



إنتاج الكهرباء بالضخ والتخزين المائي

مهندس ماجد كرم الدين محمود

المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة

maged.mahmoud@rcree.org

ويحتاج إنشاء مثل هذه المحطات لكميات هائلة من المياه ومساحات مناسبة من الأراضي ذات طبيعة مناسبة. وهي تعمل بكفاءة تتراوح بين ٧٠-٨٠٪ لوجود فقد أثناء تحويل الطاقة من وإلى طاقة كهربائية.. وأيضاً بسبب البخر والتسرب. وطبقاً لتقديرات أحد الدراسات الأمريكية في ٢٠١٣.. فإن تكاليف إنشاء هذا النوع من المحطات تتراوح بين ١٥٠٠ - ٤٣٠٠ دولار/ك وات طبقاً لحجم وطبيعة المشروع.. كما يوضح الجدول رقم (١). وبالرغم من الارتفاع النسبي لتكلفة المشروع الاستثمارية.. إلا أنها موزعة على مدى زمني طويل وذات تكاليف منخفضة للتشغيل.. وتتميز عن بدائل التخزين الأخرى في عدم معاناتها من مفاويد دورات الشحن والتفريغ كما هو الحال في البطاريات الكهروكيميائية.

المغرب.. نموذج لخبرة إقليمية

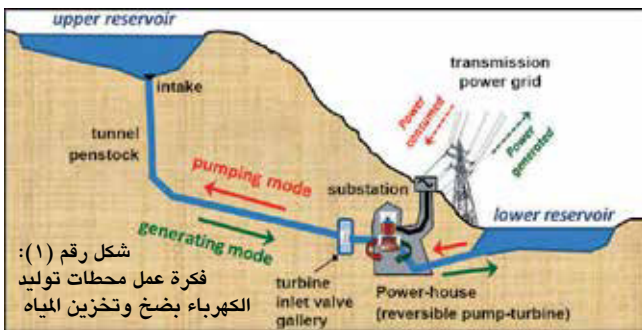
في إطار خطتها لتنويع إنتاجها من الطاقات النظيفة والوصول بها إلى ٤٢٪ من احتياجاتها الكلية من الطاقة بحلول عام ٢٠٢٠.. تمد المغرب الدولة الأولى والرائدة حالياً على المستويين العربي والإفريقي في مجال إنشاء وتشغيل محطات تحويل الطاقة بالضخ والتخزين المائي. وقد أقامت المغرب أولى هذه المحطات بقدرة ٤٦٠ ميجاوات جنوب بلدة "أفورار" على بعد ٢٠٠ كم شرق الدار

تمثل إتاحة الكهرباء في أوقات ذروة الاحمال الكهربائية وضمان استقرار الشبكة حالياً.. المشغل الشاغل لشركات ومؤسسات الكهرباء. كما أن طبيعة بعض أنواع الطاقات المتجددة المتغيرة مثل الرياح تستلزم وجود قدرات لمحطات احتياطية من تكنولوجيات أخرى مستقرة.. أو ما يسمى بقدرات التوازن أو الدعم.. مع دور متزايد لترابط شبكات الكهرباء بين الدول فيما يعرف بـ "الربط الكهربائي الإقليمي". ولكن أحد أهم الحلول التي قد تغيب عن العديد من المختصين هو اللجوء إلى منظومات تخزين للطاقة.. مثل محطات الضخ والتخزين المائي.. حيث يقتنع البعض على سبيل الخطأ بمحدودية فرص استغلال الطاقات المائية لتوليد الكهرباء.. متعللين باستغلال الموارد المتاحة من السدود والأنهار بشكل كبير.

حوالي ٣٠٠٠ ميجاوات (محطة "باث كاوتني").. يليها محطتان في الصين كل منهما أكثر من ٢٤٠٠ ميجاوات.. ومحطة في اليابان حوالي ١٩٠٠ ميجاوات.. ثم العديد من المحطات كل منها يجاوز ألف ميجاوات بمختلف دول العالم مثل روسيا وإنجلترا والهند وإيطاليا وبلجيكا وغيرها. كما يوجد العديد من المشروعات تحت الإنشاء بقدرة كبيرة.. منها

فكرة عمل المحطة

تقوم فكرة المحطة - شكل رقم (١) - على استغلال فترة الحمل الأدنى بالشبكة في ضخ المياه من خزان سفلي إلى خزان علوي.. ثم الاستفادة من تدفق المياه من الخزان العلوي إلى الخزان السفلي في توليد الطاقة الكهربائية في فترات الحمل الأقصى. كما يمكن الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية والرياح وبالتالي خفض مخاطر تغييرها.. وضمان إتاحة الطاقة في أوقات الذروة. وتتجاوز قدرات الضخ والتخزين عالمياً ١٢٧ ألف ميجاوات.. بما يمثل أكبر وسيلة تخزين للكهرباء بالشبكات. وفي أوروبا وحدها.. هناك ٣٦ ألف ميجاوات من محطات الضخ والتخزين تمثل ٥٪ من إجمالي قدرات التوليد.. بينما في اليابان ما يجاوز ٢٥ ألف ميجاوات.. وفي الولايات المتحدة أكثر من ٢١ ألف ميجاوات. وتوجد أكبر محطة ضخ وتخزين في العالم بالولايات المتحدة بقدرة



شكل رقم (١):
فكرة عمل محطات توليد الكهرباء بضخ وتخزين المياه



شكل رقم (٣): الأنابيب السطحية التي تصل بين خزانات المياه العلوية والسفلية في محطة توليد الكهرباء بالضخ والتخزين في المغرب



شكل رقم (٢): صورة من الطبيعة لأول محطة لتوليد الكهرباء بالضخ والتخزين في المغرب

استخدام أنابيب سطحية لرفع وإنزال المياه وليس أنفاق.. كما أنه اعتمد على تكنولوجيات غير مكلفة نسبياً لتبطين بحيرات الخزانات.. وأنشأ مبنى خارجياً للتربينات والمحولات.. وهو ما يمكن الاستفادة به في المشروع المصري.. وجدير بالذكر.. أنه تم الاتفاق في عام ٢٠١٣ مع بنك التعمير الألماني لتحديث الدراسات اعتماداً على استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة بدلاً من المياه العذبة من ترعة الاسماعيلية.. وتحليل الوضع الحالي للشبكة ومدى احتياجها للضخ والتخزين.. مع مسح شامل للمواقع المتاحة للضخ والتخزين والمفاضلة بينها وتحديد الأنسب منها. كما اقترحت هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة تكامل المشروع مع استخدام خلايا فوتوفولطية.

إن مشروعات الضخ والتخزين يجب أن تكون جزءاً متكاملاً في منظومة تطوير شبكة الكهرباء المصرية ككل.. بما يتيح استيعاب قدرات متزايدة من الطاقات المتجددة وتحقيق الاستراتيجية الطموحة في هذا الشأن.. وهو ما سيعني أيضاً استفادة محطات الضخ والتخزين من فرص التمويل المتاحة من المصادر المختلفة إقليمياً ودولياً.

تصويبات العدد السابق

- سقط من مقال "اللائحة التجارية لشركات توزيع الكهرباء" .. الاشارة الي أنه قد جري تعديل للمادتين ٣٠ و ٣١ الخاصتين بمخالفة شروط التوريد. وكان قد سبق للمجلة نشر هذه التعديلات بالتفصيل في العدد ١١٤ ضمن مقال "ضوابط التعامل مع مخالفات شروط التعاقد وسرقات التيار".
- حدث خطأ في البريد الالكتروني الخاص بالمهندس عباس حلمي الماظ (مقال نحو أداء أفضل للمحركات الكهربائية) وصحته: abbasalmaz7@aol.com



شكل رقم (٤): مخطط لمحطة "سد عبد المؤمن" لتوليد الكهرباء بالضخ والتخزين في المغرب

مصر.. ومشروع جبل عتاقة

سبق إجراء العديد من الدراسات حول إقامة محطات للضخ والتخزين بمصر في عدة مواقع.. كان أكثرها قريباً للجديوى الاقتصادية "مشروع جبل عتاقة" والذي جرت دراساته الفنية والاقتصادية عام ١٩٩٧ بمعرفة بيت خبرة سويدي.. وكان يعتمد علي استخدام المياه العذبة من ترعة الاسماعيلية.

وطبقاً للمعلومات المتوافرة.. فإن المشروع يمكن أن يتضمن ٦ وحدات ضخ وتوليد عكسية الحركة بقدرة توليد اجمالية ٢١٠٠ ميغاوات فضلاً عن خزان علوي على ارتفاع ٨٥٠ م بطاقة تخزينية ١٣,٤ جيجاوات ساعة وسعة تخزينية فعالة ٩ مليون م٣. وثلاثة خزانات سفلية على منسوب ٢٥٠ م فوق سطح البحر بإجمالي ٩ مليون م٣. وتقدر المسافة الأفقية بين الخزائين العلوي والسفلي ١٤٥٠ م.. والمسافة الرأسية بينهما ٦٠٠ م.. مع ٦ أنفاق رأسية بداخلها ٦ أنابيب حديدية مغلقة بالخرسانة (بقطر داخلي ٣,٦ م) لرفع المياه وإنزالها بين التربينات والخزان العلوي.. وثلاثة أنفاق أفقية بين الخزانات السفلية والتربينات.. حيث يتم تجميع الأنابيب لكل تربنتين الي نفق أفقي واحد.. وكذلك خطي ربط ٥٠٠ ك ف يتم ربطهما بأقرب محطة بمدينة السويس.. وساحة للمفاتيح على منسوب ٨٤٥ م فوق سطح البحر.. مع خط أنابيب بطول ١٤ كم لنقل المياه العذبة من ترعة الاسماعيلية. وتضمن تصميم المشروع آنذاك.. ساحات في باطن الجبل للمعدات من أربعة طوابق بطول ١٨٠ م واتساع ١٦ م تحتوي علي المولدات والتربينات والماكينات والصمامات. وتعلو طوابق المعدات مساحات للمحولات بارتفاع طابقين وبطول ١٧٥ م واتساع ١٥ م وارتفاع ١٥ م. ولاشك.. أن إنشاء تلك الطوابق والأنابيب في باطن الجبل كان

سيصبح أمراً مكلفاً جداً.. ولكن بالنظر إلى المشروع المقام في المغرب سنلاحظ أنه قد وفر قدراً ملحوظاً من التكاليف من خلال

البيضاء.. وتشمل محطة مائية عملاقة بها خزانان للمياه (علوي وسفلي) بفارق منسوب بينهما يبلغ ٨٠٠ م سعة كل منهما ١,٢ مليون م٣ متصلان بقناة وعدد من الأنابيب السطحية.. وبين الخزائين تتواجد وحدات ضخ الماء وتوليد الطاقة الكهربائية (٤ تربينات - مضخات عكسية الحركة). وقد حقق المغرب استفادة اقتصادية كبيرة باستغلال الطاقة المتاحة والرخيصة من الربط مع الشبكة الأسبانية وبخاصة أثناء الليل في ضخ المياه لاستغلالها وقت الذروة. ويوضح الشكل رقم (٢) صورة للمشروع علي الطبيعة.. كما يوضح الشكل رقم (٣) خطوط الأنابيب السطحية التي تصل بين الخزائين العلوي والسفلي للمشروع.

وقد شجع نجاح هذا المشروع على التفكير في إنشاء مشروع آخر أطلق عليه "سد عبد المؤمن". ويوضح الشكل رقم (٤) وصفا عاما للمشروع والذي سيتضمن خزان الماء العلوي بحجم ١,٢ مليون م٣.. وأنبوب الماء تحت الضغط بطول ٢ كم وقطر يتراوح بين ٤ - ٥ م.. ومحطة كهرومائية مجهزة بوحدة إنتاج بقدرة إجمالية تصل إلى ٢٥٠ ميغاوات وإنتاجية تبلغ ٦١٦ جيجاوات ساعة سنوياً.. فضلاً عن محطة محولات ٢٢٥ ك ف.. وخطوط الربط بشبكة الكهرباء.. وخزان الماء السفلي بحجم ١,٢ م٣ مع منشأة لجلب المياه إليه من السد القريب من موقع المشروع.. وكذلك طرق الوصول إلى المنشآت. ومن المتوقع أن تكون مدة تنفيذ المشروع ٤٨ شهراً وأن يتكلف نحو ٢٢٠ مليون يورو. وقد تم بالفعل تأمين تمويل المشروع.. حيث حصل المكتب الوطني للكهرباء على قرض من البنك الأوربي للاستثمار قدره ١٥٠ مليون يورو. كما يساهم البنك الإفريقي للتنمية بقرض قيمته ٢٥ مليون دولار في إطار صندوق التكنولوجيات النظيفة وقرض من البنك نفسه بقيمة ٥٠ مليون يورو.

جدول رقم (١): تكاليف إنشاء محطات الضخ والتخزين

حجم المحطة	القدرات (ميغاوات)	قدرة تغذية الحمل الأقصى (ساعة)	التكلفة الكلية (دولار/ميغاوات)
صغيرة	٢٨٠ - ٥٣٠	٦ - ١٠	٢٥٠٠ - ٤٣٠٠
كبيرة	٩٠٠ - ٢٠٠٠	٦ - ١٠	١٥٠٠ - ٢٧٠٠