكلفة الكهرباء                                    | 558             | 0.294                    |

جدول (5): الحالة الأولى، باستخدام الطاقة الشمسية والوقود الحفري.

| الطاقة الكهربائية المنتجة سنوياً |                 |                        |
|----------------------------------|-----------------|------------------------|
| 3000000 كيلووات.ساعة             |                 |                        |
| مفرد التكلفة                     | التكلفة السنوية | التكلفة للكيلووات.ساعة |
|                                  | (ألف دل.)       | (دل.)                  |
| تشغيل وصيانة                     | 126.2           | 0.042                  |
| رأس المال                        | 407.8           | 0.136                  |
| مجموع تكلفة الكهرباء             | 534             | 0.178                  |

جدول (6): الحالة الثانية، باستخدام الطاقة الشمسية والوقود الحفري.

| الطاقة الكهربائية المنتجة سنوياً |                 |                        |
|----------------------------------|-----------------|------------------------|
| 2800000 كيلووات.ساعة             |                 |                        |
| مفرد التكلفة                     | التكلفة السنوية | التكلفة للكيلووات.ساعة |
|                                  | (ألف دل.)       | (دل.)                  |
| تشغيل وصيانة                     | 132             | 0.047                  |
| رأس المال                        | 450             | 0.161                  |
| مجموع تكلفة الكهرباء             | 582             | 0.208                  |

ويلاحظ التأثير الكبير في اقتصاديات المحطة لمزاوجة عملها بين الطاقة السخية والوقود الحفري، إذ أن ذلك من شأنه أن يربط من كمية الطاقة الكهربائية المنتجة بزيادة لانكاد تذكر في تكلفة رأس المال. ولقد افترض أيضاً أن المياه المنحلاء في الحالة الثانية يمكن بيعها بمعدل دينار واحد للمتر المكعب. وفي هذه الحالة، يمكن استخدام الربيع المتحقق من بيع المياه في سداد جزء من تكلفة الكهرباء، وبالتالي تصبح تكلفة الكيلووات. ساعة كيلي:

جدول (7): تكلفة وحدة الكهرباء عند استخدام عائد بيع المياه المحلاة.

|                                        |                          |
|----------------------------------------|--------------------------|
| في حالة استخدام الطاقة الشمسية فقط     | 0.236 دل. / كيلووات.ساعة |
| في حالة استخدام الطاقة الشمسية والوقود | 0.169 دل. / كيلووات.ساعة |

كما يلاحظ التأثير الكبير لطريقة تمويل المشروع على تكلفة وحدة الكهرباء المنتجة . فإذا افترضنا أن رأس المال سيمول بالكامل عن طريق قرض بدون فائدة ، يسدد على دفعات متساوية طوال العمر الافتراضي للمحطة ، فإن تكلفة الكيلووات . ساعة في حالة بيع المياه المحلاة واستخدام الطاقة الشمسية والوقود معاً تصبح 0.082 د.ل بدلا من 0.169 د.ل/كيلووات . ساعة .

## 9 2 التقييم الاقتصادي لمحطة بترجية بقدرة 30 ميجاوات

لقد كان متوقفاً أن يكون لحجم المحطة الشمسية البترجية أثر فعال ينعكس على تكلفة وحدة الكهرباء المنتجة . ولدراسة هذا الأثر ، تضمنت

الدراسة إجراء تقديرات التكلفة لإنشاء وتشغيل محطة بقدرة 30 ميجاوات بغرض مقارنة ذلك بتكلفة المحطة الريادية . ومرة أخرى ، تطرقت هذه التقديرات إلى حالي إنتاج الكهرباء فقط وإنتاج الكهرباء والمياه معاً ، إما باستخدام الطاقة الشمسية فقط ، أو باستخدام الطاقة الشمسية والوقود الحفري معاً . ولبيان تأثير طريقة تمويل رأس المال ، درس بديلان للتمويل ، هما :

\* البديل الأول : الثلث الأول من رأس المال في صورة منحة ، والثلث الثاني في صورة قرض بدون فائدة ، والثلث الثالث في صورة قرض بفائدة 5٪ .

\* البديل الثاني : نصف رأس المال في صورة قرض بدون فائدة والنصف الآخر

في صورة قرض بفائدة 5٪ . وتلخص الجدول التالي التقييم الاقتصادي :

يلاحظ الأثر الكبير لحجم المحطة بمقارنة هذه النتائج بسابقتها . فزيادة قدرة المحطة البترجية من 1 إلى 30 ميجاوات ، انخفضت تكلفة الكيلووات . ساعة الواحد بنسبة 8 : 1 تقريباً في حالة استخدام الطاقة الشمسية مع الوقود لإنتاج الكهرباء والمياه . كما يلاحظ مرة أخرى تأثير طريقة التمويل ، إذ ارتفعت تكلفة الكيلووات . ساعة بنسبة 1 : 6.6 تقريباً عند استعمال البديل الثاني للتمويل

## 10 . الخلاصة

إن أهم ماتم في هذه الورقة هو دراسة الجدوى الاقتصادية للمحطات البترجية

جدول (8) : بديل التمويل الأول.

| الحالة                     | تكلفة رأس المال السنوية (د.ل./سنة) | تكلفة التشغيل والصيانة (د.ل./سنة) | تكلفة كل ك.وات . ساعة (د.ل./كيلو وات . ساعة) |
|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|
| كهرباء - شمس فقط           | 1729745                            | 451562                            | 0.044                                        |
| كهرباء - شمس + وقود        | 1762563                            | 960199                            | 0.030                                        |
| كهرباء + مياه - شمس فقط    | 1786005                            | 478813                            | 0.037                                        |
| كهرباء + مياه - شمس + وقود | 1856329                            | 997449                            | 0.021                                        |

جدول (9) : بديل التمويل الثاني.

| الحالة                     | تكلفة رأس المال السنوية (د.ل./سنة) | تكلفة التشغيل والصيانة (د.ل./سنة) | تكلفة كل ك.وات . ساعة (د.ل./كيلو وات . ساعة) |
|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|
| كهرباء - شمس فقط           | 2597216                            | 451562                            | 0.061                                        |
| كهرباء - شمس + وقود        | 2646491                            | 960199                            | 0.039                                        |
| كهرباء + مياه - شمس فقط    | 2681689                            | 478813                            | 0.057                                        |
| كهرباء + مياه - شمس + وقود | 2787280                            | 997449                            | 0.033                                        |

إن تقنية المحطات المرجية ، مثل كل تقنيات استغلال الطاقة الشمسية ، تتطلب رأس مال عال لإنشائها ، بينما تقل فيها تكاليف التشغيل عن مثيلاتها من محطات القوى التقليدية . وهو الأمر الذي يجب التنبيه إليه عند البحث عن أفضل طريقة لتمويل هذه المشاريع ، إذ أن ذلك يؤثر تأثيراً كبيراً في تكلفة الكهرباء المنتجة كما بينت هذه الدراسة

### المراجع

1. Chavez, J.M., Koib, G.J., Meinecke, W., Becker/Klimas (Eds). Second Generation central receiver technologies: A status report, Sandia National laboratories, Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1993.
2. Falcone, P.K., "A Handbook FOR Solar Central Receiver Design", Sandia National Laboratories, Livermore, CA, Dec. 1986
3. C.S.E.S., Atlantis Energy Ltd., "Second Report on the Feasibility Study For The CRS Solar Thermal Power Plant in Libya", 1st Part, Berne, March 1994.
4. Klett, D.E. et al. (ed.), Solar engineering. The 1994 ASME international solar energy conference, San Francisco, California, March 27-30, 1994.
5. Grasse, W. (ed.), Solar Power and Chemical Energy Systems. The International Energy Agency (IEA) SSPS/Solar PACES Program. Report on Activities and Results 1989-91. Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt, MD-PSA, Almeria, Spain, 1992.
6. Posnansky, M. and Pylkanen, T., High temperature volumetric gas receiver, results of the development and testing of the ATLANTIS ceramic Proceedings of the 6th international symposium on solar thermal technologies, Sept. 28-Oct. 2, 1992, p.291-298.
7. Posnansky, M. and Pylkanen, T., High temperature Volumetric gas receiver: The Atlantic ceramic grid receiver. Solar engineering. The 1994 ASME international solar energy conference, San Francisco, California, March 27-30, 1994. p.567-572

لتقنية المحطات المرجية بصورة عامة . ومن المهم في هذه الناحية التنبيه إلى أن تكلفة الكيلووات . ساعة الواحد المنتج من المحطة الريادية لا يجب أن يؤخذ كمعيار للتقييم الاقتصادي هذه التقنية . إذ اتضح جلياً أن لسعة المحطة المرجية أثر فعال في تخفيض التكلفة . كذلك تبين أن المزاوجة بين الطاقة الشمسية والوقود الحفري لها كبير الأثر أيضاً في تخفيض التكلفة ، إذ أن ذلك يمكن من استخدام نفس المنشأة لعدد أكبر من الساعات طوال العام ، وبالتالي إنتاج كمية أكبر من الطاقة الكهربائية . إلا أن تحديد الطريقة المثلى (عدد ساعات التشغيل الإضافي ، نوع الوقود ... الخ) يتطلب دراسة منفصلة لم تتعرض لها هذه الورقة .

وإيجاد المتغيرات التصميمية الأساسية للمحطة الريادية بعد دراسة المكونات المتاحة للمنظومة ، والتي بواسطتها يمكن للمحطة أن تولد 1 ميجاوات من القدرة

الكهربائية بشكل ثابت تقريباً لفترة 6 ساعات شتاءً إلى 10 ساعات صيفاً ، خلال يوم صاف . وللمحطة إمكانية تلبية الطلب على الطاقة الكهربائية بواسطة حارق زيت مساعد . والانتقال بين أساليب التشغيل المختلفة (شمسي فقط ، ومختلط) يتم بنعومة وبدون فقد في قدرة توليد البخار ، وذلك بتصميم خاص لمنظومة التحكم في تدفق انصواء بالمحطة .

لقد أعطت هذه الدراسة مؤشرات واضحة للدلالة على الجدوى الاقتصادية

|                    |                                        |
|--------------------|----------------------------------------|
| 1 ميجاوات          | القدرة الكهربائية التصميمية            |
| 21 يونيو (الصيف)   | النقطة التصميمية للمحطة                |
| 1.2                | معامل التضاعف الشمسي (Solar Multiple)  |
| 60 متراً           | ارتفاع مركز المستقبل عن الأرض          |
| 11500 متراً مربعاً | المساحة العاكسة الكلية للحقل           |
| 7.9 ميجاوات        | القدرة الساقطة على المستقبل            |
| 6.3 ميجاوات        | - الخرج المقدر                         |
| 81%                | - كفاءة المساحة الفعالة                |
| 80%                | - الكفاءة مشتملة على المركزات الثانوية |
| 800 هـ م           | - درجة حرارة الهواء الخارج             |
| 180 هـ م           | - درجة حرارة الهواء العائد للمستقبل    |
| 9.6 كجم/ث          | - معدل تدفق الهواء (الدوار)            |
| 7.8 ميجاوات ساعة   | سعة الخزان الحراري                     |
| (1.5 ساعة)         |                                        |
| 5.25 ميجاوات       | معدل مولد البخار                       |
| 8 كجم/ث            | - معدل تدفق الهواء                     |
| 20.6%              | كفاءة الدورة                           |
| 1.086 ميجاوات      | الخرج الإجمالي للمولد التوربيني        |