القدرة المستخلصة من الماء المالح

المحرر

2014-11-09

ما يزال العالم يبحث عن مصادر بديلة للطاقة و باتجاهات و امكانيات مختلفة خصوصاً أمام تحديات مثل تغيرات المناخ وتوقعات بنفاذ الوقود الاحفوري التقليدي وزيادة اسعار النفط. ولكن البحث عن الطاقة البديلة قاد إلى مصادر مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح و الطاقة الحرارية الارضية وأنواع كثيرة أخرى. كل هذه الأنواع طاقات نظيفة وتحافظ على البيئة ومتوفرة ولا تنضب لكنها قد تكون مكلفة اقتصادياً أو تحتاج إلى قدرات تنصيب مكلفة، وهذه الاشكالات حالت دون انتشارها وجعلها حقاً مصادر للطاقة البديلة.

لقد تم مؤخراً في مركز أبحاث الأسموزية و تطبيقاتها (CORA) التابع لجامعة سري (Surrey) في انكلترا وبالتعاون مع شركة (Modern Water plc) اكتشاف مصدر جديد للطاقة النظيفة، إنه مصدر "الطاقة التنافذية (الأزموزيه) " 1]،[2. الطاقة التنافذية تنتج نتيجة الفرق في الضغط مابين الماء المالح و الماء العذب (و بسبب التغير التدريجي للتركيز). تتحرر هذه الطاقة من عملية مزج محلول واطئ التركيز وآخر عالي التركيز كما في حالة مزج الماء العذب ذي الضغط التنافذيي الواطئ مع ماء البحر ذو الضغط التنافذي العالي. في منظومة قدرة تنافذية ريادية يمكن أن يتحول الجهد التنافذي للماء المالح إلى ضغط هيدروليكي و بنسبة مئوية عالية.

هذا الضغط الهيدروليكي يمكن أن يستخدم لتوليد القدرة الكهربائية بشكل قدره مائية تنافذية (Hydro Osmotic Power; HOP). يمكن اتمام هذه العملية من خلال استخدام محرك توربيني مائي و مولد كهربائي أو بصورة مباشرة من خلال منظومة استخلاص الطاقة (Energy Recovery System) (ERS) مثل منظومة تبادل الضغط(Pressure Exchange System) (PES). على سبيل المثال، ان فرق الضغط في العملية التنافذية ما بين ماء البحر و الماء العذب في حدود 27 بار (أي يكون مكافئ لارتفاع شلال مقداره 270 متر). من الناحية النظرية كل متر مكعب من الماء العذب الذي يقذف إلى البحر يمكن أن يولد 0.7 كيلو واط ساعة من الكهرباء (هذا التقدير مبني على أساس أن ماء البحر يحوي 3.5% من الاملاح). على أية حال، في حالة ما اذا كان التركيز أعلى فإن الطاقة

المنتجة قد تصل إلى 7 كيلو واط ساعة للمتر المكعب و هذا ما يكافئ شلال ارتفاعه 2700 متراً.

ان امكانيات الطاقة التنافذية هائلة و غير محدودة! لقد بينت إحدى شركات القدرة النرويجية والمهتمة بالتخطيط لاستثمار القدرة الازموزية بحلول عام 2010 بأن منظومة للقدرة التنافذية يمكن أن تنتج طاقه كهربائية اقتصادية بمبلغ مقداره 50 يورو للميكا واط ساعة. و يمكن زيادة امكانيات المنظومة من خلال تعشيقها مع مصدر طاقة مستديمة أخرى مثل الطاقة الشمسية أو الرياح أو الامواج. على ذلك يمكن لتركيب مكون من منظومة الطاقة التنافذية مع منظومة مثل البركة الشمسية والبركة التبخيرية أن يكون اسلوباً تكنولوجياً فعالاً لخزن الطاقة الشمسية بشكل محلول مركز ومن ثم كجهد تنافذي. وبنفس الطريقة يمكن استخدام طاقة الرياح أو ي مصدر للطاقة المستديمة.

ان الامكانيات المستخدمة في القدرة المائية الازموزية تشمل الاغشية و المضخات ومنظومات استخلاص الطاقة و التوربينات. هذه المعدات تستخدم حالياً في عمليات تحلية المياه كذلك مما يجعل التعامل معها سهلاً و سلساً بصورة نسبية. بالإضافة لذلك، ان تركيب القدرة التنافذية و عملية التحلية باستخدام طريقة التنافذ الانعكاسية و تعاشقها مع مصدر طاقة مستديمة (الطاقة الشمسية أو الرياح) يمكن ان يولد طاقة رخيصة و يقلل الاعتماد على الوقود الاحفوري. في الواقع وفي حالات معينة فإن منظومة التنافذ الانعكاسية يمكن ان تنتج ماء و قدرة و بذلك تكون هذه المنظومة مكتفية ذاتيا.

خلاصة للخلفية العلمية لعملية القدرة المائية التنافذية

التنافذ هو عملية عبور انتخابي طبيعي لجزيئات مذاب من خلال مسامات غشاء شبه سامح، و ذلك من محلول مخفف (ماء نقي مثلا) إلى محلول اكثر تركيزا (مثلا ماء مالح او ماء ذي تركيز ملحي عالي). حيث هناك ميل طبيعي للمحلول المركز ليخفف نفسه. الشكل (1-1) يبين عملية التنافذ. الضغط التنافذي هو الضغط المطلوب لايقاف عملية التنافذ الطبيعية في اية منظومة تجريبية. لذلك فان عملية التنافذ هي عملية ثرموداينميكية عكوسية. يكون الضغط التنافذي للمحلول دالة للتركيز الملحي و درجة حرارة المحلول. على سبيل المثال في محلول ملح الطعام (NaCl) يكون الضغط التنافذي حوالي 7.6(بار) لتركيز من الملح مقداره 1%. في حين يكون الضغط التنافذي حوالي 27.8(بار) لماء البحر مع ملح الطعام ذي التركيز 33 غرام/ اللتر. اما بالنسبة للماء النقي فان الضغط التنافذي يكون صفرا. هذا يعني انه في عملية تحلية مياه البحر و باستخدام عملية التنافذ العكسي يجب تسليط أقل ضغط مقداره (التقدير النظري لأقل) 27.8 (بار)على جانب ماء البحر بالنسبة للغشاء و ذلك قبل

امكانية الحصول على ماء نقي من الجهة الأخرى للغشاء. هذا الضغط يكافئ طاقة خاصة مستهلكة مقدار ما حوالي 0.77 kWh/m^3.

على اية حال، كلما ازداد انتاج الماء النقي خلال عملية التنافذ العكسي كلما ازدادت ملوحة الماء المجهز للعملية (الماء الداخل) و هذا يعني زيادة حاجز الضغط التنافذي. و زيادة الضغط التنافذي هذه تتطلب تسليط ضغط اكبر أو طاقة مستهلكة اكبر تصل إلى حوالي 2.7 kWh/m^3 لتحلية ماء البحر الذي يصل مستوى ملوحته إلى حوالي 35 g / l، أما عملية التحلية فتصل إلى 50%. ان تطبيق الضغط الميكانيكي لايقاف عملية التنافذ الطبيعي واجبار الماء على النفاذ عبر الغشاء إلى جهة الماء النقي هو القاعدة المعروفة في عملية التحلية. الضغط الميكانيكي المطبق في عملية التنافذ العكسي يجب أن يكون اعلى من الضغط الازموزي للمحلول الملحي قبل تكوين الماء النقي. نظريا تكون معظم الطاقة الميكانيكية المستهلكة في عملية التنافذ العكسي مخزونة في المحلول المركز عى شكل طاقة حركية (ضغط هيدروليكي) وطاقة تنافذ (جهد تنافذي أو ضغط).

بعض الطاقة تتبدد على شكل حرارة في مضخات الضغط العالي او بشكل خسارة احتكاك عبر وعلى طول الغشاء. على سبيل المثال، في تحلية ماء البحر حالياً باستخدام التنافذ العكسي يكون الضغط المجهز بحدود 60-70 بار (وهذا يعتمد على عملية استرداد الضغط و مستوى ملوحة ماء البحر) مع استهلاك طاقة نوعية بحدود 5-6 كيلو واط ساعة/ يوم. مرة أخرى، واعتماداً على معدل استرداد الضغط، عادة ما بين 40-60 % من الطاقة الحركة (الضغط الهيدروليكي) للتيار المركز يمكن ان يُسترد باستخدام منظومة استرداد الطاقة (ERS) اعتمادا على كفاءة منظومة استرداد الطاقة. الباقي و الذي هو بحدود 40-60 % يتحول إلى طاقة تنافذية في المحلول الملحي المركز والتي تتفرغ إلى البيئة بكلفة عالية في معظم تطبيقات التحلية الحالية. إلى حوالي 50% من طاقة التنافذ و التي تتم خسارتها يمكن ان تتحول إلى ضغط هيدروليكي و يتم استردادها.

هذا الضغط المسترد يمكن ان يستخدم لتوليد الكهرباء باستخدام توربين مائي ومولد وبنفس طريقة التوليد التقليدية. بصورة بديلة ومكلفة ولكن كفوءة يمكن للضغط الهيدورليكي البديل ان يتحول من خلال منظومة استرداد الطاقة (مثل منظومة تحويل الضغط) إلى ضخ مائع آخر و تخفيض اكثر لكلفة الضغط التحويلية، ومن ثم تقليل استهلاك الطاقة الكلية لمنظومة التحلية. كما سبق و ان ذكر ان الفرق في الضغط ما بين ماء البحر و الماء العذب هو حوالي 27 (بار) و اعتبار أن ملوحة ماء البحر حوالي 35% لذلك فإن كل متر مكعب من الماء العذب الذي يجري إلى البحر يولد نظريا 0.7 كيلو واط ساعة من الكهرباء. على اية حال لمحلول عالي الملوحة مثل ماء البحر الميت أو البحيرات

المالحة يكون الجهد الكهربائي المتولد لكل متر مكعب حوالي 7 كيلو واط ساعة. يجب التأكيد على ان فرق الضغط التنافذي و جهد القدرة المتولدة يكون دالة لفرق الجهد التنافذي (بعبارة اخرى تركيز الملح و درجة الحرارة) ما بين المحلولين و لا يتطلب أن يكون أحدهما ماء عذباً و الآخر ملحياً. كما يجب التأكيد لذلك أن فرق الجهد التنافذي يمكن توليده بغض النظر ما اذا كان المحلولين متماثلين او مختلفين.

طاقة التنافذ لذلك يمكن ان يتم تجهيزها من عدد من المحاليل من ضمنها الماء المتخلف من صناعة التحلية. على اية حال أن عمل الاغشية تحت ظروف الملحية العالية و ملائمة بعض الاغشية لبعض المصادر تحتاجان إلى تحقيق اكثر. لا شك في ان استرداد الطاقة التنافذية كمصدر للطاقة المتجددة سوف ينفع في مبادرات الطاقة المتجددة حالياً و مستقبلاً. اضافة لذلك و استناداً على بعض التطبيقات فإن طاقة التنافذ يمكن ان تكون طاقة اقتصادية و متجددة و صديقة للبيئة. ومما يجب التأكيد عليه هو عدم اعتماد طاقة التنافذ على توفر الماء العذب. في الاماكن التي تعاني من نقص في تجهيز الماء العذب و لكن لها منفذ لماء البحر و مصادر طاقة متجددة مثل الطاقة الشمسية او الرياح....الخ فأن متطلبات فرق الجهد التنافذي تبقى قائمة و متوفرة.

طرق استغلال الطاقة التنافذ

هناك عدة طرق لاستغلال طاقة التنافذ للمحاليل المركزة والمالحة. مثلا إلى حوالي 80% من طاقة التنافذ للماء المالح يمكن ان تسترد في منظومة مائية للقدرة التنافذية باعتماد على مستوى ملوحة الماء. لحالة ماء البحر و الماء العذب حوالي 50% من طاقة التنافذ يمكن ان تسترد من خلال وضع ماء البحر بتلامس مع ماء عذب عبر غشاء شبه تنافذي في منظومة دائرة مفتوحه (شكل 2). مثل هذه الدائرة تستخدم في حالة توفر تجهيز مستمر للماء العذب و ماء البحر. بعبارة أخرى يمكن مثل هذه الدائرة ان تعمل عند مصب الانهار في البحر. وكعملية أكثر كفاءة يمكن الحصول عليها من خلال اعادة استخدام بعض من المحلول المضغوط التارك لوحدة الغشاء، و من خلال ERS (مثل منظومة تبادل الضغط لتعزيز ضخ المحلول الملحي إلى وحدة الغشاء).

لقد سبق وان تم تسجيل نوعين من منظومات القدرة المائية المستخدمة للضغط هما: منظومة القدرة التنافذية الأرضية PRO [5]، ومنظومة القدرة الغاطسة (SHEOPP). وهناك بديل آخر هو منظومة القدرة التنافذية المائية المغلقة. في هذه المنظومة (شكل 3) ماء البحر يمكن ان يستبدل بعامل (أو عوامل) محلول حيث ان العامل يبقى في المنظومة باستخدام تقنيات مختلفة مثل التبخير والتبلور و/ أو فصل الغشاء. في المنظومة المغلقة الضغط الهيدروليكي المتولد يمكن ان يستخدم لتوليد الكهرباء بنفس طريقة التوليد المستخدمة في المنظومة المفتوحة او يتحول إلى سائل آخر من خلال PES أو

أي منظومة استرداد طاقة إلى ضخ مائع آخر. كفاءة المنظومة المغلقة تعتمد على توفر مصدر طاقة واطئة و/أو مصدر طاقة متجددة لاعادة توليد العامل التنافذي. أمثلة تتضمن الطاقة الشمسية و الحرارة الارضية و طاقة الرياح للتبخر في المناخ الجاف و الحار أو درجة الحرارة الباردة للتبلور في الجو البارد أو الطاقة الضائعة من منظومة القدرة او المنظومات الكيمياوية.

الجهد التنافذي وتخمين الكلفة

منذ البداية الاولى من قبل سيدني لوب (Sidney Loeb) عام 1976 فإن فكرة استرداد طاقة التنافذ حصلت على اهتمامات متقطعة غير متواصلة وبالذات على شكل دراسات تصميمية وتقييمات اقتصادية أولية لقابلية النجاح. ان سبب عدم التواصل يعزى لعدم كفاية قدرة الفصل للأغشية التنافذية والكلفة العالية للغشاء لكل قدم مربع ولمعدل التحويل الواطئ نسبياً للماء عبر الغشاء [7، 8،9]. تبع ذلك التطور في مواصفات فصل الغشاء (والتي كانت بسبب قيادة تطبيقات تحلية المياه و صناعة الدواء صناعة الاغذية) و التي كانت قد ساعدت في جعلها كمنافس جدي لمولدات الطاقه الكبيرة. ولكن بالرغم من الاهتمامات البيئية فإنه و حتى أواخر التسعينات من القرن العشرين فإن العمليات لم تكن لتشكل بؤرة لتطوير تركيبي بدأت به شركة Statkraft والتي هي أكبر منتج للقدرة المائية في النرويج. المصادر العالمية تقدر بحوالي 2.6 تيرا واط. والجهد التقني يقدر بحوالي 2000 تيرا واط/ساعة. يجب الاخذ بالاعتبار ان هذه التقديرات قدرت على أساس التشغيل ما بين الجهد التنافذي للماء العذب و ماء البحر.

على أية حال، فإن دراستنا تبين ان القدرات العالمية في مجال القدرة التنافذية المائية غير محددة. وهذا يمكن دعمه من خلال حقيقة كون قدرات الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية غير محدودة، و اذا تم دمج مشروع HOP بنجاح مع مصادر الطاقة الشمسية أو أي مصدر للطاقة المتجددة فإن الجهود العالمية ل HOP ستكون كبيرة وغير محددة. ومما يدعم هذا هو أن الأرض اساساً مغطاة بحوالي 70% بالماء و أن حوالي 97% من هذا الماء هو ماء مالح في المحيطات والانهار. عليه فانه باستخدام الطاقة الشمسيه أو أي مصدر للطاقة المتجددة في تركيز البعض من ماء البحر في المناطق الساحلية يمكن أن يؤدي إلى الحصول على طاقة متجددة و كافيه باستعمال عملية HOP و من دون احراق أي وقود و من دون توليد غاز ثاني اوكسيد الكربون. بالاظافة لذلك فان 60% من سكان الارض يعيشون في مدن كبيرة و التي هي ضمن 65 ميل من السواحل.

في تقيم اقتصادي لمنظومة قدرة ل 48 ميكا وط تستخدم الماء المالح المركز الناتج عن منظومة تنافذ عكسي لماء البحر وجد أن كلفة الكهرباء المتولدة بحدود 28 يورو لكل ميكا واط ساعة. هذا الرقم يمكن مقارنته مع الكلفة

للكهرباء المتولد من محطات: كهرونووية (29)، فحم (22)، غاز طبيعي (12)، محطة كهرومائية (5) يورو لكل ميكا واط ساعة. وكما سبق و ان بينا سابقاً فإن شركة Statkraft قدمت كلفة بحدود 50 يورو لكل ميكا واط ساعة لمشروع يولد 25 ميكا واط و مبني على أساس الدائرة المفتوحة و يشتغل بفرق الضغط التنافذي ما بين الماء العذب و ماء البحر. هذا الرقم يتغير كثيراً مع تغير فرق الضغط التنافذي التشغيلي و مواصفات الغشاء و إلى درجة مع مكونات المنظومة اضافة إلى حجم التشغيل.

دراسة محاكاة منظومة استخلاص الطاقة

ان النشاطات البحثية و التطويرية لمركز الابحاث و التطبيقات التنافذية (CORA) في جامعة سري في المملكة المتحدة و بالتعاون مع شركة مودرن وتر (Modern Water) بينت ان جهد قدرة التنافذ أكبر كثيراً مما سبق و ان تم توقعه من قبل باحثين آخريين. ان نشاطات كل من CORA و شركة MW تتضمن دراسة مركزة لمنظومة تجريبية و ثلاث براءات اختراع في طاقة التنافذ و استرداد طاقة التنافذ. أحد هذه المشاريع منح براءة اختراع اوربية و الأخريات في الطور المحلي (البريطاني).

لغرض دراسة منظومة استخلاص للطاقة من الماء المالح قام مركز CORA باستخدام تقنية المحاكاة الحاسوبية لمنظومة استخلاص و ضمن الافتراضات التاليه:

1. صافي سعة القدرة المتولدة =25 ميكاواط.
2. كفاءة المضخة إلى التوربين=90%.
3. استرجاع الماء النقي =95%.
4. كفاءة PES=95%.
5. سعر الكهرياء = 0.07 يورو لكل كيلو واط ساعة.
6. عمر المشروع =25سنة.
7. كثافة الطاقه في 25 بار=0.58 ($MW/m^3/s$)، كثافة الطاقه في 50 بار= 1.73 ($MW/m^3/s$).

نتائج الدراسة

بينت دراسة أنه في منظومة HOP المفتوحة لانتاج طاقة بحدود 25 ميكا واط تكون الكلفة 48 يورو لكل ميكا واط ساعة عند استخدام ماء البحر و الماء النقي مع ضغط تنافذي مقداره 25 بار و باستخدام وحدتين من الأغشية. هذا الرقم ينخفض إلى 28 يورو لكل ميكا واط ساعة في حالة استخدام وحدة غشاء واحدة ذات نفاذية عالية. اضافة لذلك فان ذلك الرقم يمكن تخفيضه اكثر إلى حوالي 4 يورو لكل ميكا واط ساعة لنفس نفاذية الغشاء والماء

المستخدم ولكن مع فرق ضغط تنافذي بحدود 210 بار. مثل هذا الضغط يمكن الحصول عليه بعمليات خاصه وأماكن عدة حول العالم. كما يبدو من النتائج، فإن تقليل الكلفة يكون بزيادة كثافة الطاقة للمنظومة و ذلك بسبب الفرق الكبير في الضغط التنافذي والتطوير في استخدام الغشاء الذي يساهم في ب 50%-80% من كلفة المنظومة. النتائج تظهر بأنه كلما زاد فرق الضغط التنافذي كلما قلت النسبة المؤية للكلفة لوحدة الغشاء ومن ثم تقليل الكلفة الكليه للمنظومة. هذا ما ينعكس في تقديرات زمن أقل للاسترجاع (Payback time). على الرغم من ان التحديات التقنيه للاستخدام التجاري لتوليد الطاقه المائية - التنافذية معروف وموثق جيداً إلا ان تطبيق متطلبات معينة ما يزال غير كامل التحقق و التحديات الناتجة ما تزال غير محددة بشكل جيد.

الدراسة كاملة تجدونها في ملف الـ PDF أعلى الصفحة

البريد الإلكتروني للكاتب: a.sharif@surrey.ac.uk