إمكانية استثمار السدود المتوسطة في توليد الطاقة الكهربائية
حالة دراسية مجمع سدود أفاميا في محافظة حماة

د.م. وسام نخلة* **د.م. ريان محمد****

الملخص

تعد الطاقة المائية الأكثر نضجاً بين موارد الطاقة المتجددة المستخدمة في توليد الكهرباء حتى الآن. وقد جذب الازدهار في تقنيات هذه المحطات ولاسيما الصغيرة منها اهتمام المستثمرين في مجال الطاقة، وتغلغلت صناعتها في أسواق الكهرباء المتقدمة في العالم.

تستخدم طاقة المحطات الكهرومائية في سد الجزء المتغير(الذروات) من منحنى الحمل اليومي، نظراً إلى إمكانياتها العالية في المناورة وكفاءتها المميزة، واستناداً إلى المعطيات المقدمة فإن 20-30% فقط من هذا النطاق يسد بالمحطات الكهرومائية العاملة في سورية، وهي بشكل أساسي محطات توليد الفرات الثلاث (الفرات، وتشرين والبعث)، والجزء المتبقي عن طريق المحطات الحرارية، إذْ تقلل الذروة لمنحنى الحمولة الحاد من ظروف تشغيلها وكفاءتها ويزيد من كلفة إنتاج الطاقة فيها.

من هنا تأتي أهمية التفكير وضرورته بزيادة حصة الطاقة الكهرومائية لسد ذروات الحمل اليومي. والحلول المطروحة حالياً على المستوى المحلي والعالمي هو التوجه نحو المحطات الكهرومائية الصغيرة والمحطات الادخارية، حيث استنفدت المحطات الكهرومائية الكبيرة طاقة الجريانات الرئيسة في البلاد.

كحالة دراسية اختير مجمع سدود أفاميا المصممة لأهداف الري التي تعتمد طريقة الضخ لملء بحيراتها، حيث يعاد تفريغ البحيرات عبر المفرغات السفلية لهذه السدود بشكل عكسي دون الاستفادة من طاقتها الكامنة. وبهدف الاستفادة من هذه الطاقات اقْتُرِح إنشاء ثلاث محطات كهرومائية أبنيتها ملاصقة لمحطات الضخ المدروسة مسبقاً في هذا المجمع. ويعد الهدف الرئيس من الدراسة الأولية هذه، حساب الطاقة المائية الممكن استثمارها من هذه المنظومة دون التعمق في الحسابات التصميمية لمباني المحطات كونها دراسة أولية وليست تنفيذية. وفي سياق هذا العمل تبين أن الطاقة الممكن استثمارها من هذه السدود هي بحدود 18.47 مليون كيلوواط ساعي سنوياً، هذه الطاقة تعد مهدورة ولتعويضها باستخدام محطات غازية أو حرارية نحتاج إلى وقود فقط بما يعادل 1.88 مليون دولار سنوياً.

وفي نهاية العمل تم التركيز على المحاكاة التحليلية للجدوى الفنية والاقتصادية لبناء المحطات الكهرومائية الصغيرة واستخدامها في مشروعنا؛ وذلك بهدف تسليط الضوء على أهمية الموضوع ومدى الريعية المتوقعة لرأس المال المستثمر في هذا المجال.

الكلمات المفتاحية: المحطات الكهرومائية الصغيرة – الطاقة المائية - المحطات الحرارية – المحطات الادخارية.

* دكتور مهندس مدرس في قسم الهندسة المائية- كلية الهندسة المدنية- جامعة دمشق.
** دكتور مهندس- الهيئة العامة للموارد المائية- وزارة الموارد المائية.

1. المقدمة:

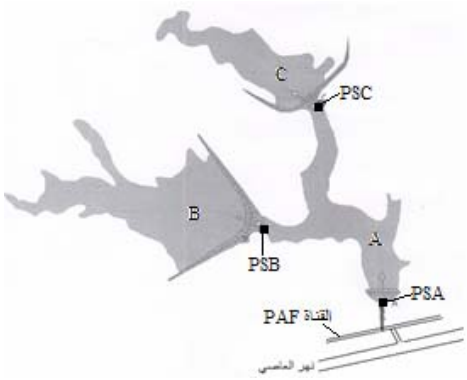
تمتلك الجمهورية العربية السورية بشكل عام موارد مائية محدودة يمكن استغلالها في توليد الطاقة الكهربائية حيث لا وجود في سورية لأنهار كبيرة كثيرة يمكن بناء محطات كهرومائية كبيرة عليها باستثناء نهر الفرات من خلال سدوده: الفرات، وتشرين والبعث. لكن مع الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية التي هي عصب الاقتصاد لأي بلد لا بد من التفكير بموارد طاقة بديلة كطاقة الرياح كما يجب استغلال أية إمكانية يمكن من خلالها توليد هذا العنصر الحيوي المهم للاقتصاد الوطني. تمتلك الجمهورية العربية السورية مجموعة كبيرة من المجاري المائية خاصة في المناطق الجبلية منها التي تتميز بانحدارات شديدة، جريانها ذو سرعات كبيرة يمكن استثمارها في توليد الطاقة الكهربائية عن طريق بناء منشآت كهرومائية صغيرة تتناسب مع هذه المجاري؛ وهذا الأمر يتطلب دراسات فنية وإحصائية واقتصادية لتحديد الإمكانية الكهرومائية لهذه المجاري المائية، هذا فضلاً عن السدود المقامة على تلك المجاري التي تشكل في بعض الأحيان ضواغط مائية جيدة بالنسبة إلى عمل أنواع معينة من العنفات الحديثة التي تمتاز بصغرها وكفاءتها الجيدة.

مما سبق نجد أن التفكير باتجاه توليد الطاقة الكهربائية من المجاري المائية وبحيرات السدود باستخدام المحطات الكهرومائية الصغيرة أمر يستحق الانتباه خاصة لما تتميز به الطاقة الكهرومائية من تفضيلات بيئية واقتصادية على غيرها من أشكال توليد الطاقة ولاسيما الحرارية.

2. موقع المشروع والمعطيات الأولية لحساب الطاقة المائية:

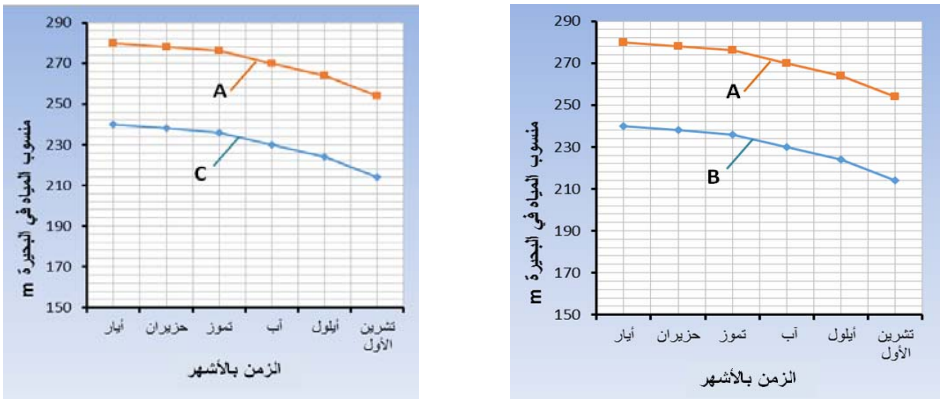
كمثال عن استثمار هكذا إمكانيات اختير نموذج عملي، وهو مجمع سدود أفاميا الذي يقع في المنطقة وسطى وتحديداً في محافظة حماة. يتألف مجمع سدود أفاميا من ثلاثة سدود C،B،A كما هو موضح في الشكل(1) التي تملأ من كانون الأول وحتى منتصف أيار. تُضخ المياه من المجرى القديم لنهر العاصي إلى القناة PAF ومنها وعن طريق محطة الضخ PSA تُضخ المياه إلى بحيرة السد A. بعد ذلك تملأ محطات الضخ PSB وPSC بحيرات السدود C،B على التوالي.

صيفاً في المدة من منتصف أيار وحتى نهاية تشرين الثاني تفرغ بحيرات هذه السدود المياه تدريجياً وبشكل عكسي تعطى عبر القناة PAF ذاتها التي منها تتفرع شبكة قنوات توزيعية لأغراض الري.

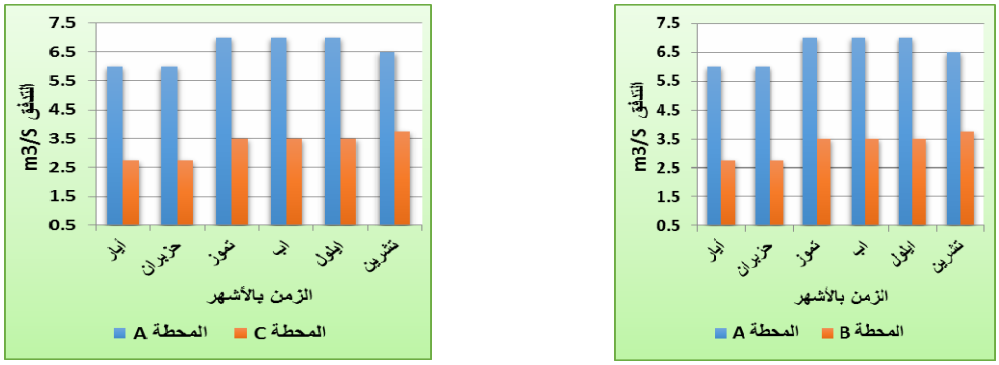


الشكل(1) مسقط أفقي لسدود أفاميا A,B,C ومحطات الضخ

تظهر الأشكال(2) و(3) المعطيات المائية الأولية المطلوبة في تصميم المحطات الكهرومائية المقترحة. إذْ يبين الشكل(2) تغيير مستوى المياه في البحيرات B،A وC مع الزمن، ومن خلال هذه المنحنيات يمكن استقراء الضاغط المائي المحتمل على المحطات، أما الشكل(3) فيظهر كميات المياه المستجرة (التدفقات) من خلال مفرغات السدود بعلاقتها مع الزمن حيث تفرغ السدود C,B في بحيرة السد A وبدورها تفرغ مياهها في القناة السفلية PAF.



الشكل (2) – تغيرات مستويات المياه في البحيرات في مدة عمل المحطات



الشكل (3) – تغيرات تدفقات المحطات خلال مدة العمل

3. استطاعة المحطة الكهرومائية وطاقتها الإنتاجية:

تعمل المحطة الكهرومائية وفق النظام الصيفي. في فصل الصيف المياه المخزنة من تشرين الثاني وحتى أيار تعطى للري من خلال القناة PAF مباشرة من بحيرة السد A، أما مياه البحيرات B،C فتُعطى أولاً للبحيرة A ثم عبر القناة PAF نفسها بعد ذلك للري.

من أجل تقيم الجدوى من بناء مثل هذه المحطات الكهرومائية الصغيرة وحساب مردود هذه المحطات في مجمع سدود أفاميا لابد من القيام بحسابات الطاقة الكهرومائية. يعتمد توليد الطاقة الكهربائية في المحطات الكهرومائية على المبدأ الآتي: تعبر المياه من المستوى العلوي للمياه إلى المستوى السفلي مروراً بشفرات العنفة حيث تتحول الطاقة الكامنة للمياه إلى طاقة حركية ميكانيكية، تدير بدورها المحور الحامل للعنفة حيث تُنْقَلُ الحركة إلى المولدة وفيها تُحوَّلُ الطاقة الميكانيكية (الحركية) إلى طاقة كهربائية، ثم تنقل بواسطة كابلات إلى محولات رافعة للجهد، وبعدها إلى معدات التوزيع، ثم تنقل إلى أماكن الاستهلاك بواسطة شبكة تسمى الشبكة الرئيسة. بتطبيق معادلة بيرنولي وإجراء التعديلات اللازمة نحصل على العلاقة التي تعبر عن الاستطاعة المائية N (kW) وهي:

$$N = 9.81 Q H$$

يضيع جزء من الاستطاعة المحسوبة بالعلاقة السابقة بالاحتكاك في الممرات المائية للمحطة والعنفة والمولدة وتؤخذ بالحسبان هذه الضياعات بإدخال المعامل η إلى العلاقة السابقة، ويسمى معامل مردود المحطة فتصبح العلاقة السابقة بالشكل الآتي:

$$N = 9.81 Q \cdot H \cdot \eta$$

باعتبار قيمة المعامل η وبشكل تقريبي $\eta = 0.87$ تصبح العلاقة:

$$N = 8.5\,Q \cdot H$$

إذْ:

Q- تدفق الماء عبر المفرغ $[m^3/s]$

H- الضاغط المائي $[m]$

تؤخذ قيم تدفقات المياه من الشكل(3) بحسب [6]، أمـا الضاغط فهو فرق المستويات المائية العليا والمنخفـضة. ويؤخذ من الشكل (2). بناء على حـسابات الاسـتطاعة المائية المبين نتائجها في الجـدول(1) يرسـم المنحنـى البياني الشكل (4) الذي يعبر عن الاستطاعة مع الزمن. من هذا المنحنى تُخْتَار الاستطاعة التصميمية للمحطـات الكهرومائية المقترحة حيث تؤخذ قيمتها مساوية للقـدرة الأعظمية في الجدول (1).

- للمحطة A, $N_A = 3927$ kW
- للمحطة B, $N_B = 1275$ kW
- للمحطة C, $N_C = 1275$ kW

الطاقة المنتجة في المحطة خلال مدة زمنية مـا تعطـى بالعلاقة:

$$E = N \cdot T = 8.5 \times Q.H.t$$

إذْ تقدر E بواحدة الكيلو واط ساعي (kW.h)، وتحـسب للمحطات (A,B,C) بعملية تكامل المنحنيات البيانيـة للقدرة (الاستطاعة) الشكل (4). قيمة المساحة المتشكلة من كل منحنى تحدد الإنتاجية الكهربائية لكل محطـة E. لحساب المساحة ومن ثَم الإنتاجية نستخدم العلاقة الآتية:

$$E = \Sigma \Delta e$$

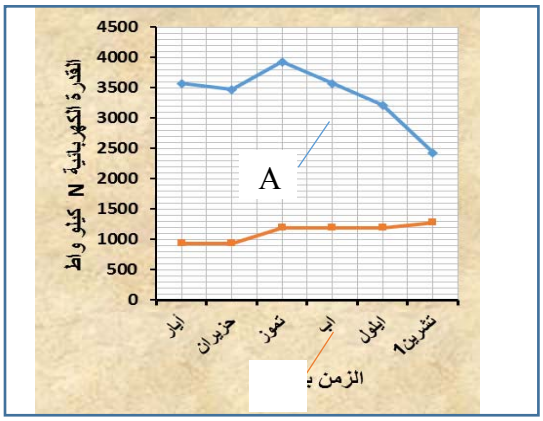
$$\Delta e = N_i * t_i$$

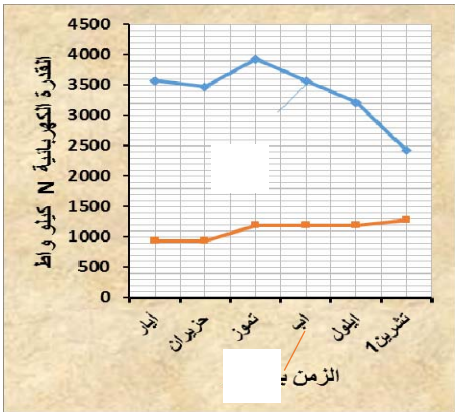
$$N_i = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

نحول منحنى الاستطاعة في الشكل رقم (4) إلى مخطط قضبان ليسهل حساب الطاقة، بعـد تقـدير الاسـتطاعة الوسطية خلال المدد الزمنية المختارة وفق الشكل حسبت الطاقات الجزئية Δe ودونت نتائج الحسابات باسـتخدام علاقـات الطاقـة الـسابقة فـي الجـدول(3)

الجدول (1) حسابات الاستطاعة المائية للمحطات الكهرومائيةA,B,C

التاريخ →		(15-31) أيار	(1-15) حزيران	(16-30) تموز	آب	أيلول	تشرين (1)
التدفق Q(m^3/s)	A	6	6	7	7	7	6.5
	B	2.75	2.75	3.5	3.5	3.5	3.75
	C	2.75	2.75	3.5	3.5	3.5	3.75
المستوى العلوي	A	240	238	236	230	224	214
	B	280	278	276	270	264	254
	C	280	278	276	270	264	254
المستوى السفلي	A	170	170	170	170	170	170
	B	240	238	236	230	224	214
	C	240	238	236	230	224	214
الضاغط الستاتيكي H(m)	A	70	68	66	60	54	44
	B	40	40	40	40	40	40
	C	40	40	40	40	40	40
الاستطاعة N(kW)	A	3570	3468	3927	3570	3213	2431
	B	935	935	1190	1190	1190	1275
	C	935	935	1190	1190	1190	1275





الشكل (4) – القدرة الكهربائية الممكن توليدها من المحطات B،A وC

3. معدات المحطة الكهرومائية:

معدات الطاقة المائية(العنفة والمولدة): يجب أن تتوافر خصائص عامة في مكنات المحطات الصغيرة أهمها: أن تكون فعالة، واقتصادية، وقابلة للأتمتة، ومصنوعة بتقنيات عالية ومن مواد عالية الجودة، وبسيطة، وأمينة، هذه المواصفات تزيد من مدة ديمومتها ومن ثَم تقلل من كلفتها. في البداية يخْتَار نوع العنفة اعتماداً على الضاغط المائي الأعظمي كما هو الحال في المحطات الكبيرة، للضواغط المائية المتوافرة في مشروعنا (40م للمحطات C،B ومن 44 وحتى 75م للمحطة A) يفضل استخدام عنفات قطرية محورية (عنفة فرنسيس). وقد طور المختصون في مجال المحطات الكهرومائية الصغيرة هذا النوع من العنفات، لتمتلك مواصفات فنية تمكنها من تأمين قدرة عالية، مخصصة للاستخدام في مجالات واسعة من الضواغط والتدفقات. هي ذاتية ومستقلة، بيئياً نظيفة، وسريعة الإمداد بالطاقة الكهربائية، تستخدم لإمداد القرى والمزارع والعزب الريفية والمجمعات السكنية للشركات والمصانع القريبة منها. لها أهمية خاصة فهي تستخدم في المناطق النائية التي يصعب وصلها مع الشبكة الكهربائية العامة أو وصلها مع الشبكة العامة يتطلب كلفة اقتصادية كبيرة لا تتناسب مع الجدوى المرجوة لمثل هذه المناطق. بالنسبة إلى مجمع سدود أفاميا وانطلاقاً من الحسابات الكهرومائية تعتمد الوحدة الميكانيكية /GA-2/ العناصر والأبعاد الرئيسة لهذه العنفات مبينة في الجدول (2).

بالنسبة إلى المحطة A تُستَخْدم 4 عنفات استطاعة كل منها (950 kW) ومن ثَم تكون الاستطاعة الكلية للمحطة A (3800 kW)، وبالنسبة إلى المحطة B تستخدم عنفتا استطاعة كل منها (450 kW)، ومن ثَم تكون الاستطاعة الكلية إلى المحطة B (900 kW).

بالنسبة إلى المحطة C تستخدم عنفتا استطاعة كل منها (450 kW)، ومن ثَم تكون الاستطاعة الكلية للمحطة C (900 kW).

4. هيكل مبنى المحطات الكهرومائية الصغيرة A, B,C:

يجب أن يتصف بناء المحطات الصغيرة بالبساطة لتقل كلفته وضياعات الطاقة فيه، لهذا الهدف يفضل أن يكون توضع العنفة فوق سطح الماء لتقل أعمال الأجزاء المغمورة والمكلفة. تتوضع مباني المحطات الكهرومائية الصغيرة المقترحة خلف جسم السد عند المفرغ السفلي تماماً. المبنى مصمم بحيث يتوزع فيه المأخذ والموزع والبناء ذاته بشكل ملائم ومتناسب مع اتجاهات المفرغات ومن ثَم مع وصل أنابيب التوربينات المعدنية مع الأجزاء البيتونية من المبنى (الجدران، والأرضية، والسقوف، والأعمدة) بشكل محكم وفني. يتألف مبنى المحطة من جزأين مختلفين جزء هوائي وجزء مائي. الجزء المائي يتشكل من هياكل بيتونية مسلحة كما هو موضح في

الشكل(5)[2] ارتفاعه 4m سماكة الجـدران 500 mm.
الجزء الهوائي بارتفاع 5m مصمم من تفصيلات بيتونية مسلحة: الجدران – إكساء بيتوني مدعم بأعمدة، تغطـى هذه الجدران ب 10 ألواح مضلعة أبعادهـا m (3x5).
تدخل المياه المبنى ثم التوربينات بواسطة أنابيب بأقطار 1100 mm.
عرض مبنى المحطات B,C اختير بناء على منحنى ـات وعلاقات واردة في المرجع[3] إذْ:

$$B = 2xBa+4$$
$$=2x4D1+4=2x4x0.65+4$$
$$=5.2+4=9.2m$$

عرض مبنى المحطة A:

$$B =4xBa+4$$
$$=4x3.6D1+4=4x3.5x0.65+4$$
$$=9.1+4\approx13.1m$$

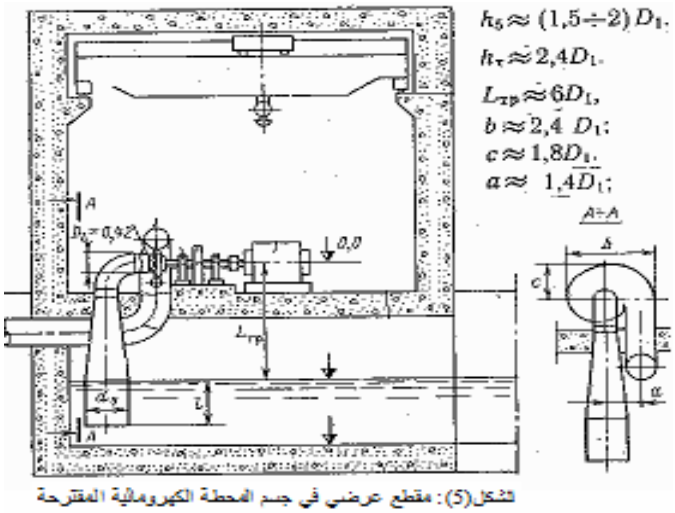
يتألف الجزء العلوي داخل مبنى المحطـة مـن صـالة التشغيل والصيانة.

الجدول(2) مواصفات العنفة /GA-2/

المواصفة	القطر D= 650 mm عدد الدورات n= 1000 دورة / دقيقة				
الضاغط H (م)	40	50	55	60	65
التدفق Q (ل/ثا)	1200	1300	1500	1800	2000
القدرة N (كيلو واط)	450	500	600	800	950

الجدول (3) حسابات الطاقة المائية للمحطات الكهرومائية A,B,C

التاريخ		15-30 أيار	1-15 حزيران	16-30 تموز	آب	أيلول	تشرين 1
Ti الزمن بالساعات		384	360	360	744	720	744
الاستطاعة Ni (kW)	A	3570	3468	3927	3570	3213	2431
	B	935	935	1190	1190	1190	1275
	C	935	935	1190	1190	1190	1275
الطاقة E $x10^6$(kW.h)	A	1.37	1.25	1.41	2.66	2.31	1.81
	B	0.36	0.34	0.43	0.89	0.86	0.95
	C	0.36	0.34	0.43	0.89	0.86	0.95
المجموع X 10^6(kW.h)		2.09	1.93	2.27	4.44	4.03	3.71
المجموع الكلي							$18.47x10^6$



الشكل(5): مقطع عرضي في جسم المحطة الكهرومائية المقترحة
H=40m, D1=60cm, N=450kW

5. المأخذ المائي للمحطة الكهرومائية الصغيرة:

يعمل المأخذ المائي مباشرة على تلقف الماء من بحيرات السدود، ويجب أن يؤمن الدخول الضروري من التدفقات المائية إلى المجاري المائية فضلاً عن إيقاف التدفقات في أوقات المعاينة والصيانة، وفي أثناء الحوادث حماية المحطات من تشكل مواد الطمي والرواسب ومن الأوساخ.

يكون المأخذ المائي للمحطة الكهرومائية الصغيرة عبارة عن برج مستقل مزود بفتحات لدخول الماء متوضعة في جبهة الضاغط المائي. يوضع البرج أمام جسم السد. يعد العامل المرجح في استخدام الأبراج المزودة بفتحات هو الدخول عدم ارتباط اتجاهات محاور المجاري المائية المضغوطة مع توضع فتحات المأخذ المائي وإمكانية إنشاء مجموعة من فتحات دخول الماء على شكل أشرعة بارتفاعات مختلفة. هذه الحالة تمتلك أهمية خاصة عند إنشاء المآخذ المائية على المجاري المائية التي تحوي كمية كبيرة من مواد الطمي والأوساخ وأيضاً في الحجوم الكبيرة نسبيا المخزنة في بحيرات السدود.

تُعد المآخذ المائية البرجية في مجمع سدود أفاميا مستطيلة الشكل بأبعاد m (7.65x2.6) وارتفاع 47m.

تتوضع فتحات الدخول أخفض من مستوى التشغيل في البحيرات ب 0.5m لمنع حصول الدوامات الهوائية.

6. أنابيب العنفات:

توضع الأنابيب مباشرة في الردميات. سطوحها الخارجية ذات أغلفة معدنية وتغطى هذه الأنابيب بمواد عازلة. يؤخذ أنبوب واحد بقطر 1100 mm إلى المحطة B يتفرع عند المحطة إلى أنبوبين بقطر600mm يغذي كل فرع عنفة واحدة، وكذلك الأمر بالنسبة إلى المحطة C ويعتمد أنبوبان للمحطة A بقطر 1100 mm لكل منهما، ويتفرع عند المحطة إلى أنبوبين بقطر600mm.

7. منشأة خروج المياه في المستوى السفلي:

وهي عبارة عن قناة تعمل على إخراج المياه من المحطة وتصب هذه القناة في قناة الري الرئيسة.

وهي قناة بمقطع مستطيل من البيتون المسلح، عرض القناة 9m عمقها 3m.

8. المنشآت المساعدة، الهيدروميكانيكية ومنشآت الرفع:

في مبنى المحطة الكهرومائية الصغيرة من أجل تجفيف أجزاء وحجرات العنفات وحجرات العجلات الدوارة يجب أن يجهز المبنى بمصارف موصولة مع بئر تجميعي واحدة في منظومة واحدة. لإخراج المياه تستخدم

مضختان نموذج KM باستطاعة 25ℓ/sec وضاغط مائي 20m. المنظومة السابقة تزود بصمامات بوابية مع آلية إدارة يدوية، تَتَحقَّقُ التغذية الكهربائية للمضخات من المنظومة الذاتية للمحطة عند الضرورة. لا تحتاج هذه المحطات الصغيرة إلى منظومات تزييت وتشحيم بل تستخدم المعدات اليدوية في ذلك.

9. المعدات الكهربائية:

يؤْخَذُ الجهد المطبق في العنفات الهيدروليكية عادة 6.3 كيلو فولط. يمكن التزويد بالكهرباء تحت هذا الجهد على مسافة 5-10 km لأجل التزويد بالكهرباء على مسافات أبعد أو لوصل المحطة الكهرومائية الصغيرة بالشبكة العامة الجهد العام يجب أن يرفع حتى 35 كيلو فولط بمساعدة منشآت الرفع والمحولات. يطابق عدد هذه المحولات عدد العنفات، وتطابق استطاعة كل محول أيضاً استطاعة العنفة المقابلة. توضع المحولات خارج المحطات الكهرومائية الصغيرة.

10. معدات الرفع:

يفضل أن تستخدم الروافع في مبنى المحطات الكهرومائية وفق الخيارات الأسهل لتركيب العنفات وأعمال الصيانة، يمكن أن تستخدم رافعات جسرية كما هو موضح في الشكل(5).

11. دراسة الجدوى الاقتصادية للمشروع:

لكل مسألة تقنية حلول هندسية متعددة، اختيار الأمثل بينها يتم بحساب الجدوى الاقتصادية للحلول المقترحة ومقارنتها، تسمى هذه العملية بالحسابات الاقتصادية والطاقية. لحسابات الجدوى الاقتصادية مؤشرات تقيم الكفاءة الاقتصادية للنماذج المطروحة وتدقق مجموعة الأبعاد الهندسية والطاقية (كالاستطاعة المقررة والضاغط التصميمي وأبعاد المنشآت وغيره...).

تعد طريقة مقارنة الفعالية الاقتصادية الأساس في حسابات الاقتصاد الطاقي، ويعد معامل الفعالية الاقتصادية (ε) المؤشر أو الدليل المعياري لهذه الطريقة. لاعتماد المحطات الكهرومائية (HES) لا بد من مقارنتها بالبديل، الذي قد يكون محطة حرارية أو غازية (GES)أو بخارية التي يكون لها فاعلية المحطات الكهرومائية ذاتها من حيث إنتاجية الطاقة، مع زيادة استطاعة المحطات الحرارية (بهدف المقارنة) بنسبة 10-15% على استطاعة المحطات الكهرومائية[3]، وهذا لأسباب تتعلق بضرورة رفع مستوى الأمان واستهلاك الماء للتبريد ولأغراض أخرى في المحطات الحرارية. تحسب بعدها كلفة الرأسمال والنفقات السنوية للمحطة الكهرومائية وللبديل.

فإذا كانت:

$$K_{HES} < K_{GES}$$

$$S_{HES} < S_{GES}$$

يعد حل إنشاء المحطة الكهرومائية هو المفضل.

أما إذا كانت: $K_{HES} > K_{GES}$ فتحسب الزيادة في الكلفة ($K_{HES} - K_{GES}$) والفرق في النفقات السنوية ($S_{GES} - S_{HES}$) وتحسب المدة الزمنية اللازمة لشراء (تعويض) هذا الفارق في الكلفة باستخدام العلاقة:

$$T = \frac{K_{HES} - K_{GES}}{S_{GES} - S_{HES}}$$

إذْ:

T- زمن شراء (تعويض) الرأسمال الاستثماري [year].

أو يحسب معامل الفعالية الاقتصادية (ε) إذْ:

$$\varepsilon = \frac{1}{T} = \frac{S_{GES} - S_{HES}}{K_{HES} - K_{GES}}$$

تقبل المحطة الكهرومائية إذا تحققت الشروط:

$$T \le T_n$$

$$\varepsilon \ge \varepsilon_n$$

إذْ:

T_n- المدة الزمنية المعيارية وتقدر قيمتها للمحطات الكهرومائية (8.34 year) [3].

ε_n - معامل الفاعلية المعياري وتقدر قيمته للمحطات الكهرومائية (0.12).

في الظروف الطبيعية والاستثمارية الصعبة وبحسب مستوى التطور التقني للبلاد (كما هو الحال في بلادنا) يمكن السماح بزيادة القيم المعيارية السابقة حتى $(T_n = 12 ، \varepsilon_n = 0.08)$[3].

الكلفة الكلية للمنشآت K، تحدد في كشوف تقديرية تتضمن نفقات البناء الأساسي والأبنية التابعة له كلّها ويمكن تقدير الكلفة بالاستعانة بكشوف تقديرية لمشاريع أخرى مشابهة أو باستخدام مفهوم الرأسمال الاستثماري النوعي (كلفة الكيلواط الواحد) ويعبر عنه بـ K_N إذْ:

$$K_N = K/N_{est}$$

أما النفقات السنوية لمحطات الطاقة الكهربائية S، فتقسم إلى نفقات دائمة S_{con} التي بدورها تقسم إلى نفقات استثمارية S_e ونفقات الاهتراء والهوالك S_a، ونفقات الوقود S_f التي تتعلق بكمية الطاقة المنتجة فعلياً.

$$S = S_{con} + S_f = S_e + S_a + S_f$$

إذْ:

S_e- نفقات الاستثمار وتتضمن النفقات الإدارية والصيانة الدائمة، وتقدر بحسب عدد المستخدمين في المحطة، وتحسب بالعلاقة: $S_e = s_e \cdot N$

s_e - نفقات الاستثمار النوعية [\$/kW] وتقدر بحسب البلد.

S_a- تقتطع المؤسسات سنوياً نسبة من الرأسمال التنفيذي نتيجة لاهتراء الآليات والمعدات التابعة لهذه المؤسسة والمستخدمة في التنفيذ، ويمكن تقديرها باستخدام العلاقة:

$$S_a = \frac{P}{100} \cdot K$$

P- معيار الهوالك السنوي، بالنسبة إلى المحطات الكهرومائية تؤخذ قيمته (1.6%) [3].

S_f- ثمن الوقود المصروف في المحطة الكهرومائية؛ هذه النفقات شبه معدومة، أما في المحطات الحرارية (GES) فتُعد أساس النفقات السنوية وتقدر باستخدام العلاقة:

$$S_f = b \cdot c \cdot E$$

b- الاستهلاك النوعي للوقود [kg/kW.h].

c- ثمن الوقود المستهلك في توليد الطاقة، وتتعلق قيمته بحسب نوع الوقود وبحسب البلد [\$/kg].

E- الطاقة المنتجة سنوياً [kW.h].

قدرت الكلفة التأسيسية النوعية للمحطات الكهرومائية بناء على دراسة شملت مشاريع مماثلةً منفذةً في سورية[7]، وبعد تقسيم الكلفة الكلية على الاستطاعة حصلنا على القيمة الوسطية 2234 \$/kW، وبناء على دراسات مرجعية للكلف الجزئية لمكونات المحطة نشرت في المقالة [2] قدرت هذه الكلف ب 1818، أما بحسب الدراسة اليونانية [1] فقدرت ب 2210 لذلك سنعتمد قيمة وسطية وهي 2100 \$/kW، أما قيمة s_e للمحطات الكهرومائية فنظراً إلى غياب المعطيات عنها في مشاريعنا فقد قدرت بناء على إحصاءات هيئة الطاقة الأمريكية وتحليلها في تقريرها [2] بما يتناسب مع مواصفات مشروعنا ب 14.13 \$/kW.

قُدرت الكلفة التأسيسية النوعية للمحطة البديلة بناء على تقرير هيئة الطاقة الأمريكية [2] بحدود 420 \$/kW، أما الكلف الاستثمارية السنوية فقد قدرت بناء على دراسة كلف المشاريع المنفذة في سورية [7] منها محطات حلب، وجندر، والناصرية، والزارة، وزيزون لعام 2010 ب 5.27SYP/kW.h أي ما يعادل 0.105\$/kW.h وتتضمن: 0.0084\$/kW.h كلف صيانة دورية سنوية S_{con}، و0.097\$/kW.h كلفة الوقود S_f.

اعتمدت قيمة الدولار كعملة في الحسابات السابقة لسببين رئيسين، وهما أن معظم المراجع والدراسات العالمية تعتمد قيمة الدولار في حساباتها، كما تعد قيمة الدولار نسبياً ثابتة مع الزمن.

وفق القيم المختارة سابقاً يمكن إنجاز الحسابات اللازمة والنتائج مدرجة في الجدول (4) أدناه.

النتائج المستخلصة من التحليل الاقتصادي: بناء على نتائج

الجدول(4) إذْ:

$$T < T_n = 8.34 years$$
$$\varepsilon > \varepsilon_n = 0.12$$

نستنتج أن زمن استرداد رأس المال للمشروع أقـل مـن الحدود المتعارف عليها، والقيمة الصافية للفعالية الاقتصادية تجاوزت المعايير الدنيا المعتمدة؛ وبذلك يمكن أن نعـد أن اعتماد المحطات الكهرومائية في مشروعنا مبرر اقتصادياً.

الجدول(4) الجدوى الاقتصادية لمحطات أفاميا الكهرومائية

المحطة← / البيانات ↓		HES الكهرومائية	GES البديلة (غازية)
الاستطاعة N (kW)		5600	6160
الطاقة E (kW.h)		$18.47x10^6$	$19.39x10^6$
الكلفة التأسيسية النوعية KN ($/kW)		2100	420
الكلفة التأسيسية الكلية K ($)		$11.76x10^6$	$2.59x10^6$
النفقات الاستثمارية النوعية السنوية	Se ($/kW)	14.13	0.0084
	Sa ($/kW)	0.016	----
	S_f($/kW.h)	----	0.097
النفقات الاستثمارية السنوية S ($)		$0.267x10^6$	$2.044x10^6$
زمن استرجاع رأس المال T (year)		5.16	
معامل الفعالية الاقتصادية ε		0.19	

12. نتائج وتوصيات

تُسلطُ إن نتائج الدراسة الأولية السابقة الضوء على أهمية الموضوع، فالاستطاعة المنتجة من مشروع أفاميا علـى حجمه المتواضع بالنسبة إلى مشاريع كثيرة مشابهة فـي القطر، لا يستهان بها أبداً، فالتوفير في ثمن الوقود فقـط اللازم لإنتاج الطاقة من جراء إنشاء محطات أفاميا يبلغ بحدود 1.88 مليون دولار سنوياً، كمـا أن الاسـتطاعة السابقة تمثل مجتمعة مع ما يمكن توليده من الطاقة مـن المشاريع الأخرى قدراً ذا أهمية كبيرة في سد استطاعات الحمل اليومي في ساعات الذروة العظمى، التي يتطلـب إنتاجها باستخدام محطات الطاقة غير المتجددة كلفاً عالية جداً، وبناء عليه يمكن إيجاز بعض التوصـيات المهمـة الآتية:

- ضرورة إعادة تقييم الطاقات المائية المتـوافرة فـي البلاد التي يمكن الاستفادة منها فـي توليـد الطاقـة الكهربائية.
- الاستفادة من الطاقات المتجددة كلّها المتـوافرة فـي البلاد لسد حمولات الذروة في مخطط الحمل اليومي، وذلك لتوفير كلف إنتاج الكهرباء في ساعات الـذروة العظمى.
- تعميق المعرفـة فـي مجـال تـصميم المحطـات الكهرومائية واستغلال الطاقة المائية.
- الاستفادة -ما أمكن- من الخبرات الوطنية المتـوافرة في هذا المجال.

13. المراجع*

[1] J.K. Kaldellis, D.S .Vlachou, G.K orbakis, Techno economic Evaluation of Small Hydro Power Plants in Greece; Energy Policy, Vol.33, Iss15, October 2005.

[2] U.S.Energy Information Administration (eia), Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants, April 2013.

[3] И.И.Ильиных, Гидроэлектростанции, Москва, Энергоатомиздат, 1988.

[4] В. И. Обрезкова, Гидроэнергетика : учебник для студентов вузов, Москва: Энергоатомиздат, 1981.

[5] Г.И.К ривченко, В.Я.Карелина Гид роэлект рические станции, Москва : Энергоатомиздат, 1987.

[6] معطيات سدود أفاميا وزارة الـري-الهيئـة العامـة للموارد المائية.

[7] معطيات وزارة الكهرباء في سورية، المؤسسة العامة لتوليد الكهرباء والنقل، مركز بحوث الطاقة، مديرية التخطيط

* تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2015/1/29