

## استخدام الطاقات المتجددة في تقنيات التحلية والتناضح العكسي المغذى من الألواح الكهروضوئية\*

م. رامي عبد الكريم\*\*\*

د.م. عباس صندوق\*\*

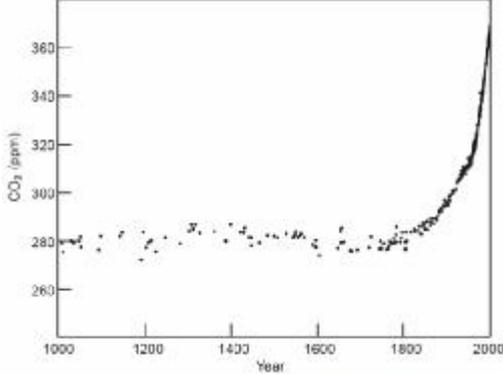
### الملخص

يزداد الطلب على الماء في ظل الازدياد الملحوظ للكثافة السكانية العالمية، الذي يؤدي بشكل تلقائي إلى ازدياد العجز في مياه الشرب إذ إن 1.2 مليار نسمة في العالم ليس لديهم ماء كاف للشرب، لأن العديد من التجمعات السكنية يتركز وجودها على الخطوط الساحلية، وفي هذا السياق تبدو تحلية المياه أحد الحلول الواعدة، خاصة في منطقتنا العربية، ويمكن لمحطات التحلية باستخدام الطاقة الشمسية أن تكون حلاً رائداً لتأمين مياه الشرب سواء من مياه البحر أو من مياه الآبار. إن أهم فائدة تمثل هذه الأنظمة هي الجمع بين تقنيات التحلية (التناضح العكسي في هذا البحث العلمي) ومصادر الطاقة المتجددة، إذ إن الهدف الرئيس هو تطوير الدراسة الفنية لهذه الأنظمة، والجدير بالذكر أنه هناك العديد من الإيجابيات لهذا الربط، إذ نفصل بين الشبكة الكهربائية وأعطالها من جهة والتزود بماء الشرب من جهة أخرى، كما نقوم بتخفيض حرق الوقود الأحفوري وما يترتب عليه من انبعاثات، كما يمكننا تزويد التجمعات السكنية البعيدة التي ليس لديها مصادر للطاقة التقليدية بمياه الشرب، ولكن هذا لا يعني أن لا يوجد سلبيات للنظام، فمن أهم سلبياته هو عدم إثبات الجدوى الاقتصادية له، ذلك لأن مثل هذه المشاريع تعتمد على كلفة الكهرباء في كل دولة وعلى الخصائص الشمسية لمكان المحطة. في هذا البحث العلمي قمنا بتصميم نموذج مخبري لنظام تناضح عكسي مغذى من الألواح الكهروضوئية وتنفيذه لتعرف أدائه من أجل مياه البحر والمياه العكرة، ومن الجدير بالذكر أن أهم مشكلة صادفتنا في هذا المشروع هي الحصار الاقتصادي المفروض على الجمهورية العربية السورية والتي كانت عائقاً لإحضار التجهيزات اللازمة، لذلك قمنا بإنجاز هذا المشروع بحسب الإمكانيات المحلية المتاحة، مع الحرص على المحافظة على مبدأ العمل؛ لذلك كان النموذج فقط للمياه المنزلية والمياه العكرة بشكل خفيف.

الكلمات المفتاحية: الألواح الكهروضوئية، التحلية، الطاقات المتجددة، الطاقة الشمسية، التناضح العكسي.

\* أعد هذا البحث في سياق رسالة الماجستير للمهندس رامي عبد الكريم بإشراف الدكتور المهندس عباس صندوق  
\*\* محاضر وأستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.  
\*\*\* شعبة الطاقات المتجددة - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

ولكن منذ الثورة الصناعية زاد هذا المقدار بشكل متسارع كما هو مبين بالشكل (1):



الشكل (1) ثنائي أكسيد الكربون في الألف سنة الماضية

إن العواقب من هذه التغيرات الملحوظة بشكل كبير على الغلاف الجوي لم تُعرف بعد بشكل كامل، ولكن على الأقل يمكننا القول إنَّ الاستمرار في زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون هو تصرف متهور، كما يمكننا القول: إنَّ إسهام محطات التحلية بزيادة تركيز غاز ثنائي أكسيد الكربون لا يمكن الاستهانة بها أو تجاهلها، وإنها معرضة للزيادة مادام نمو القطاع الصناعي مستمراً في العالم.

وللحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من أنظمة التحلية لابدَّ من تطبيق تقنيات الطاقات المتجددة التي هي بالأساس منافسة للوقود الأحفوري في العديد من المواقع، وكمثال جيد على هذه التنافسية يمكننا طرح العنفات الريحية المتصلة مع الشبكة والطاقات الشمسية الحرارية والألواح الكهروضوئية المستقلة عن الشبكة.

ويمكن الحصول على الطاقة المتجددة من مصادر متنوعة كما يمكن الاستفادة منها بطرائق متعددة، حالها كحال التحلية التي يمكن تحقيقها بعدة طرائق، ويمكن التغلب على التقلبات الكثيرة لهذه المصادر من خلال الاستعانة بأكثر من مصدر، كما يمكننا القول: إنَّ تشكيلة الألواح الضوئية المغذية لأنظمة التناضح العكسي هي واحدة من أكثر الأنظمة صغيرة الاستطاعة الواعدة

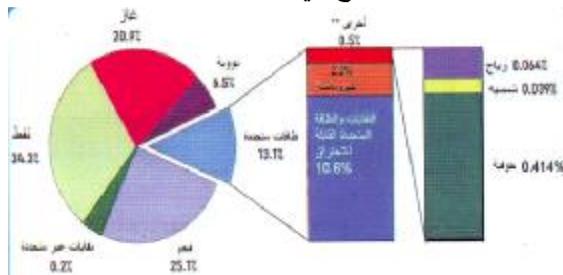
## 1. المقدمة:

تؤمن لنا تحلية مياه البحر والمياه الجوفية العكرة ماءً نقياً للشرب يشكل العمود الفقري للقطاع الصناعي، ومعظم التقنيات التي تستخدم هذه الطريقة هي تقنيات التقطير الحراري والتناضح العكسي، وتعتمد معظم القرى والمدن خاصة في الشرق الأوسط ودول الخليج على محطات التحلية ذات الاستطاعات الكبيرة من أجل الحصول على مياه الشرب، أمّا المحطات الصغيرة فتقام على الآبار أو على السفن.

وفي الوقت ذاته فإن العالم يواجه عجزاً مائياً حاداً، إذ إنَّ 1.2 مليار شخص (وهو ما يمثل سدس سكان العالم) ليس لديهم الإمكانية للحصول على مياه محسنة للشرب، والإشارات كلّها تشير إلى أن الوضع يتجه نحو الأسوأ فيما لو لم تُفَعَّل معاهدة اليونسكو عام 2003، ومن ثمَّ فإن التحلية تؤدي دوراً ملحاً ومنتزحاً في سدِّ هذه الاحتياجات المائية، ولكنها مازالت محدودة بسبب ارتفاع تكاليفها، المتعلقة بشكل كبير بأسعار الطاقة، إذ إن التحلية تستهلك كثيراً من الطاقة التي تكتم من أجل طاقة محددة، أي أنها هي الطاقة المستهلكة في التحلية من أجل واحدة الحجم من الماء التي تعطى ب kWh/m<sup>3</sup>، وهي كحد أدنى نظرياً 0.7 kWh/m<sup>3</sup> عندما تجري التحلية من مياه البحر (بحسب جونسون وآخرون عام 1966)، أمّا بشكل عملي فهي أكبر بعدة مرات عن الطاقة المحسوبة بشكل نظري، لذا تبيّن سبب وجود التحلية الصناعية في المدن لارتباطها دوماً بأماكن وجود الشبكة الكهربائية.

كما أن استهلاك الطاقة من أجل التحلية له آثارٌ بيئية، بسبب إطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون CO<sub>2</sub> في الغلاف الجوي من خلال حرق الوقود الأحفوري، فقد كان تركيز هذا الغاز قبل الثورة الصناعية في الستينيات من القرن الثامن عشر نحو 280 ppm، وبقيت كذلك زمناً طويلاً،

تمثل النفايات والطاقة المتجددة القابلة للاحتراق الجزء الأكبر، نحو 80% من إجمالي الطاقة المتجددة (أي 10.6% من إجمالي الطاقة العالمية). تليها الطاقة الكهرومائية بنسبة 16.5% ثم الطاقات الأخرى (التي تشمل الطاقة الشمسية والرياح والجوفية والمد والجزر والمحيطات) بنسبة 3.8% من الطاقات المتجددة في عام 2004 وكما هو موضح في الشكل (2):



الشكل (2) حصص أنواع الوقود من إجمالي إمدادات الطاقة الأولية في العالم لعام 2004

ولأغراض المقارنة، استحوذت الطاقات المتجددة على نسبة 7.4% من إجمالي استهلاك الطاقة في العالم في عام 2004، وفق بيانات إدارة معلومات الطاقة التابعة لوزارة الطاقة الأمريكية، مقيسة على أساس المحتوى الحراري المكافئ. علماً بأن تلك البيانات لا تشمل الطاقة الحيوية غير التجارية والنفايات والوقود الحيوي.

تتفاوت أهمية الطاقات المتجددة وأنواعها من إجمالي ميزان الطاقة في البلدان والمجموعات الدولية المختلفة تبعاً لاختلاف ظروفها. فقد راوحت حصتها من إجمالي إمدادات الطاقة الأولية لعام 2004 من 0.7% بالنسبة إلى الشرق الأوسط إلى 49% بالنسبة إلى إفريقية، وجاءت بين الاثنتين المجموعات الدولية الأخرى مثل آسيا بنسبة 31% وأمريكا اللاتينية بنسبة 28.9% كما في الشكل (3):

بسبب تنافسيتها مع المصادر الأخرى، وبالفعل فإن أنظمة PV-RO من أجل المياه العكرة متوافرة تجارياً بشكل كبير، أمّا تحلية مياه البحر فهناك تحديات استهلاك الطاقة، فضلاً عن تأمين المواد المطلوبة ولكن بالنتيجة بنية النظامين هي ذاتها لذلك سنلجأ إلى إجراء نموذج رياضي لتحلية كل من مياه البحر والمياه العكرة ونموذج فيزيائي للمياه العكرة لتسهيل العمل وتسهيل إيصال فكرة التناضح العكسي المغذى من الألواح الكهروضوئية. [1]

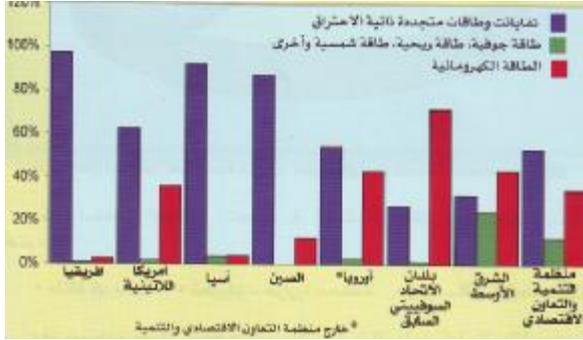
## 2. أهمية الطاقات المتجددة في سوق الطاقة العالمية:

هناك تفاوت في تحديد دقيق للطاقة المتجددة وتعريفها، مما أدى إلى اختلاف في البيانات والإحصائيات الخاصة بتلك الأنواع من الطاقات الصادرة عن البلدان والمؤسسات العالمية المختلفة في أكثر الأحيان. فمثلاً، الوقود الحيوي المستخدم في قطاع النقل هو شكل من أشكال الطاقة الحيوية، ضمن صنف السوائل غير التقليدية (Non-Conventional Liquids) في البيانات والإحصائيات الصادرة عن بعض المؤسسات العالمية الرئيسية المختصة بشؤون الطاقة التابعة لوزارة الطاقة الأمريكية.

كما تشمل بعض البيانات الخاصة بالطاقة المتجددة الصادرة عن بعض المصادر أرقاماً عن الكتلة الحيوية التقليدية والنفايات القابلة للاحتراق، في حين تستبعد بعضها بعض المصادر الأخرى. فضلاً عن ذلك، فإن تعدد الوحدات المستخدمة في قياس الطاقات المتجددة وتنوعها يضيف بعداً آخر في صعوبة مقارنة البيانات الخاصة بتلك المصادر المختلفة.

وعلى العموم، تشير بيانات وكالة الطاقة الدولية باستحواذ الطاقات المتجددة (تجارية وغير تجارية) على نسبة نحو 13% من إجمالي إمدادات الطاقة الأولية العالمية في العام 2004 التي تزيد على ضعف إسهام الطاقة النووية خلال السنة المذكورة.

إجمالي طاقاتها المتجددة لعام 2004، أمّا الصين فكانت نسبتها 0%، كما هو موضّح في الشكل (4): [2]

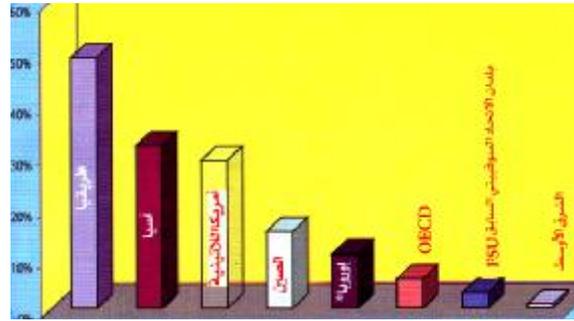


الشكل (4) حصة أنواع الطاقات المتجددة المختلفة من إجمالي الطاقات المتجددة للمجموعات الدولية المخلّفة لعام 2004

### 3. استخدام الطاقات المتجددة في تقنيات التحلية:

يمكن إنقاص انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بشكل كبير من خلال استخدام الطاقات المتجددة، التي تتوفر في الأماكن التي تعاني عجزاً مائياً، مما أدى إلى استثمارات كبيرة لاستخدام الطاقات المتجددة في التحلية، وبالفعل هناك العديد من المحطات الرائدة المبنية والمشغلة في العالم، وحتى بشكل أكبر من الاستثمارات النظرية المدروسة.

وأكثر هذه الطاقات استخداماً في التحلية هي الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، لذلك سنتكلم عن إيجابياتها ومساوئها بالتفصيل، كما أن هناك استطاعات عالية لمحطات تعمل بطاقة الأمواج ولكنها لم تثبت فعاليتها بشكل مطلق، كما يمكن أن تكون طاقة المد والجزر والطاقة الجيوحرارية ملائمة لهذه التطبيقات بشكل أكبر ولكنها متوفرة ببعض الأماكن، والجدير بالذكر أيضاً أنه لم تُستخدَم الطاقة الحيوية والطاقة المائية بشكل واسع في هذا المجال. [1]



الشكل (3) حصة الطاقات المتجددة من إجمالي إمدادات الطاقة الأولية لعام 2004

وكان هناك تفاوت كبير في أهمية الأنواع المختلفة لمصادر الطاقة المتجددة من إجمالي تلك الطاقة. إذ تشير بيانات وكالة الطاقة الدولية إلى أنّ النفايات والطاقة المتجددة القابلة للاحتراق تمثل الحصة الأساسية أي نحو 97.1%، من إجمالي ذلك النوع من الطاقات في إفريقيا لعام 2004. جاءت بعدها آسيا بنسبة 92.4%، وجاءت بلدان الاتحاد السوفياتي السابق في آخر السلم بأدنى نسبة، 27.3% من إجمالي الطاقات المتجددة لعام 2004. أمّا بلدان الشرق الأوسط فكانت نسبتها 32%، ويرجع انخفاض النسبة في كل من بلدان الاتحاد السوفياتي السابق والشرق الأوسط إلى توافر المصادر الهيدروكربونية، بالأخص النفط والغاز (والفحم في بعض بلدان الاتحاد السوفياتي السابق). أمّا الطاقة الكهرومائية، فقد جاءت بلدان الاتحاد السوفياتي السابق في المقدمة بنسبة 71.4%، من إجمالي الطاقات المتجددة لتوافر مساقط المياه فيها، تلتها بلدان الشرق الأوسط بنسبة 43.4%، ثم أمريكا اللاتينية 36.1%. أمّا أدنى نسبة وهي 2.6%، فكانت من نصيب إفريقيا.

وشكلت الطاقات المتجددة الأخرى (جوفية وشمسية ورياح وأخرى) 24.4% من إجمالي الطاقات المتجددة في الشرق الأوسط، تلتها بلدان منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية بنسبة 12%، وآسيا 3.6%، من

تفوق مستويات الطاقة التقليدية بنحو ثلاثة إلى أربعة أضعاف.

ن عدم توافر الكهرباء أو الحرارة من الطاقة الشمسية في أثناء الليل أو خلال الأحوال الجوية غير المواتية، مما يتطلب تخزينها أو ربطها بنظام مكمّل لمعظم التطبيقات.

ن كما تعاني الطاقة الشمسية من مشكلات بيئية تتمثل بالمساحة المطلوبة لتشديد الألواح الشمسية ومستلزماتها. ويساور بعضهم القلق من الغازات التي تنبعث من تصنيع الخلايا الكهروضوئية وتلك التي قد تنبعث منها عند انتهاء دورة حياتها، إذ يحتوي بعضها على عناصر كيميائية مثل الكاديوم والزرنيخ وغاز الميثان فضلاً عن مواد كيميائية ومعادن سامة ولو بنسب قليلة جداً.

ن وتواجه صناعة الخلايا الكهروضوئية عائقاً آخر هو نقص السيليكون المناسب لصناعتها، وهو المطلوب بشدة لصناعة أشباه الموصلات (Semi Conductors)، مما رفع أسعار إنتاج الخلايا الضوئية ولاسيما أنه يتوقع التزايد على طلب السيليكون في هذا الضرب من الصناعة من 41 ألف طن في عام 2006 إلى 120 ألف طن في عام 2010. وعلى الرغم من توافر مادة السيليكون في الطبيعة، إلا أن الحصول على سيليكون خالص لإنتاج الخلايا الضوئية لا يزال يعدّ عملية معقدة. [2]

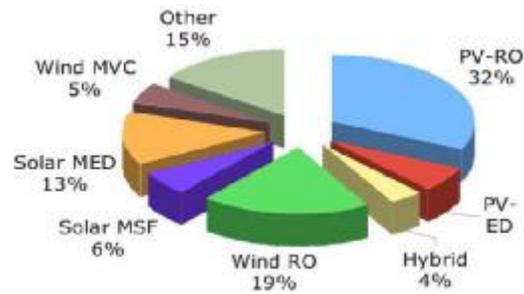
#### 5. الميزات والسلبيات لطاقة الرياح:

أهم ما تتميز به طاقة الرياح هو:

ن الرياح مجانية وتشغيل العنفات والحقول الهوائية لا يتطلب أي وقود.

ن لا ينتج عن تشغيلها أية انبعاثات لغازات الدفيئة أو فضلات.

ن يمكن زرع الأراضي التي تتركب عليها التوربينات وفلاحتها.



الشكل (5) إسهام الطاقات المتجددة في أنظمة التحلية (Spang 2006)

#### 4. الميزات والسلبيات لطاقة الشمسية:

تمتلك الطاقة الشمسية العديد من الفوائد لأنها تدخل في تطبيقات متعددة ومتنوعة لتلبية متطلبات الحياة اليومية:

ن سهولة بعض تقنياتها ومرونتها، كالخلايا الكهروضوئية، التي يمكن تركيبها فوق سطوح المنازل والأبنية الأخرى واستخدامها في بعض الأماكن التي يصعب فيها الحصول على كهرباء لعدم إمكانية الربط بالشبكات الوطنية أو صعوبته أو صعوبة نقل الوقود أو ارتفاع التكاليف، كما في حالة الأقمار الصناعية والمناطق النائية والسفن.

ن لا تنبعث عن الكهرباء الناتجة أية غازات ضارة أو إشعاعات أو تلوث فضلاً عن صمتها المطبق، فهي إذاً وبالمقاييس كلّها تعدّ طاقة صديقة للبيئة.

ن صحيح أن الكهروضوئية تستهلك طاقة خلال عملية تصنيعها، إلا أن الطاقة المتراكمة التي تنتجها خلال عمرها التشغيلي تزيد كثيراً على تلك الداخلة في تصنيعها. وقد قدرت بعض المصادر أن الإنتاج مدة 2-5 سنوات يكفي لتعويض الطاقة المستهلكة في عملية التصنيع.

أمّا المحددات والمعوقات التي تجابه تطوراً واسعاً في الطاقة الشمسية في المستقبل فهي عديدة ومنها:

ن التكاليف العالية التي تتميز بها الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء مقارنة بالتقنيات الأخرى سواء كانت تقليدية أو من مصادر متجددة أخرى. وقد قدرت بعض المصادر بأنها

تتطلب حقول طاقة الرياح مساحات كبيرة من الأراضي بواقع 0.1 إلى كيلومتر مربع لكل ميغواط. ومن ثمّ فهي ليست مناسبة للبلدان كلّها خصوصاً أنّ هناك بلداناً صغيرة ليس لديها مساحات أراضٍ تسمح بتركيب حقول هوائية لاستغلال طاقة الرياح.[2]

## 6. مقتطفات من الاستخدامات البسيطة للطاقة الشمسية [1]:

### 6.1. التقطير الشمسي:

ربما تكون هذه الاستخدامات هي الشكل الأقدم لتجهيزات التحلية التي صنعها البشر، وهذه البساطة هي التي تعطيها الديمومة، وتضم حوضاً مغطى بالزجاج ومملوءاً بمياه البحر، والحرارة الناتجة عن تأثير البيت الزجاجي تسبب التبخر، ثم يتكاثف هذا البخار على الزجاج على شكل قطرات ماء نقي الذي يُفصل عن ماء البحر الأصلي، ولسوء الحظ، إنتاجية هذه الطرائق منخفضة جداً: إذ  $5L/d/m^2$  بأحسن الظروف، هذا يعني أن  $3m^3/d$  يمكن أن يتطلب مساحة  $600 m^2$ . (ويمكن أن نحصل في نظام PV-RO على الإنتاجية نفسها ب  $20 m^2$  من الخلايا). وتأتي هذه الإنتاجية المنخفضة جزئياً من حقيقة أن هذه الاستخدامات البسيطة للطاقة الشمسية تعتمد التحلية أحادية المرحلة، هذا يعني أنها تستخدم حرارة التبخير الكامنة ( $627 kWh/m^3$ ) ولا تكررُ أيّ من هذه الحرارة، أيضاً وجود اللواقط الشمسية والمبخرات كوحدة واحدة يؤدي إلى ضياعات ملحوظة (بحسب نظرية Spiegler عام 1994). وحتى لو كانت الأرض متوافرة بشكل رخيص أو مجاني، فإن الصيانة للأحواض الشمسية (مثل التنظيف المستمر للزجاج) برهنت عدة مرات أنها طريقة غير عملية (بحسب Delyannis عام 2001).

تتصف بالمرونة لأن التوربينات ذات أحجام مختلفة، وهي ملائمة لتوفير الطاقة للأماكن البعيدة أو النائية، كما يمكن ربطها بشبكة الطاقة الوطنية. أمّا المحددات والمشكلات التي نعاني منها طاقة الرياح فمن أهمها ما يأتي:

تتطلب عدم انتظام هبوب الرياح.

تتطلب المواقع التي تكثُر فيها الرياح وقلة ملائمتها اقتصادياً أو بيئياً أو كليهما. إذ قد تكون نائية أو واقعة في مناطق بحرية أو غير مأهولة لا تحتاج إلى طاقة، وهو ما يحتمّ نقل الطاقة الكهربائية المولدة فيها مسافات بعيدة لإيصالها إلى مراكز الاستهلاك.

تتطلب وإن حققت تكاليف طاقة الرياح انخفاضاً ملحوظاً، إلا أنها لا تزال أعلى من تكاليف التوليد بالوقود الأحفوري بالتقنيات الحالية لا سيما الغاز الطبيعي والفحم. فضلاً عن ذلك فقد أدت زيادة الطلب العالمي على الحديد والصلب إلى رفع أسعار التوربينات بنحو 30% في عام 2005، مما عرض بعض مشاريع الطاقة الريحية لمخاطر التوقف. من جهة أخرى، فإن الجزء الأساس من الانخفاض في التكاليف قد حدث قبل 10 إلى 15 سنة، السنوات القليلة الأخيرة تميّزت بوتيرات تخفيض أقل نسبياً.

تتطلب تحديث التوربينات الهوائية، وبالأخص القديمة، ضجيجاً وصخباً، إلا أن ذلك قد انخفض كثيراً في التصاميم الجديدة للتوربينات،

تتطلب قد تشكل التوربينات خطراً على الطيور.

تتطلب لم توجه لطاقة الرياح، خلال سنوات طويلة، أية انتقادات بيئية، إلا أنه بدأت تثار ضدها تحفظات اجتماعية رئيسة من باب "ليس بجواري" (Not in my Backyard)، خلال السنوات القليلة الماضية، إذ أصبح القبول الاجتماعي من العوامل المحددة التي تجابه نمو طاقة الرياح في المستقبل.

ستواجه منافسة متزايدة من قبل التناضح العكسي المغذى من الألواح الكهروضوئية. على أية حال ربما تكون بديلة -على مجال ضيق- عن شكل التقطير الغشائي.

### 6.3. التقطير الغشائي:

إن الأغشية الكارهة للماء المستخدمة في التقطير الغشائي، ليست كالأغشية في التناضح العكسي أو الفصل الشاردي التي فيها تأتي المقاومة من كونها مبللة وتحجز مرور كل من الماء والأملاح المنحلة، فهي على أية حال قابلة لتمرير بخار الماء. أمّا أغشية التقطير فهي بالأصل طريقة تُقاد بالحرارة ويمكن أن تحقق تكرير حرارة التبخير الكامنة من دون تعقيدات التأثيرات المتعددة أو ضواغط البخار، هذا يجعل التقطير الغشائي ناجحاً من أجل استثمارات معينة لتطبيقات قليلة، فضلاً عن ذلك ونظراً إلى أن هذا الغشاء ليس انتقائياً للماء أو شوارد الملح فإن فعالية المسام يمكن أن تكون أكبر 1000 مرة من التناضح العكسي، وترتبط بحقيقة أنها غير مبللة مما يؤدي إلى إنقاص آثار الترسبات، ومايزال التقطير الغشائي في مرحلة البحث، ويعدّ خياراً واعداً كبيراً للتطبيقات المغذاه من الطاقة الشمسية (Koschikowski et al. 2003; Cabassud et al. 2003).

### 6.4. التجميد:

عندما تُجمد مياه البحر فإن الجليد المتشكل يكون تقريباً نقياً والملح سيغادر مع السائل المتبقي، وُحُثت التحلية الجليدية بقوة في الخمسينيات والستينيات لأنها وعدت أن تكون ذات كفاءة طاقة كبيرة وذات مشكلات تكلس أقل من طرائق المعالجة الحرارية (Snyder 1966)، ولكن الصعوبة هي بالتعامل الميكانيكي وبفصل الجليد الذي لا ينحل عن الماء، والبحث كان مهماً عندما كان التناضح العكسي متوافراً. وفي الوقت نفسه طُوّر تجارياً لأغراض تخزين الطاقة المرتبطة بتكييف الهواء، وتحتوي الخزانات محاليل مائية تسهل الانصهار إذ تُجمد ليلاً

### 6.2. التحلية الحرارية الشمسية غير المباشرة:

هناك محاولات لاتعدّ ولا تحصى لتحسين أداء التحلية الشمسية، وأكثرها نجاحاً تتطوي بشكل عام تحت فصل اللاقط الشمسي الحراري عن المبخر الذي يعرف بالتحلية الحرارية الشمسية غير المباشرة، عندها يمكن تخزين الطاقة الحرارية في خزان الماء الساخن الذي يسمح للإنتاج أن يتواصل ويستمر خلال الليل، ويمكن تحسين المردود من خلال جعل سطح التكثيف أبرد مايمكن، ويمكن أن تُحسّن اللواقط الشمسية المستخدمة (مثل استخدام المركّزات (المرايا) ذات القطع المكافئ واللواقط ذات الأنابيب المخلاة من الهواء، ومن أجل مردود أكبر، يمكن إعادة تكرير الحرارة الكامنة للتبخير التي تنتقل بالتصميم باتجاه التحلية المتعددة التأثير (MED) أو الومضية (MSF).

ومن خلال مناقشة خيارات التحلية الحرارية الشمسية المتنوعة المعطاة من قبل Kalogirou عام 1997 ومراجعة العديد من المحطات الرائدة من قبل Garcia-Rodriguez (2002)، عُرضت عام 2001 العديد من المناقشات المفصلة للجدوى الاقتصادية لمحطات تحلية مياه البحر الشمسية الصغيرة متعددة المراحل.

الجدول (1) استهلاك الطاقة في تحلية مياه البحر

	Electrical-equivalent energy consumption (kWh/m <sup>3</sup> )
MSF	15.5
MED	6.5
Mechanical Vapour Compression	8 - 14
Reverse Osmosis (RO)	4 - 7

ومن سوء الحظ كما هو مبين بالجدول (1) أعلاه فإن طلب الطاقة الحرارية حتى لمعظم أنظمة التحلية الومضية MSF والمتعددة التأثير MED يُؤخذ بالحسبان، فضلاً عن ذلك، لتحقيق هذه المراد فإن أنظمة MED وMSF معقدة التشغيل ولذلك فإنها تميل لنجاح أكبر على مجال واسع، وبالنتيجة تبقى التحلية الحرارية الشمسية غير المباشرة مستثمرة على مجال واسع ومتوسط، ولكن

Canaria الذي هو استخدم التخزين بالعجلة الهوائية ويتكون من 8 مجموعات من التناضح العكسي (رحال 2001 Rahal)، وتمتلك شركة إنركون Enercon عدداً من الأنظمة الرائدة عالمياً والمركبة، ولكنها تظهر بشكل قليل، في حين انتشرت أنظمة شركة فيرجنت Vergnet بشكل أكبر ولكنها كانت أقل نجاحاً من الشركة السابقة ويمكن الحصول على تفاصيل التناضح العكسي المغذاة بالطاقة الريحية من نظرية Marcos Miranda عام 2003.

هناك اختلاف بسيط لأنظمة التناضح العكسي المغذاة من الطاقة الريحية، إذ يمكن أن يُوضع في البحر على قارب إبحار، وعندها تشغل العنفة المضخة التي تغذي غشاء التناضح العكسي، وهناك خطان فقط من الأنابيب لنقل الماء المالح والماء النقي.

#### 6.6. دراسات أخرى:

نُوقِشتَ فيما سبق الجدوى للتشكيلات الواعدة للطاقة لتقنيات التحلية باستخدام الطاقات المتجددة، وفي السنوات الحالية عام 1996م أُجريت دراسات متكاملة من قبل Rodriguez-Girones، وبعض هذه البحوث كانت متوافرة على شبكة الإنترنت (Assimacopoulos عام 2001 وكان هناك اتفاق واسع على أن هذه الدراسات كانت شاملة وأن: "PV-RO" هي تشكيلة التحلية المفضلة من أجل الأنظمة الصغيرة المستقلة"، وهي الطريقة المختارة في هذا البحث. [1]

#### 6.7. التناضح العكسي المغذى بالألواح الكهروضوئية:

إن تشكيلة الألواح الكهروضوئية المغذية لأنظمة التناضح العكسي هي واحدة من أكثر الأنظمة صغيرة الاستطاعة الواعدة بسبب تنافسيتها مع المصادر الأخرى، وبالفعل فإن استخدام أنظمة PV-RO من أجل المياه العكرة متوافرة تجارياً بشكل كبير، أمّا بالنسبة إلى تحلية مياه البحر فهناك تحديات استهلاك الطاقة، فضلاً عن تأمين

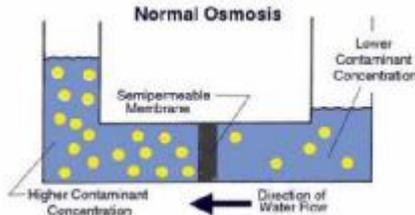
خلال الفجوة للشبكة الكهربائية (أي استهلاك أصغري للطاقة) وتُصهر بعد ذلك خلال النهار لتأمين التبريد. وبملاحظة أن التحلية تُوظف عادة في المناطق ذات الطلب الكبير لتكييف الهواء، فإن أحد التساؤلات أنه هل يمكن استخدام هذه الطريقة لكنتا الفائدتين (التحلية والتكييف) وأن يجعلها قابلة للاستثمار من أجل الأنظمة التي تعتمد الطاقة الريحية والتي حينها يكون مصدر الطاقة متقطعاً؟

#### 6.5. التناضح العكسي المغذى ريحياً:

إن الطاقة الريحية هي تقنية قيد التأسيس، وبالعديد من المقامات فإنها تزودنا بطاقة كهربائية أقل كلفة من الكهرباء المستمدة من الوقود الأحفوري، لذلك فإن تشكيلة تناضح عكسي مغذى ريحياً تظهر على أنها جذابة جداً، حتى في المواقع ذات مصدر رياح منخفض، والتحدي هنا هو التغيير بشدة الرياح ومن ثمّ عدم استقرار الإنتاجية.

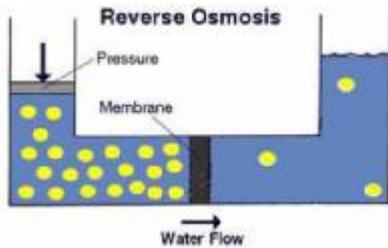
وبالوقوف على هذا، ربما أحدنا يأخذ انطباعاً أن الرياح تهب بشكل ثابت، وبالقياس بواسطة الأنيمومتر ومراقبة السرعات على راسم الإشارة تبيّن أن الرياح ذات تغيير كبير جداً، والتعامل مع هذا التغيير هو واحد من التحديات الرئيسية التي تواجه مصممي العنفات الريحية، وإن وصل نظام التناضح العكسي مباشرة مع العنفة الريحية، دون أي شكل من أشكال تخزين الطاقة، يؤدي إلى نقل هذا التغيير إلى غشاء التناضح العكسي، ومعظم مصممي التناضح العكسي يبتعدون عن هذا التطبيق، وفي حال استخدموه فإنهم يعتمدون الوقود الأحفوري كمصدر احتياطي، وعندها تدعى هذه الأنظمة بالأنظمة الهجينة، في حين يعتمد الآخرون على الاتصال بالشبكة التي نوقشت سابقاً، لذلك فإن الاعتماد على الطاقة الريحية في التناضح العكسي هي عبارة عن تطبيقات قليلة ومتباعدة، كما أن هناك مشروع SDAWES في غران كاناريا Gran

وسيتدفق الماء من الطرف الأقل تركيزاً للأملاح إلى الطرف الأكثر تركيزاً، وأخيراً فإن ضغط التناضح (كما هو مبين على الشكل (6)) بأنه اختلاف بمستوى الماء على طرف الغشاء) سيواجه الانتثار ويسبب توازناً على طرفي الغشاء.



الشكل (6) التناضح الطبيعي

تجبر تقنية التناضح العكسي الماء ذا التركيز الأعلى (مياه المصدر) بالاتجاه نحو الخزان الحاوي على التركيز الأقل من الملوثات (الماء المعالج) كما هو موضّح بالشكل (7) أدناه، ويُستخدم الضغط العالي في طرف مياه المصدر من أجل عكس التناضح الطبيعي، مع استخدام الغشاء النصف نفوذ الذي مازال يسمح بمرور الماء مع رفض معظم الملوثات وطرحها، إذ إن خصوصية هذه الطريقة من خلال ما يسمى إقصاء الشوارد التي فيها يشكل الغشاء عائقاً أمام الشوارد أي إنه يسمح لجزيئات الماء الأخرى بالعبور في حين يُبعد الجزيئات الأخرى.



الشكل (7) التناضح العكسي

جاءت الأغشية نصف النفوذة منذ قرون من خلال مثانة الخنزير الطبيعية المستخدمة في تجارب التناضح في الماضي، وكانت هذه الأغشية غير فعالة قبل الستينيات من القرن العشرين فضلاً عن غلائها وعدم وثوقيتها من أجل التطبيقات العملية خارج المختبرات، ولكن الدراسات

المواد المطلوبة، ولكن بالنتيجة بنية النظامين هي ذاتها لذلك سنلجأ إلى إجراء نموذج رياضي لتحلية المياه العكرة ونموذج فيزيائي للمياه العكرة لتسهيل العمل وتسهيل إيصال فكرة التناضح العكسي المغذى من الألواح الكهروضوئية.

## 7. تشكيلات الطاقة المتجددة الموصى بها المغذية لأنظمة التحلية:

يوضّح الجدول (2) نوع الطاقة المتجددة الموصى بها لكل تقنية؛ وذلك بحسب نوعية الماء المغذي والماء الناتج وتقنية التحلية المستخدمة [3]:

### الجدول (2) تشكيلات الطاقة المتجددة الموصى بها المغذية لأنظمة التحلية

Feed water quality	Product water	RE resource available	System size			Suitable combination
			Small (1-50 m <sup>3</sup> /d)	Medium (1-50 m <sup>3</sup> /d)	Large (1-50 m <sup>3</sup> /d)	
Brackish water	Distillate	Solar	*			Solar distillation
	Potable	Solar	*			PV-RO
	Potable	Solar	*			PV-ED
	Potable	Wind	*			Wind-RO
Seawater	Potable	Wind	*	*	*	Wind-ED
	Distillate	Solar	*			Solar distillation
	Distillate	Solar	*	*	*	Solar thermal-MED
	Distillate	Solar	*	*	*	Solar thermal-MED
	Potable	Solar	*			PV-RO
	Potable	Solar	*			PV-ED
	Potable	Wind	*	*	*	Wind-RO
	Potable	Wind	*	*	*	Wind-ED
	Potable	Wind	*	*	*	Wind-MVC
	Potable	Geothermal	*	*	*	Geothermal-MED
Potable	Geothermal	*	*	*	Geothermal-MED	

## 8. التناضح العكسي المغذى بالألواح الكهروضوئية:

### 8.1. آلية عمل التناضح العكسي:

إن الأغشية نصف النفوذة مثل غشاء الخلية أو المثانة هو غشاء انتقائي حول ما يسمح بالعبور من خلاله وما يمنع بالعبور من خلاله، يبيّن الشكل (6) هذه الأغشية التي تمرر المياه بسهولة فائقة، بسبب الحجم الجزيئي الصغير، ولكنها أيضاً تمنع العديد من النفايات والأوساخ من العبور، من خلال حصرها، وبالنتيجة سيصبح لدينا ماء في كلتا جهتي الغشاء مع العلم أن لكل جهة تركيزاً للأملاح المنحلة يختلف عن الآخر، وهنا يسعى الماء في الطرف الأقل تركيزاً أن يخفف الطرف الأكبر تركيزاً،

الماء الداخل، ونوع الغشاء وطبيعة الغشاء وتصميم النظام وآلية التحكم، والمكونات الرئيسية المترسبة على الأغشية هي النفايات الحيوية والجزئيات والتكلس، وهذه المواد تسبب معوقات إضافية لضمان العمل بشكل مستمر للأغشية، وفي نقطة معينة فإن الضغط سيزداد كثيراً مما يؤدي إلى نتائج سلبية من الناحية الاقتصادية والفنية.

### 8.2.1. الأغشية الأنبوبية:

يبين الشكل (8) مقطعاً عرضياً للأغشية الأنبوبية إذ إن هذه الأغشية لا تدعم نفسها ذاتياً، حيث تتوضع داخل أنبوب مصنوع من نوع معين من المواد، هذه المواد هي طبقة الدعم للغشاء، ذلك لأن موقع الأنابيب المشكلة للغشاء يكون داخل هذا الأنبوب، ومن ثمّ التدفق حتماً سيكون داخل هذا الغشاء، والسبب الرئيسي لهذه المرفقات للغشاء هو تقديم طبقة دعم. ويراوح قطر هذه الأغشية بين 5-15 mm، وبسبب حجم سطح الغشاء فإن إنتاج ماء محلى بشكل كبير من المرجح ألا يحدث، وسلبية هذه الأغشية هي أن كثافة التعبئة منخفضة التي بدورها تؤدي إلى زيادة سعر الوحدة.



الشكل (8) الأغشية الأنبوبية

### 8.2.2. الأغشية الشعرية:

وفي هذه الأغشية يؤدي الغشاء دور العائق الانتقائي، الذي يكون قوياً بشكل ملحوظ لمقاومة ضغط الفلتر، ولهذا السبب يمكن أن يكون التدفق عبر هذه الأغشية باتجاهين. وعادة يكون قطر هذه الأغشية أصغر بكثير

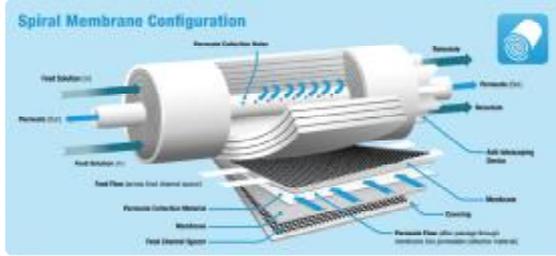
الحديثة في المواد الصناعية حلت هذه المشكلات بجعل هذه الأغشية تصبح أكثر فعالية لطرح الملوثات، وجعلها قاسية كفاية لتحمل الضغط الهائل الضروري لفعالية العملية، حتى مع هذه الدراسات فإن الماء المفلوظ في طرف مياه المصدر في أنظمة التناضح العكسي يجب أن يُزال بشكل دوري؛ ذلك لأن إبقاءه مركزاً يسبب التكلس على الغشاء بحد ذاته، وتتطلب أنظمة RO فلتر أولية كربونية لإنقاص الكلور الذي يمكن أن يدمر غشاء RO، كما وتتطلب فلتر أولية من الرواسب للتأكد من أن المواد العالقة في مياه المصدر لن تسد الغشاء بشكل دائم، كما أن إنقاص القساوة يكون مرغوباً فيه في مناطق الماء القاسي، إمّا من خلال استخدام ماء ملين للوحدات المنزلية أو من خلال التليين الكيميائي من أجل الاستخدام الصناعي.[5]

### 8.2. أنواع الأغشية المستخدمة في التناضح العكسي[4]:

يُحدد خيار نوع معين من الأغشية بعدد كبير من الجوانب، مثل الكلفة والمخاطر التزود للأغشية وكثافة التعبئة وفرص التنظيف، ولا تُنتج الأغشية كطبقة مسطحة دون أي تعديل، ذلك لأنها ستحتاج إلى سطح كبير جداً ومن ثمّ إلى كلفة استثمار عالية، ولهذا السبب تصمم الأنظمة بشكل مضغوط لتمكين سطح الغشاء الكبير ليوضع ضمن حيز أصغر، وبعدها يُستخدم الغشاء لتنفيذ وحدات كاملة، وهناك نوعان رئيسان: يدعى الأول أنظمة الأغشية الأنبوبية وأنظمة الأغشية المسطحة ذات الإطار. وتُقسم أنظمة الأغشية الأنبوبية إلى الأغشية الأنبوبية والشعرية والألياف الجوفاء، أمّا أنظمة الأغشية المسطحة ذات الإطار فتُقسّم إلى الأغشية الحلزونية ووسادية الشكل.

إن الترسب على الأغشية لا مفر منه في أنظمة الفلتر الغشائية، حتى مع معالجة أولية كافية، إذ إن كمية الترسبات ونوعيتها مرتبطة بعدة عوامل، مثل جودة

هذه الأغشية تُستخدم فقط من أجل الفلترة ذات النانو وتطبيقات التناضح العكسي.



الشكل (11) الأغشية الحلزونية

### 8.2.5. الأغشية وسادية الشكل:

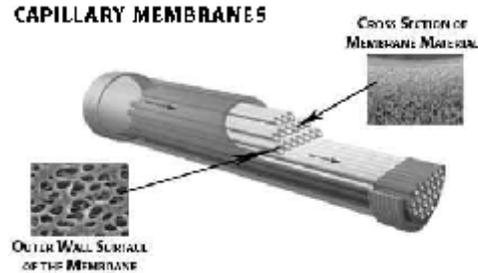
إن الأغشية التي تتكون من طبقات مسطحة تدعى الأغشية وسادية الشكل، جاء هذا الاسم من وسادة التي تتشكل من غشائين مرتبطين مع بعضهما بعضاً في وحدة الغشاء، وداخل هذه الوسادة صفيحة الدعم التي تسبب صلابة هذه الوسادة. وفي داخل الوحدة تتوضع العديد من الوسائد على مسافات معينة ومتساوية والتي تعتمد على المحتوى للأملاح المنحلة في المياه المطرودة من الغشاء، يتدفق الماء عبر الغشاء من الخارج إلى الداخل، وعندما تتم عملية المعالجة يُجمع الماء في الفراغ.

### 8.3. مقارنة بين أنواع الأغشية [4]:

من حيث:

- تكاليف النظام System cost: كلفة الأنبوبي والمسطح ذو الإطار << كلفة ذو الألياف الجوفاء والحلزوني.
- مرونة النظام Design flexibility: الحلزوني < ذو الألياف الجوفاء < المسطح ذو الإطار < الأنبوبي.
- المساحة اللازمة للنظام Required system space: الأنبوبي << المسطح ذو الإطار < الحلزوني < الألياف الجوفاء.
- قابلية الاتساخ Susceptibility to fouling: ذو الألياف الجوفاء << الحلزوني < المسطح ذو الإطار < الأنبوبي.
- استخدام الطاقة Energy Use: الأنبوبي < المسطح ذو الإطار < ذو الألياف الجوفاء < الحلزوني.

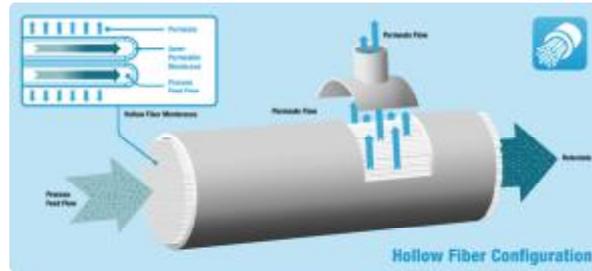
من الأغشية الأنبوبية إذ تراوح بين 0.5-5mm وبفضل هذا القطر الصغير فإن فرص إنتاج ماء مُحلى أعلى في الأغشية الشعرية، والفائدة هي أن كثافة التعبئة أكبر، وهذا ما يبيّنه الشكل (9).



الشكل (9) الأغشية الشعرية

### 8.2.3. الأغشية ذات الألياف الجوفاء:

وهي تلك الأغشية التي يكون فيها نصف القطر أقل من 0.1µm وبالتبعية كما سبق، فإن فرص الحصول على ماء محلى عالية جداً بسبب اتساع سطح التماس، ومن ثمّ فإن كثافة التعبئة عالية جداً كما هو موضح في الشكل (10)، ويمكن أن تستخدم هذه الأغشية من أجل معالجة المياه ذات المحتوى الملحي المنخفض، ومن ثمّ هو الأفضل في عملية الفلترة ذات النانو وفي التناضح العكسي.



الشكل (10) الأغشية ذات الألياف الجوفاء

### 8.2.4. الأغشية الحلزونية:

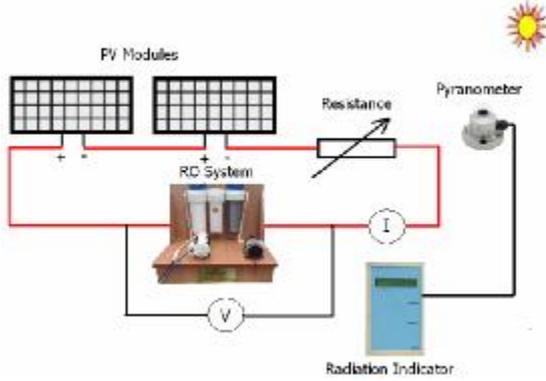
تتكون الأغشية الحلزونية من طبقتين من الأغشية، تتوضع في بنية جامعة لها، يلتف هذا الغلاف الغشائي حول مصرف مركزي كما هو موضح بالشكل (11)، تساعد هذه البنية على إنشاء كثافة تعبئة عالية جداً، وتتوضع قناة التغذية على ارتفاع معتدل لمنع التزود من وحدة الغشاء.

الجدول (3) العناصر المستخدمة في النموذج المخبري

Item	Specs	Qty
DC motor	24V - 1.2A	1
pump	125psi - 1.2L/m	1
RO membrane	80 gal	1
Pretreatment units	1-5 Micron	3
Photovoltaic modules	13SY 50 W	2

#### 9. النتائج:

يبين الشكل (13) دارة التوصيل للنموذج المخبري وكيفية توصيل الحساسات وأجهزة القياسات معها، إذ أُخِذَتِ النتائج في 31 كانون الثاني من العام 2013، وكان هذا اليوم متقلباً بشكل حادٍ إذ وجدنا في النتائج أنه كان يتقلب بين الشمس والغائم والماطر خلال وقت التجربة التي استغرقت نحو الساعتين للحصول على أكبر عدد من النتائج، وكان هذا التقلب في الجو إيجابياً لمعرفة سلوكية النظام في الظروف الجوية كلها.



الشكل (13) طريقة توصيل الحساسات والمقاييس مع النموذج المخبري

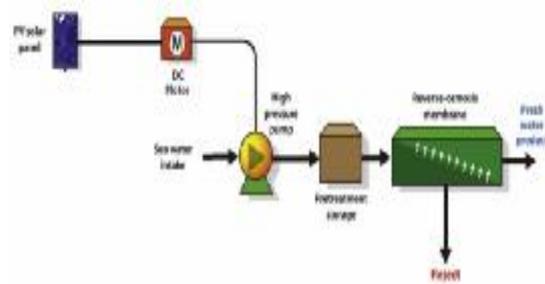
يبين الجدول (4) النتائج التي تم الحصول عليها وهي عبارة عن 28 قيمة خلال ساعتين، وتبين بأنه مع اختلاف شدة الإشعاع الشمسي فإن التوتر الناتج يبقى ثابتاً تقريباً؛ وهذا يتطابق مع آلية عمل الخلية الكهروضوئية الشكل (14)، وكما هو مبين لدينا من جدول النتائج أن التيار يزداد بازدياد الإشعاع الشمسي.

إن كلفة النظام من أجل معالجة المياه هي ذاتها من أجل الوحدات الحلزونية وذات الألياف الجوفاء، أمّا كلفة المعالجة الأولية لتنقية المياه السطحية فهي الأعلى من أجل أغشية الألياف الجوفاء، وتتطلب هذه الأغشية معالجة إضافية خاصة، وذلك لأنها قابلة للتلوث بشكل أكبر، كما أن استخدام الوحدات الأنبوبية والوحدات ذات اللوحة ذات الإطار يمكن أن يكون ذا كلفة أكبر من الوحدات ذات الألياف الجوفاء أو الوحدات الحلزونية. إن كلفة الوحدات الأنبوبية والوحدات ذات اللوحة المحاطة بالإطار متساوية تقريباً، كما أن مساحة السطح المطلوبة كبيرة جداً عند استخدام الوحدات الحلزونية أو ذات الألياف الجوفاء، في حين تأخذ الوحدات الأنبوبية حيزاً أقل، ويجب التنويه أنه عندما يستخدم التناضح العكسي من أجل تحلية مياه البحر يُستخدم عادة الغشاء الحلزوني. [10]

#### 8.4. تشكيل النظام:

كما هو مبين في الشكل (12) يتكون هذا النظام من المكونات الرئيسية الآتية:

(a) غشاء التناضح العكسي  
 (b) مجموعة مضخة ضغط عالٍ - محرك DC  
 (c) ألواح كهروضوئية



الشكل (12) مكونات النظام المدروس

ويوضح الجدول التالي (3) المواد التي تُستخدَمُ في المشروع:

إذ نلاحظ أنه لدينا 3 حالات ولتفسيرها لابداً من الاستعانة بمعادلة السرعة:

$$n = \frac{U - R_a \cdot I_a}{C_e \cdot f}$$

نلاحظ من هذه العلاقة أن هناك عاملين يؤثران في سرعة المحرك هما:

هبوط التوتر  $R_a I_a$ ، ورد فعل المتحرض  $f$ . كلما زاد عزم الحمل الخارجي المطبق على محور المحرك ازداد التيار  $I_a$  وهبط التوتر  $R_a I_a$ ، ومن ثمّ تنخفض السرعة. من ناحية أخرى كلما ازداد هذا التيار ازداد تأثير رد فعل المتحرض الذي يؤدي كما رأينا إلى انخفاض السيالة المغناطيسية ومن ثمّ تزداد السرعة.

أي إنّ خصائص السرعة تختلف بحسب النسبة بين ازدياد هبوطات التوتر الأومية ومقدار انخفاض السيالة المغناطيسية.

عندما يدور المحرك على فراغ بسرعة  $n_0$ ، فإنه يستجر تياراً  $I_0$ ، ومن ثمّ فإنّ منحنيات (السرعة - التيار) تبدأ من النقطة c الموافقة لهذه الحالة شكل (15)، أمّا عند تحميل المحرك فإنّ هذه الخصائص يمكن أن تأخذ أحد أشكال المنحنيات 1 و2 و3 المبينة على الشكل (15)، إذ:

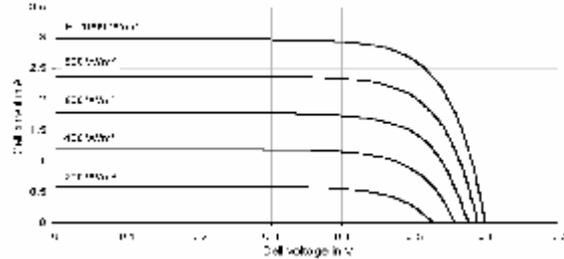
- المنحنى (1): ويتم الحصول عليه عندما يكون تأثير هبوط التوتر الأومي أكبر من تأثير رد فعل المتحرض  $\Delta U_r < I_a R_a$ .

- المنحنى (2): ويتم الحصول عليه عندما يكون تأثير هبوط التوتر الأومي قريباً من تأثير رد فعل المتحرض  $\Delta U_r \equiv I_a R_a$ .

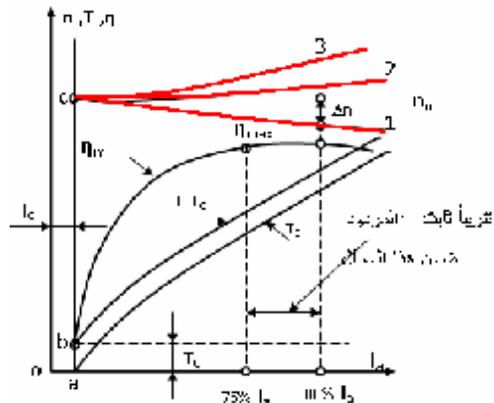
- المنحنى (3): ويتم الحصول عليه عندما يكون تأثير رد فعل المتحرض أكبر من هبوط التوتر  $\Delta U_r > I_a R_a$ . ومن النتائج يتبين أن الحالة 3 هي الحالة الموافقة للنموذج المخبري أي نظراً إلى أن السرعة تزداد بزيادة

الجدول (4) نتائج سلوكية نظام PV-RO مع تغير الإشعاع الشمسي

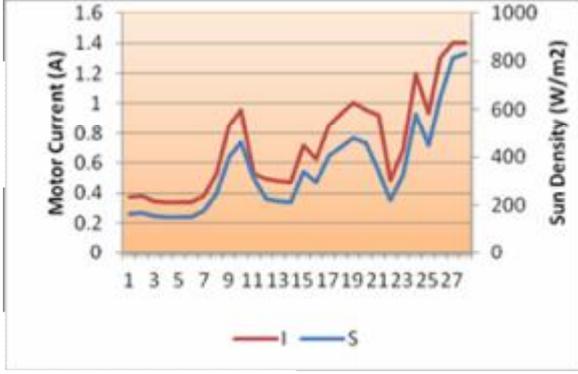
	S (W/m2)	V (volt)	I (A)		S (W/m2)	V (volt)	I (A)
1	164	22	0.37	15	340	25.11	0.72
2	169	18.2	0.38	16	293	24	0.63
3	153	23.3	0.342	17	406	25.3	0.85
4	151	22.9	0.34	18	442	25.4	0.931
5	148	22.5	0.34	19	481	24	1.01
6	150	22.8	0.34	20	458	24	0.96
7	176	22.4	0.38	21	341	23	0.925
8	245	23.4	0.53	22	221	23	0.485
9	402	25.7	0.85	23	324	24.9	0.69
10	460	24	0.96	24	583	24	1.2
11	311	24	0.526	25	447	24	0.94
12	225	22.3	0.49	26	652	23.3	1.3
13	217	23.2	0.48	27	815	22.5	1.4
14	212	22.6	0.47	28	832	22.4	1.4



الشكل (14) تأثير تغير شدة الإشعاع الشمسي في منحنى أداء الخلية عند ازدياد التيار المتولد من الألواح الكهروضوئية نلاحظ ازدياد سرعة المحرك إذ لمعرفة سبب هذه السلوكية لا بدّ من العودة إلى منحنيات الخصائص الكهربائية للمحرك التفريعي الموضحة بالشكل (15) والذي يوضّح خصائص السرعة - تيار باللون الأحمر.

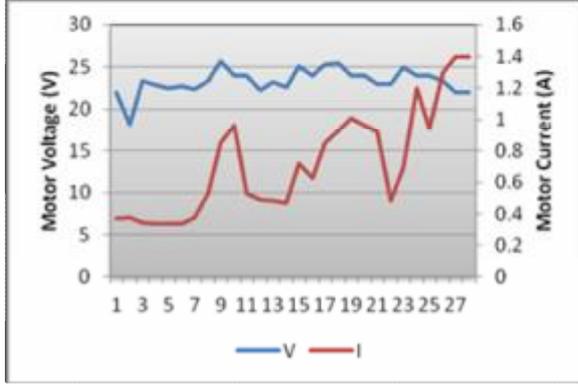


الشكل (15) الخواص الكهربائية لمحرك التيار المستمر التفريعي



الشكل (17) تغيرات الإشعاع الشمسي والتيار مع الزمن (2 hours)

كما نلاحظ في الشكل (17) أنه تتغير شدة التيار المتولد من الألواح الكهروضوئية مع تغير شدة الإشعاع الشمسي وهذا ما يوضحه أيضاً منحنى الأداء في الشكل (14).



الشكل (18) تغيرات التوتر والتيار مع الزمن (2 hours)

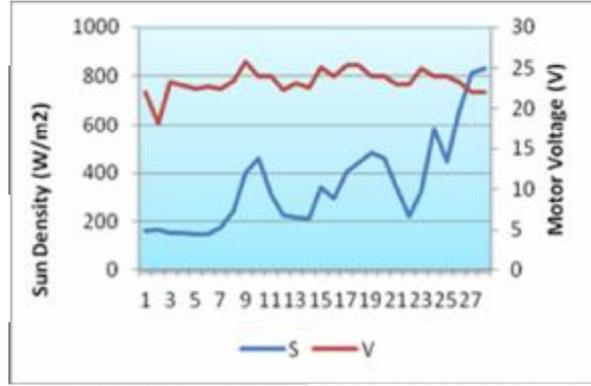
#### 10. إنتاجية النظام من الماء المحلى:

مع أن هذا النموذج هو مجرد نموذج مخبري وسيكون غير مجدٍ اقتصادياً، ولكننا هنا سندرج طريقة حساب كلفة وحدة الماء المحلى من أجل النماذج التطبيقية. لحساب كلفة الماء المحلى لا بدّ من حساب إنتاجية النظام إذ إنه كما مشار في مواصفات الغشاء أنه قادر على إنتاج  $378.5 \text{ Lpd} = 100 \text{ gpd}$  فإن الإنتاجية اليومية نحصل عليها من العلاقة:

$$\text{Quantity of product water per day} = \frac{100 \times \text{PSH}}{24} \times 365$$

إذ PSH هو متوسط عدد الساعات التي يكون فيها شدة الإشعاع الشمسي 1 Sun.

التيار فمحنى الخواص الكهربائية الذي يعمل عليه المحرك هو المنحنى (3). [17] وعند تمثيل هذه القيم في منحنيات بيانية نتجت الأشكال الآتية الأشكال (16)، (17)، (18):



الشكل (16) تغيرات التوتر والإشعاع الشمسي مع الزمن (2 hours)

نلاحظ من الشكل (16) أن التوتر المتولد من الألواح الكهروضوئية يكون ثابتاً تقريباً؛ وذلك لأن التوتر الأعظمي لا يتأثر بتغيرات الإشعاع الشمسي وهو ما يوضحه الشكل (14) كما ذكرنا سابقاً، ويعود سبب هذه التذبذبات إلى أنه عند اختلاف التيار فإن هبوط الجهد على المقاومة يختلف مما يؤدي إلى تغير طفيف في التوتر المطبق على المضخة؛ وذلك وفق المعادلة الآتية:

$$V_p = V_{PV} - I.R$$

وهناك طريقتان للحصول على توتر ثابت نسبياً دون هذه الذبذبات: **الأول**، وضع مقاومة متغيرة تتغير بواسطة آلية تحكمية مع شدة الإشعاع الشمسي لضمان ثبات توتر المحرك. **الثاني**، أن تكون صلة الوصل بين الألواح الكهروضوئية والنظام عبارة عن جملة من المقطعات الثايرستورية تتحكم بتعديل عرض النبضة للحفاظ على توتر ثابت على دخل النظام.

$$F = P(1 + Y)^n$$

بإعادة ترتيب حدود المعادلة السابقة نحصل على العلاقة بين القيمة المالية F المستقبلية والقيمة الموظفة حالياً P تعطى بالعلاقة:

$$P = \frac{F}{(1 + y)^n}$$

عندما نحول قيمة مستقبلية إلى قيمة حالية نستخدم معدل التخفيض d بدلاً من معدل الفائدة y.

ن تكاليف رأس المال Capital Costs

ن تكاليف التشغيل والصيانة Operation and Maintenance

ن تكاليف الوقود Fuel Costs وهي فاتورة الوقود السنوية للنظام البديل قيد المقارنة مع نظام PV في حال إجراء دراسة مقارنة.

ن تكاليف الاستبدال Replacement Cocts وتشمل:

### 1. تكاليف رأس المال للنظام Capital Cost:

إن المقصود بالكلفة التأسيسية أو كلفة الإنشاء هي المبالغ التي نحتاج إليها لشراء أجزاء منظومة العمل، ولإيجاد الكلفة التأسيسية يجب تحديد كلفة شراء كل جزء من المنظومة.

ن الكلفة التأسيسية للألواح الكهروضوئية

إن كلفة شراء الألواح الكهروضوئية لواحدة الاستطاعة تقدر بنحو:

$$C_{1W} = 3 \$/W$$

وتكون كلفة شراء الخلايا الكهروضوئية:

$$C_{cell} = P_{PV}[W] \times C_{1W} [\$ / W]$$

$$C_{cell} = 2 \times 50 \times 3 = 300 \$$$

الكلفة التأسيسية للحوامل المعدنية لحقل الخلايا الكهروضوئية

24 هي عدد ساعات اليوم، 365 عدد الأيام بالسنة. من المعادلة السابقة يتبين أن متوسط عدد الساعات التي سيعمل فيها النظام هو PSH/24 و باعتبار أن PSH=5.2 في سورية بحسب NASA يكون متوسط الإنتاجية السنوية للنظام هي:

$$\text{Quantity of product water per day} = \frac{100 \times 5.2}{24} \times 365$$

$$\text{Quantity of product water per day} = 7713 \text{ GPD} = 29.15 \text{ m}^3/\text{y}$$

11. دراسة الجدوى الاقتصادية لنظام PV-RO من دون مدخرات:

### 11.1 حساب تكاليف دورة الحياة Life Cycle Costing / LCC

الكلفة التأسيسية والتكاليف المستقبلية جميعها لأجل سنوات العمر التصميمي للنظام، يجب أن تخفض التكاليف المستقبلية إلى قيمة مكافئة بحسب المؤشرات الاقتصادية الحالية (أي تاريخ إنشاء النظام) وتدعى هذه القيمة "القيمة الحالية" Present Worth، ولإجراء هذا الحساب نضرب أية قيمة مستقبلية بعامل التخفيض. ولأجل حساب تكاليف دورة الحياة يجب معرفة المحددات الآتية:

ن مدة التحليل Analysis period وتساوي عمر النظام. في حالة المقارنة بين نظامين أو أكثر تؤخذ مدة التحليل مساوية لعمر النظام الأطول عمراً. من أجل نظام PV تعدد 20 عاماً.

ن معدل التضخم (i) Inflation rate وهو معدل تزايد سعر العنصر.

ن معدل التخفيض (d) Discount Rate وهو عملياً معدل الفائدة على المال المستثمر فيما لو وُظف في حساب مصرفي. سنعدّه مساوياً 5%.

لو وُضعت كمية من المال P في حساب مصرفي بفائدة Y فإن القيمة المستقبلية لحساب مصرفي في نهاية السنة n هي:

إن كلفة تجهيز المتر المربع الواحد من الأرض الذي يشمل عملية التسوية ونقاط استناد بيتونية لتثبيت الهياكل المعدنية، يعادل تقريباً  $C_{land}=1 \text{ \$/m}^2$ . تصبح الكلفة الكلية لتجهيز الموقع اللازم لحقل PV:

$$C_{Site} = 3 \times 15/\text{m}^2 = 3 \text{ \$}$$

فتكون الكلفة التأسيسية هي مجموع التكاليف التأسيسية لمختلف أجزاء منظومة المشروع:

$$A_0 = C_{PV} + C_{RO} + C_{Site}$$

$$A_0 = 311.4 \text{ \$} + 165 \text{ \$} + 3 \text{ \$} \approx 480 \text{ \$}$$

بفرض أننا قمنا بوضع تكلفة رأس المال في المصرف مدة 20 عاماً فإن القيمة المالية المستقبلية F تحسب من العلاقة الآتية:

$$F = P(1 + Y)^n$$

$$F = 480(1 + 0.05)^{20} = 1273.5 \text{ \$}$$

2. حساب القيمة الحالية:

1. حساب القيمة الحالية لدفعة وحيدة:

ن استبدال المدخرات Battery Replacment

في نظامنا هذا لا توجد دفعات تستحق الدفع خلال عمر النظام ولكن في بعض الأنظمة الحاوية على المدخرات التي تستحق الدفع بعد 5 سنوات، وهذه الطريقة غير اقتصادية لأن المدخرات تمثل 30% من كلفة النظام، وتستخدم هذه الأنظمة من أجل الحصول على استمرارية في التزود في الماء، على أية حال نقوم بوضع العلاقات والمعادلات اللازمة لحساب قيمتها الحالية نستخدم العامل Pr:

$$P_r = A^n$$

$$A = \frac{1 + i}{1 + d}$$

$$A = \frac{1 + 0.00}{1 + 0.05} = 0.95$$

بعد حساب هذه النسبة تكون القيمة الحالية لقيمة المدخرات التي سندفعها بعد 5 سنوات وبعد 10 سنوات وبعد 15 سنة على فرض عمر النظام الفعلي 20 عاماً يكون:

$$P_{w1} = C_{r0} (P_{r5} + P_{r10} + P_{r15})$$

تقدر كلفة حمل 1Kg من الخلايا بحدود دولار واحد. من المواصفات الفنية للوح الكهروضوئي نجد أن وزن اللوح الشمسي الواحد يساوي إلى 5.7Kg ومن ثم يكون:

$$C_{Steel} = 5.7 \times 2 \times 1 = 11.4 \text{ \$}$$

مما سبق يمكن أن نحسب الكلفة الثابتة الكلية لحقل الخلايا الكهروضوئية:

$$C_{PV} = C_{Cell} + C_{Steel}$$

$$C_{PV} = 300 + 11.4 = 311.4 \text{ \$}$$

ن الكلفة التأسيسية لنظام التناضح العكسي

يبين الجدول (5) التكاليف التأسيسية لنظام التناضح العكسي:

الجدول (5) التكاليف التأسيسية لنظام RO

المادة	الكمية	السعر الإفرادي	السعر الإجمالي
مضخة 24 فولت 1.2 أمبير	1	4500	4500
غشاء تناضح عكسي 80 g	1	4500	4500
فلتر	3	1000	3000
سكر رباعي	1	1500	1500
منظم تدفق	1	1500	1500
سكر دخول	1	1000	1000
أنابيب	5	100	500
المجموع		16500	16500

وقد اشتريت هذه التجهيزات عند سعر 100 ليرة سورية للدولار فتكون الكلفة مساوية إلى 165 دولاراً لنظام التناضح العكسي.

ن الكلفة التأسيسية لتحضير الأرض

تقدر المساحة المطلوبة لتوليد 1KWp من الألواح المختارة بحدود 8.82 m<sup>2</sup>، ولكنها تصبح هذه المساحة بحدود 30 m<sup>2</sup> بعد أخذ المسافة اللازم تركها بين الصفوف لتجنب التظليل.

الاستطاعة العظمى لحقل PV:

$$P = 2 \times 50 = 100 \text{ Wp}$$

أي إن المساحة اللازمة لحقل PV:

$$A_{Total} = 0.1 \times 30 = 3 \text{ m}^2$$

إذ:

I: متوسط الإشعاع الشمسي kWh/m<sup>2</sup>.A: مساحة حقل PV m<sup>2</sup>.

Em: كفاءة اللوح.

Es: كفاءة النظام.

$$\text{Electricity per year} = 5.052 \times 3 \times 0.15 \times 0.4 \times 365$$

$$\Rightarrow \text{Electricity per year} = 134.8 \text{ kWh/Year}$$

$$\text{Electricity Cost} = \frac{88.5 (\$/\text{Year})}{134.8 (\text{kWh}/\text{Year})} = 0.652 \$ = 65.2 \text{ cent } \$/\text{kWh}$$

### 11.5. حساب كلفة وحدة الماء المحلي Desalinate

Water Unit : Cost

تبيّن في الفقرة 10 أن إنتاج النظام من دون مدخرات هو 29.15 m<sup>3</sup>/year وعليه تكون كلفة المتر المكعب المحلي بواسطة أنظمة التناضح العكسي المغذى من الألواح الكهروضوئية هي:

$$\frac{ALCC}{\text{Product water Per year}} = \frac{88.5 \$/\text{year}}{29.5 \text{ m}^3/\text{year}} = 3 \$/\text{m}^3$$

### 12. الاستنتاجات:

1. يُحصَلُ ثمن مياه الصناعة المزودة من شبكات مياه الشرب على أساس أنها تتبع للاستهلاك المهني وتساوي إلى 0.44 دولاراً، في حين نجد أن كلفة إنتاج المياه في محافظة دمشق هي أقل بكثير من هذا الرقم وهي 0.62 ليرة سورية للمتر المكعب الواحد، ومن ثمّ نجد أن كلفة المتر المكعب المنتج من هذا المشروع التي تصل إلى 3 دولار للمتر المكعب الواحد المبيّنة في الدراسة الاقتصادية هي أكبر بكثير من كلفة إنتاج المتر المكعب حكومياً [6].

2. مع أن هذا المشروع غير اقتصادي كما هو موضح في البند السابق، لكن تكمن أهمية هذا البحث في محاولة إيجاد حلول لمشكلة ندرة المياه، وهنا يمكننا المقارنة بكلفة الإنتاج العالمية للمتر المكعب بطريقة التناضح العكسي المغذى من الألواح الكهروضوئية البالغة 2.62 \$/m<sup>3</sup>، وهي قريبة جداً من الكلفة الناتجة لدينا من الدراسة الاقتصادية [7].

### ن استبدال غشاء التناضح العكسي RO Membrane Replacment

يجب تغيير غشاء التناضح العكسي كل أربع سنوات خلال عمر النظام أي:

$$P_{wb} = C_{RO} \cdot (P_{r4} + P_{r8} + P_{r12} + P_{r16})$$

$$P_{wb} = 45 \$ \cdot (0.95^4 + 0.95^8 + 0.95^{12} + 0.95^{16}) = 110.5 \$$$

$$P_{w1} = P_{wa} + P_{wb} = 0 + 110.5 = 110.5 \$$$

### 2. حساب القيمة الحالية لدفعات متكررة:

لحساب القيمة الحالية لدفعات متكررة سنوياً مثل دفع تكاليف الصيانة السنوية نستخدم العامل Pa المعطى بالعلاقة:

$$P_a = \frac{A(A^n - 1)}{A - 1}$$

بفرض نفقات التشغيل والصيانة لنظام PV هي 10\$/y وأن كلفة استبدال الفلاتر التي ينبغي استبدالها سنوياً هي \$/y 30 في السنة وأن عمر النظام 20 سنة وأن i=0 و d=5% تكون القيمة الحالية الإجمالية لنفقات الصيانة كلّها خلال 20 سنة:

$$P_a = \frac{0.95(0.358 - 1)}{0.95 - 1} = 12.18$$

$$P_{w2} = 40 \times 12.18 \approx 487.2 \$$$

وهي القيمة الحالية الإجمالية لنفقات الصيانة كلّها خلال 20 سنة.

ومن ثمّ تكون كلفة دورة الحياة للنظام:

$$LCC = A_0 + P_{w1} + P_{w2}$$

$$LCC = 480 + 110.5 + 487.2 = 1077.7 \$$$

### 11.2. الكلفة السنوية لدورة الحياة Annualized LCC :ALCC

### 11.3

$$ALCC = \frac{LCC}{P_a} = \frac{1077.7}{12.18} \approx 88.5 \$/\text{Year}$$

### 11.4. حساب كلفة وحدة الطاقة الكهربائية المولدة

Electricity : Unit cost

$$\text{Electricity Cost} = \frac{ALCC}{\text{Electricity Supplied (kwh/year)}}$$

$$\text{Electricity per year} = I \times A \times E_m \times E_s \times 365$$

## المراجع\*

- ✓ تحلية مياه البحر بالتناضح العكسي المغذى بالألواح الكهروضوئية من دون مدخرات - رسالة دكتوراه لموري تومسون.
- ✓ مجلة النفط والتعاون العربي-المجلد 34 العدد 127 خريف 2008- أوابك.
- ✓ تحلية مياه البحر بالتناضح العكسي المغذى بالألواح الكهروضوئية - نموذج أولي في الأردن كمثال لنموذج كاليفورنيا - علي شاكوري.
- ✓ مقالة - تقنيات الأغشية.
- ✓ مقالة - آلية عمل التناضح العكسي.
- ✓ المؤتمر الدولي الثاني للموارد المائية والبيئة الجافة 2006 م، إدارة الطلب على المياه بالوطن العربي.
- ✓ مقالة بعنوان "Optimization of Renewable Energy Systems: The Case of Desalination" كريم بوروني.

✓

## References

- ✓ Reverse-Osmosis Desalination of Seawater Powered by Photovoltaics Without Batteries - A Doctoral Thesis -A. Murray Thomson.
- ✓ Journal of Oil and Arab cooperation - Volume 34 Issue 127 Fall 2008 - OAPEC.
- ✓ Reverse-Osmosis Desalination of Seawater Powered by Photovoltaics- A prototype for Jordan on the Example of California - Ali Shakouri.
- ✓ Article - Membranetechnology.
- ✓ Article - How Reverse Osmosis Works.
- ✓ Second International Conference on Water Resources and Arid Environments (2006), Test bank demand for water in the Arab World.
- ✓ Article "Optimization of Renewable Energy Systems: The Case of Desalination"; Karim Bourouni.