تأثير تخزين الطاقة الكامنة للماء في استقرار محطة بخارية تقليدية لتوليد الطاقة

د. م. عيسى مراد*

الملخص

تتغير حمولة المحطات البخارية لتوليد الطاقة مع تغيرات استهلاك الطاقة الكهربائية اللحظية، وينتج عن ذلك عدم استقرار في عمل المحطة وتغير الاستهلاك النوعي للوقود، كما يمكن أن لا تواكب المحطة تغيرات الاستهلاك في أوقات الذروة، ولتحسين أداء المحطة الحرارية دُرِسَ تخزين الطاقة الكامنة للماء في أوقات فجوة الاستهلاك، ثم أُعِيدَ استخدامها في أوقات الذروة؛ وذلك من خلال محطة هيدروحرارية تجمع بين المحطة البخارية و المحطة الهيدروليكية، وطُبِّقَ ذلك على محطة بانياس الحرارية لما توفره منطقة الساحل السورية من طبيعة جغرافية مناسبة حيث توجد المرتفعات الجبلية بالقرب من البحر.

الكلمات الدلالية: محطة هيدوحرارية، مضخة، عنفة مائية، منحنيات الحمولة، ذروة الاستهلاك، فجوة الاستهلاك

* أستاذ مساعد – قسم هندسة الميكانيك العام – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق

1- المقدمة:

يختلف استهلاك الطاقة الكهربائية في الشبكة تبعاً لعدة عوامل، أهمها: اختلاف التوقيت بين النهار والليل وخلال ساعات النهار وأيام العطل والنشاط الصناعي والنشاط المنزلي، كما يختلف باختلاف الفصول إذْ إنَّ الاستهلاك يكون أعظمياً خلال مدد محددة، في حين يكون أصغرياً خلال مدد أخرى. يجب على محطات توليد الطاقة الكهربائية تأمين احتياجات الشبكة من الكهرباء في كل لحظة، وبمعنى آخر يجب أن يكون التوليد مساوياً للاستهلاك. تصمم محطات توليد الكهرباء عند حمولة تصميمية محددة وعند اختلاف الاستهلاك. يُغَيَّرُ تدفق الوقود في المحطة عن التدفق الاسمي، ومن ثَمَّ فإن أداء المحطة يتغير مما يؤثر سلباً في مردود المحطة والاستهلاك النوعي للوقود، لحل هذه المشكلة تستخدم طرائق مختلفة لتخزين الطاقة في أوقات فجوة الاستهلاك (أوقات الاستهلاك الأصغري)، ثم يُعَادُ استخدام هذه الطاقة في أوقات الحاجة [2].

أهم طرائق تخزين الطاقة هي:

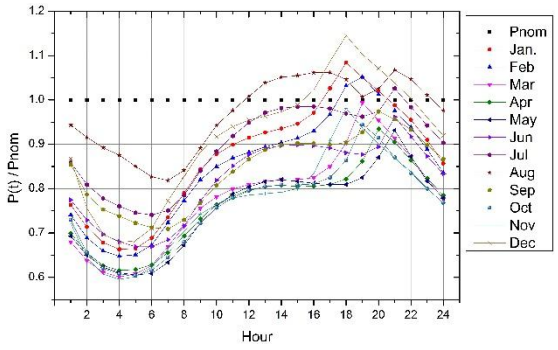
- التخزين الحراري باستخدام الماء لاستخدامه في مياه التغذية.
- التخزين باستخدام المدخرات الكهربائية.
- التخزين الحراري باستخدام المواد المتعددة الأطوار.
- تخزين الطاقة الكامنة للماء.

تعدُّ الطريقتان الأوليان: الأولى ذات كلفة عالية وتحتاج إلى تصميم معقد وكمية مواد عازلة كبيرة، كما أن استخدام المدخرات الكهربائية يحتاج إلى حجوم هائلة، وهي ذات مردود منخفض فضلاً عن كلفتها العالية، في حين يعدُّ تخزين الطاقة الكامنة للماء الأقل كلفة ولكنه بحاجة إلى توفر المياه وإلى فرق في المستوى بين المصدر المائي وخزان الماء [1].

بناء على ما سبق تعدُّ منطقة الساحل السوري مناسبة من الناحية الجغرافية وتوفر المياه إذْ إنَّ المرتفعات الجبلية القريبة من البحر توفر فرق مستوى مناسباً بين الخزان الذي يستخدم لتخزين المياه ومصدر المياه (البحر)، ومن ثَمَّ يمكن إنشاء محطة لتوليد الطاقة الكهربائية أو إمكانية تعديل محطة قائمة من خلال بناء خزان ذي سعة مناسبة على ارتفاع معين في المرتفعات الجبلية، حيث يُضَخُّ المياه من البحر إلى الخزان بواسطة مضخة ذات اتصال مباشر مع محور العنفة بحيث تعمل هذه المضخة في أوقات فجوة الاستهلاك على أن يُستفادَ من الطاقة الكامنة من الماء المخزن في الخزان العلوي من خلال استخدام عنفة هيدروليكية متصلة بمنوبة كهربائية تعمل في أثناء مدة الذروة الكهربائية. ويجري التحكم بأوقات عمل المضخة وعمل العنفة الهيدروليكية من خلال صمامات متوضعة على الأنابيب لتعبئة الخزان وتفريغه.

2- منحنيات الاستهلاك الكهربائي:

يبلغ الحمل الاسمي لمحطات توليد الطاقة العاملة في الجمهورية العربية السورية قرابة (6500 MWe) في حين يختلف الاستهلاك الكهربائي تبعاً لتغير ساعات النهار والليل تبعاً لتغير فصول السنة [5]. يوضّح الشكل (1) تغير منحنيات الحمولة الكهربائية الوسطية



الشكل 1: منحنيات الحمولة الكهربائية اليومية الوسطية خلال مختلف أشهر السنة

في الجمهورية العربية السورية، وقد دُرِسَ الاستهلاك الكهربائي خلال يوم كامل لمختلف أشهر السنة بالتفصيل. يوضح الجدول الآتي إحصائيات الاستهلاك الكهربائي خلال كامل أيام السنة وتحليل الاستهلاك والإنتاج لعام 2010 الذي يعدُّ عاماً نموذجياً.

الشهر	عدد ساعات الذروة	زيادة الاستهلاك	نقص الاستهلاك
	hour	MW	MW
كانون الثاني	142	46,095	669,907
شباط	95	37,031	706,379
اذار	18	2,968	1,078,826
نيسان	4	228	1,112,623
أيار	0	0	1,178,866
حزيران	3	90	847,809
تموز	126	19,749	526,345
أب	311	120,692	275,216
أيلول	24	3,493	737,765
تشرين الأول	7	490	1,155,990
تشرين الثاني	20	3,660	1,086,016
كانون الأول	237	117,612	528,073

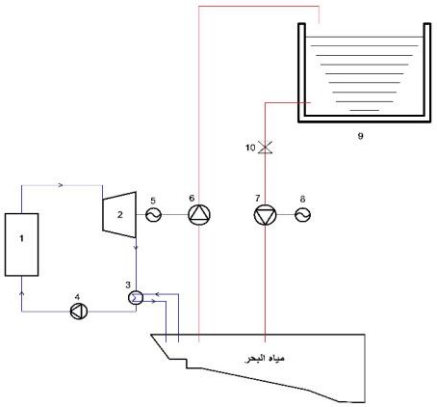
نلاحظ أن أكبر عدد لساعات ذروة الاستهلاك الكهربائي هي في شهر أب، كما أن أكبر زيادة في الاستهلاك هو في شهر أب، وبناء عليه تعتدُّ معطيات شهر أب هي المعطيات المُثلَى لتصميم المحطة كما شُرِحَ لاحقاً.

3- المحطة المقترحة:

تقوم المحطة الهيدروحرارية المقترحة بالجمع بين ميزات المحطة الحرارية البخارية العاملة وفق دورة رانكين المغلقة لتوليد الطاقة والمحطة الهيدروليكية العنفية (لا يوجد تداخل بين دورة البخار ودورة المحطة الهيدروليكية).

يوضّح الشكل (2) مخططا رمزياً للمحطة المقترحة التي تتألف مما يأتي:

- مرجل (1).
- عنفة بخارية (2).
- مكثف رطب (3).
- مضخة (4).
- منوبة كهربائية (5) مربوطة مع العنفة البخارية على المحور نفسه.
- مضخة مائية (6)مربوطة على المحور نفسه من المنوبة.
- عنفة هيدروليكية(7).
- منوبة كهربائية (8) مربوطة على المحور نفسه مع العنفة الهيدروليكية.
- خزان مائي (9) موجود على مستوى أعلى من مستوى المحطة الحرارية.
- صمام قطع (10).



الشكل 2: المخطط الرمزي للمحطة الهيدروحرارية

تعمل المضخة (6) المربوطة ميكانيكياً مع العنفة البخارية والمنوبة في أوقات فجوة الاستهلاك وتقوم برفع مياه البحر إلى الخزان العلوي (9) وعند امتلاء الخزان أو ارتفاع الاستهلاك فوق الحمل الاسمي للمحطة تُفْصَلُ عن العمل ويفتح الصمام (10) ويفرغ الخزان وتتوجه المياه نزولاً عبر العنفة الهيدروليكية حيث تتحول الطاقة الكامنة للمياه المخزنة بتدوير العنفة التي بدورها تقوم بتدوير المنوبة الكهربائية المرتبطة بها لسدّ العجز في الاستهلاك الكهربائي وقت الذروة.

4- النموذج الرياضي للمحطة المقترحة:

إن الحمل الاسمي للمحطة البخارية القائمة ثابت.

$$P_{nom} = cons\tan t \qquad (1)$$

تعطى الاستطاعة الوسطية المستهلكة يومياً من تكامل الاستطاعة المستهلكة لحظياً خلال ساعات النهار التي تساوي كمية الحرارة المنتجة في حال كون المحطة لا تعمل وفق حملها الاسمي كما يأتي:

$$P_{av} = \frac{1}{24}\int_0^{24} p_{(t)}dt \qquad (2)$$

تعطى استطاعة المضخة اللحظية العاملة في أوقات فجوة الاستهلاك ذات الضاغط (H) والتدفق الحجمي (Q) من العلاقة الآتية:

$$P_{pi} = p_{nom} - p_{(t)} = \frac{\rho.g.Q_{pi}.H}{\eta_{pump}} \qquad (3)$$

بينما تعطى استطاعة العنفة الهيدروليكية اللحظية العاملة في أوقات الذروة من العلاقة الآتية:

$$P_{Ti} = p_{(t)} - p_{nom} = \rho.g.Q_{Ti}.H.\eta_{turbine} \qquad (4)$$

يعطى ضاغط المضخة من العلاقة الآتية:

$$H = Z_H + L_H + F_H \qquad (5)$$

إذْ إنَّ مركبات فاقد الضغط في العلاقة السابقة تعطى كما يأتي:

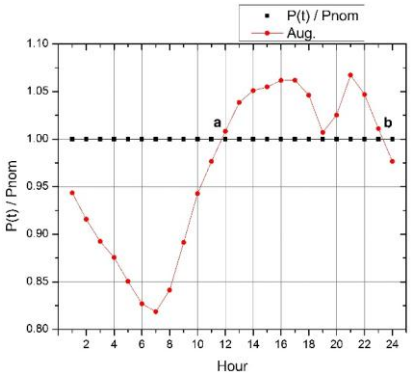
$$L_H = \xi\frac{V^2}{2g} \qquad (6)$$

وبفرض أن الضياعات في الأنابيب الصاعدة من البحر إلى الخزان العلوي هي نفسها الضياعات في الأنابيب الهابطة من الخزان العلوي إلى العنفة الهيدروليكية وأن العنفة على مستوى المضخة نفسه (إن حدوث ترسب الأملاح على جدران الأنابيب ذو تأثير قليل كما هو تأثير الترسب في أنابيب دارة التبريد والمكثف)، فإن الاستطاعة التي يجب أن تخزنها المضخة في أوقات فجوة الاستهلاك هي نفسها الاستطاعة التي يجب أن تستهلكها العنفة الهيدروليكية، ويعبر عن ذلك رياضياً كما يأتي:

$$\int_a^b p_{(t)} - p_{nom} = p_{nom} - \int_b^a p_{(t)} \qquad (7)$$

5- حل النموذج الرياضي:

نظراً إلى أن الاستهلاك في أوقات الذروة يكون أعظمياً في شهر أب فإن تصميم المحطة سوف يكون وفق معطيات الاستهلاك في هذا الشهر. يوضّح الشكل (3) الاستهلاك الوسطي الساعي في يوم نموذجي كامل من شهر آب.



الشكل3: منحنى الحمل الكهربائي اللابعدي اليومي الوسطي في شهر أب

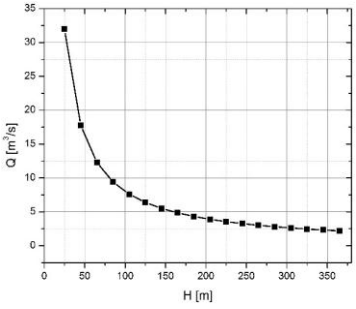
والمحطة المقترح تعديلها هي محطة بانياس البخارية المكونة من أربع عنفات بخارية التي يبلغ الحمل الاسمي لكل منها 170 MWe وقد أُجْرِيَتِ الدراسة على عنفة منفردة. نلاحظ من الشكل السابق ما يأتي:

- أن مدة ذروة الاستهلاك بين الساعة 12 ظهراً حتى الساعة 11 ليلاً، وأن نسبة النقص بالطاقة في مدة الذروة هي قرابة (4 %) من قيمة الطاقة الاسمية المنتجة خلال هذه المدة (المساحة المحصورة بين منحنى الاستطاعة اللحظية من النقطة a إلى النقطة b وبين مستقيم الاستطاعة الاسمية).
- أكبر نسبة لحظية للاستهلاك التي هي أكبر نسبة لاستطاعة العنفة هي قرابة (6.74%) من القيمة الاسمية للاستطاعة وذلك عند الساعة 9 مساءً.
- بينما تمتد قرابة فجوة الاستهلاك من بعد 11 ليلاً حتى الساعة 12 ظهراً، ونسبة الطاقة التي يمكن الإفادة منها هي قرابة (10.4 %) من قيمة الإنتاج الاسمي في هذه المدة (المساحة المحصورة بين منحنى الاستطاعة اللحظية بين النقطة b إلى النقطة a ومستقيم الاستطاعة الاسمية).
- أصغر نسبة استطاعة في فجوة الاستهلاك هي (18.13 %) من قيمة الاستطاعة الاسمية، وتكون عند الساعة 7 صباحاً.

- إن الطاقة التي يمكن الإفادة منها في عملية التخزين في مدة فجوة الاستهلاك تكفي لسدّ الحاجة في مدة ذروة الاستهلاك.

5-1 حساب استطاعة المضخة:

يجب أن تقوم المضخة بضخ كمية من مياه البحر إلى الخزان العلوي تساوي السعة التخزينية للخزان وتكفي لتوليد استطاعة مقدارها 81,6 MWe خلال مدة الحاجة (أي 4% من الحمل الاسمي في مدة فجوة الاستهلاك) واختيار استطاعة المضخة يتطلب مراعاة العوامل الفنية والاقتصادية إذْ مع ازدياد ارتفاع الخزان (ازدياد ضاغط المضخة) [3] تتناقص كمية المياه المخزنة، ومن ثَمَّ حجم الخزان والنقيض صحيح. إن المحطة التي سوف تُخَزِّنُ الطاقة فيها هي محطة بانياس الحرارية وباعتبار أن مضخات مياه التبريد في مكثف محطة بانياس تضخ المياه من البحر دون تحلية ستكون مواصفات المضخة والعنفة المقترحتان مطابقة لمواصفات مضخات مياه التبريد من حيث مقاومة الملوحة، ومردود المضخة ثابت (90%) وزمن الشحن في مدة فجوة الاستهلاك (10 hours) تكون استطاعة المضخة العظمى (8.17MW).



الشكل 4: تغير تدفق المضخة مع تغير ضاغطها

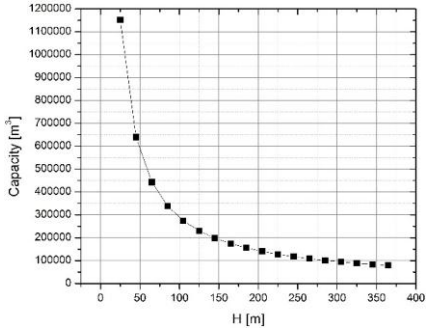
وبناء عليه تُحْسَبُ قيمة جداء البارامترين الأساسين للمضخة (الضاغط والغزارة) من العلاقة (3):

$$Q_{pi}.H = 799.08$$

نظراً إلى أن ارتفاع أعلى نقطة بالقرب من محطة بانياس يبلغ (362 m) فإن تغير تدفق المضخة كتابع لضاغطها بين مستوى البحر وأعلى نقطة يعطى بحسب الشكل(4).

نلاحظ أن معدل تناقص التدفق يصبح أصغرياً عندما يصبح ضاغط المضخة أكبر من 150m.

يوضح الشكل (5) تغير حجم خزان الماء العلوي مع تغير الارتفاع الذي يصبح معدل تناقص حجمه أقل فوق ارتفاع 150 m.



الشكل 5: تغير سعة الخزان مع تغير ضاغط المضخة

وبناء على ما سبق اختيرت أبعاد الخزان وبارامترات المضخة كما هو موضّح في الجدول الآتي:

سعة الخزان	m^3	100,000
ارتفاع الخزان	m	10
عرض الخزان	m	100
طول الخزان	m	100
مستوى أسفل الخزان	m	270
ضاغط المضخة	m	281
تدفق المضخة	m^3/s	2,96
استطاعة المضخة	kW	8159,6

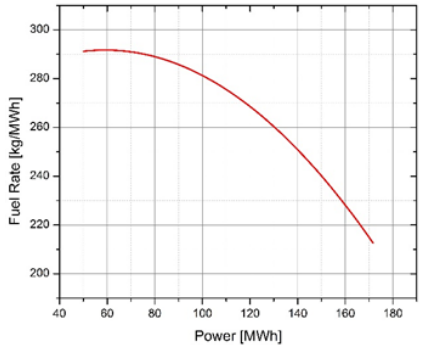
5-2– حساب استطاعة العنفة المائية:

يجب أن تؤمن العنفة قيمة الاستطاعة اللحظية المطلوبة في ذروة الاستهلاك، ومن ثَمَّ حُسِبَ التدفق إلى العنفة من العلاقة (4). بناءً على تحديد ذروة الاستهلاك وارتفاع الخزان المسبق وبفرض أن مردود العنفة 85% يكون التدفق الأعظمي إلى العنفة ($5.1\ m^3/s$) الذي يتغير تبعاً للحاجة عن طريق صمام التحكم [4].

6- دراسة أداء المحطة الهيدروحرارية:

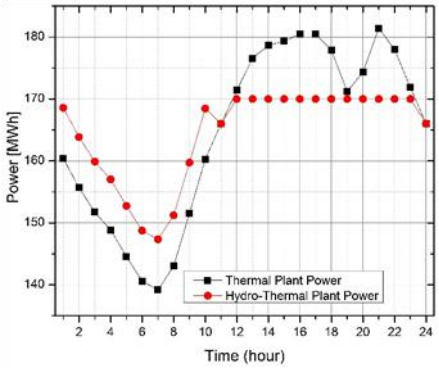
يتغير الاستهلاك النوعي للوقود في المحطات الحرارية تبعاً لحملها، ومع تناقص الحمل تحت الاستطاعة الاسمية يزداد الاستهلاك النوعي الذي يعني زيادة في استهلاك

الوقود. يوضّح الشكل (6) هذه التغيرات عند حمولات فعلية قُرِئَتْ من صالة التحكم في محطة بانياس الحرارية.



الشكل6: تغير الاستهلاك النوعي للوقود مع تغير حمولة المحطة

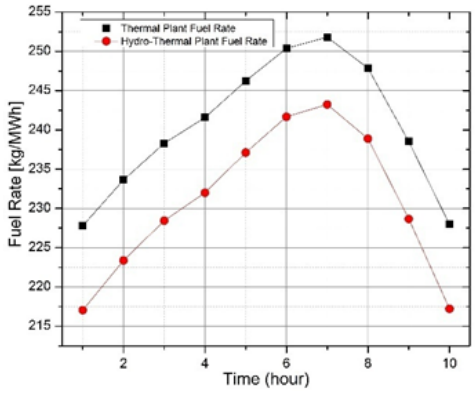
يوضّح الشكل (7) مخطط حمولة المجموعة البخارية



الشكل 7: الفرق بين منحنى المجموعة البخارية للمحطة الحرارية والمحطة الهيدروحرارية

في محطة بانياس الحرارية والمحطة الهيدروحرارية المدروسة، إذْ نلاحظ أنَّ في مدة فجوة الاستهلاك يكون حمل الجزء البخاري من المحطة الهيدروحرارية أكبر من حمل المحطة الحرارية، في حين يكون هذا الحمل ثابتاً في مدة ذروة الاستهلاك، وتقوم العنفة الهيدروليكية بسدّ مدة الذروة.

على الرغم ازدياد الاستهلاك النوعي للوقود في كلتا المحطتين (البخارية والهيدروحرارية) خلال مدة فجوة الاستهلاك تكون زيادة الاستهلاك النوعي للوقود في المحطة الهيدروحرارية أقل من زيادته في المحطة البخارية، كما هو موضّح في الشكل (8).



الشكل8: الفرق بين الاستهلاك النوعي للوقود في المحطة الحرارية والهيدروحرارية خلال فجوة الاستهلاك

7- الاستنتاجات:

- يؤدي ارتفاع خزان الماء فوق مستوى المحطة الهيدروحرارية دوراً مهماً في تحديد حجمه.
- يكون الاستهلاك النوعي للوقود في المحطة الهيدروحرارية أقل منه في المحطة الحرارية.
- تستطيع المحطة الهيدروحرارية مواكبة التغيرات في مدة ذروة الاستهلاك، وبكلفة أقل للوقود نظراً إلى الاستهلاك النوعي الأقل.
- إن منحنى الحمولة في المحطة الهيدروحرارية أكثر استقراراً منه في المحطة البخارية.

مسرد المصطلحات:

استطاعة المنوبة الاسمية		MW
استطاعة المنوبة الوسطية		MW
استطاعة المضخة اللحظية		MW
استطاعة المنوبة اللحظية		MW
استطاعة العنفة اللحظية		MW
التدفق اللحظي في المضخة		m^3/s
التدفق اللحظي في العنفة		m^3/s
ضاغط المضخة		m
المردود	η	%
سرعة الماء في الأنابيب		m/s
كثافة الماء	ρ	Kg/m^3
الجاذبية الأرضية		m/s^2

8- المراجع*

[1] Betagli N. Bosio A. Carcasci C. "An improved costal-sited HGT power plant" 2001.

[2] A.K. Raja, Amit P. Srivastava, Manish Dwivedi, " Power Plant Engineering" 2006.

[3] Igor J. Karassik, J.P. Messina, P. Cooper, Charles C. Healed, "Pump Handbook", 3rd Edition, 2001.

[4] Allen J. Wood, Bruce F.Wollenberg, "Power Generation, Operation, and Control" 1996.

[5] سجلات صالات التحكم في وزارة الكهرباء، الجمهورية العربية السورية، 2010.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2015/3/22