ICCPGE-2016, 1, 805-812

دراسة إمكانية استغلال الطاقة المتاحة بمحطة تحلية زوارة لإنتاج الطاقة الكهربائية

علي خليفة مفتاح

قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة، جامعة صبراتة، صبراتة، ليبيا

البريد الإلكتروني: ali.alkhtabe@yahoo.com

ملخص البحث

تعتبر الطاقة والمياه من أهم ضروريات الحياة البشرية وأساس التطور العمراني والتنمية الزراعية والتقدم الصناعي في جميع المجتمعات ونظراً لنضوب مصادر الطاقة والمياه التقليدية بدأ التفكير في إستغلال مصادر الطاقة البديلة وتحلية مياه البحر لتعويض النقص الحاد والطلب المتزايد على الطاقة والمياه. تحتوي محطة تحلية مياه زوارة والتابعة للشركة العامة لتحلية المياه في مرحلتها الاولى على عدد ثلاث غلايات لإنتاج البخار المحمص بمعدل 80t/h لكل غلاية عند درجة حرارة $220^{o}C$ وضغط 15bar والذي يتم إعادة تلطيفه عبر منظومة تلطيف البخار إلى درجة حرارة $80^{o}C$ وضغط التشبع ليتم استهلاكه أخيراً بالمبخرات لإنتاج المياه المحلاة بسعة إنتاجية تصل إلى $40000m^{3}/day$.

في هذه الورقة تم دراسة إمكانية استبدال منظومة تلطيف البخار بتربين بخاري وذلك لاستغلال الطاقة المتاحة بالمنظومة لإنتاج القدرة الكهربائية وبحيث يكون البخار الناتج من التربين له نفس الظروف المطلوبة عند دخوله المبخر وبما لا يؤثر على إنتاجية المحطة من المياه وذلك لتوفير مصدر كهرباء مستقر للمحطة لتفادي كثرة انقطاع التيار الكهربائي على المحطة وتخفيض تكلفة المتر مكعب من المياه المنتجة. تم استخدام البيانات التصميمية والقيم التشغيلية الفعلية للمحطة لحساب القدرة الكهربائية الممكن إنتاجها أثناء التحوير وكذلك لحساب تكلفة المتر مكعب من المياه قبل وبعد التحوير.حيث بينت الدراسة بأنه يمكن إنتاج نحو 11.9MW من الكهرباء بالمحطة والتي تكفي استهلاك المحطة من الكهرباء بنسبة 300% والتي سوف تساهم في تخفيض تكلفة المتر مكعب من المياه المنتجة بنسبة 12 % من تكلفته الحالية والتي تبلغ 0.973L.D .

كما بينت الد راسة بأنه لن يكون هناك فرق كبير في تكلفة المتر مكعب من المياه في حال تركيب تربين بخاري واحد أو استخدام تربنين بالمحطة حيث ينصح باستخدام تربنين لتفادي فقدان مصدر الكهرباء إثناء أعمال الكشف والصيانة.

الكلمات المفتاحية: الطاقة، تحلية المياه، التربين البخاري، الكهرباء

مقدمـــة

حاول الإنسان منذ القدم أن يستفيد من الموارد الطبيعية من حوله لتوفير احتياجاته من الطاقة والماء، فاختلفت مصادر الطاقة المستخدمة من مكان إلى آخر باختلاف الطاقات الطبيعية المتوفرة والإمكانيات التقنية المتاحة حيث كان أبرز وأول هذه المصادر الماء وظهرت بعدها المحروقات بأنواعها من فحم حجري ونفط وغاز، لكن افتقار بعض المجتمعات لهذه الموارد وتطور التكنولوجيا جعلها تبحث عن مصادر جديدة، وكانت النتيجة انتشار محطات الطاقة النووية، وبعد إدراك الإنسان لمدى خطورة هذه المصادر الجديدة وما تحدثه من تلوث وكوارث بحث عن البديل في الطاقات المتجددة وسميت بالطاقات البديلة، ومن أهم هذه الطاقات طاقة الرياح والطاقة الشمسية وطاقة المد والجزر والطاقة الجوفية.

كذلك الحال بالنسبة للمياه حيث قامت جميع الحضارات والمدن القديمة على مصادر المياه العذبة حول الأنهار والبحيرات والوديان وعند جفاف ونقص المياه تهاجر المجتمعات السكانية للبحث عن مصادر جديدة للمياه كما أقيمت السدود لجمع المياه والاستفادة منها في أوقات أخرى أيضاً تم حفر الآبار في بعض المناطق كحل لتوفير المياه العذبة، ثم ظهرت مؤخراً التحلية كحل بديل وجدير بالاهتمام لتوفير المياه الصالحة للشرب بالمناطق التي تفتقر لمصادر طبيعية للمياه.

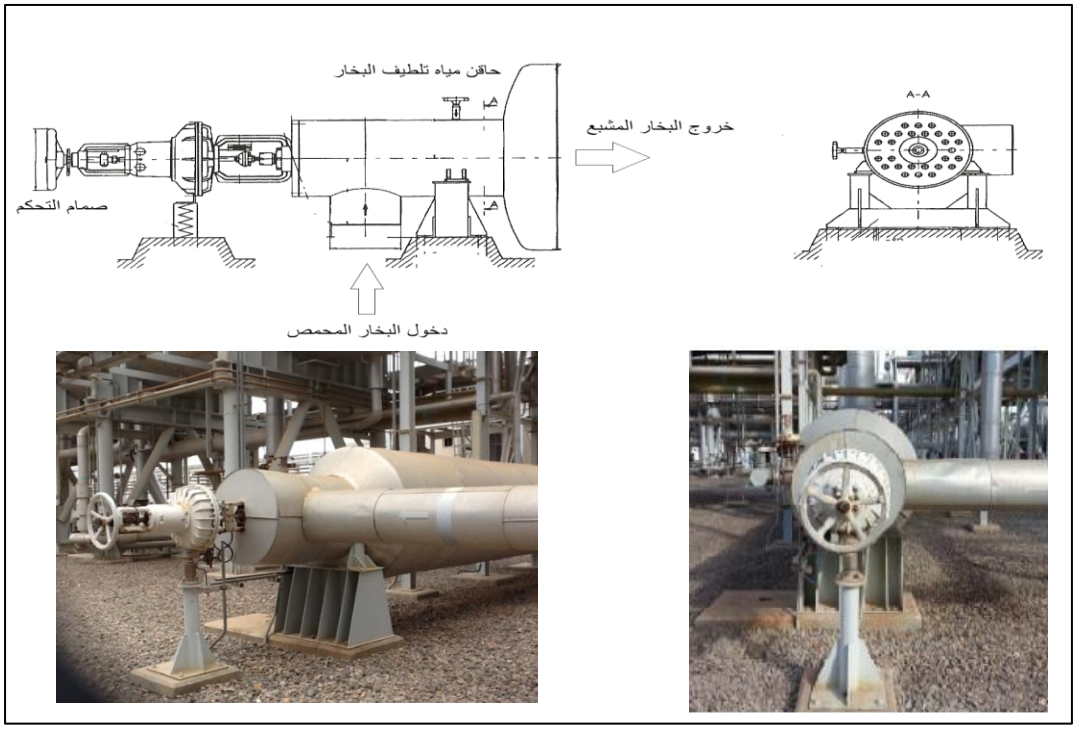
وقد ارتبط توليد الكهرباء بالمياه منذ أول اكتشاف للكهرباء حيث تم توليد الكهرباء من مساقط المياه بالأنهار وذلك بتركيب تربينات مائية تعمل بقوة دفع المياه المتساقطة عليها ثم ظهرت التربينات البخارية والتي تشكل في وقتنا الحالي معظم إنتاج العالم للكهرباء، كذلك ارتبطت تحلية المياه بمحطات القدرة البخارية نظراً لحاجة هذه المحطات للمياه النقية الخالية من الأملاح لتعويض كميات البخار المفقودة بالغلايات من ناحية وحاجة محطات التحلية للطاقة الكهربائية من ناحية أخرى، وكذلك لإمكانية استغلال البخار المستنزف بعد تمدده بالتربينات في عمليات التحلية نظراً لعدم الحاجة لضغوط ودرجات حرارة عالية في عمليات تحلية مياه البحر.

أولت الشركة العامة لتحلية المياه في ليبيا منذ نشأتها الأهتمام بتوريد وتركيب العديد من محطات التحلية بمناطق ومدن مختلفة على طول الشريط الساحلي وقد أختلفت هذه المحطات وتباينت من حيث النوع والسعة الإنتاجية وتعتبر محطة تحلية زوارة أحد هذه المحطات والتي من النوع متعدد المراحل والتأثير MED حيث تقع بمنطقة المنقوب، 9 كيلومتر شرق مدينة زوارة إذ تبعد مسافة 95كيلومتر غرب العاصمة طرابلس، وقد أقيم هذا المشروع على مساحة من الأرض تبلغ 30 هكتار. حيث بدأ العمل رسمياً في تنفيذ المشروع مع بداية العام 2004م ومع بداية شهر مارس2006 م بدأت تجارب تشغيل المحطة الإنتاج المياه [1].

تحتوي المحطة في مرحلتها الأولى على ثلاث وحدات بسعة إجمالية بلغت 40,000م^3/اليوم من المياه المحلاة.

دراسة تحوير محطة تحلية زوارة لإنتاج القدرة الكهربائية

تعمل منظومة تلطيف البخار(De-superheating system) في محطة تحلية المياه بزوارة على تحويل البخار المحمص الخارج من الغلاية عند درجة 220°C وضغط 15bar وتحويله إلى بخار مشبع عند درجة 80°C وضغط 0.46bar وذلك لتناسب ظروف عمل المبخر الذي سوف يستقبل البخار القادم من صمام تلطيف البخار بالمنظومة لإتمام عملية تحلية مياه البحر المالحة، وفي بعض محطات التحلية في معظم دول العالم يتم استعمال البخار المنتج بالغلاية في إنتاج القدرة الكهربائية وذلك عبر تمدده بالتربين البخاري لسد احتياجات المحطة من الكهرباء في تشغيل المضخات والأجهزة والإنارة داخل مرافق المحطة ومن ثم يتم استعمال البخار الخارج من التربين في وحدات التحلية لإنتاج المياه حيث يشترط في أن يكون البخار الخارج من التربين البخاري بنفس الظروف المطلوبة لدخوله إلى المبخر أو يتم استخدام مبادلات حرارية لهذا الغرض، وعند محطات تحلية المياه ذات السعات الإنتاجية العالية يتم تصدير الفائض من الطاقة الكهربائية التي يتم إنتاجها بالمحطة إلى شبكة الكهرباء العامة [1].



الشكل (1): صورة ورسم تخطيطي لمنظومة تلطيف البخار بالمحطة

والمنظومة كما هو موضح بالشكل (1) عبارة عن صمام تحكم ميكانيكي خاص مصمم ليقوم بعملية استقبال البخار المحمص القادم من الغلاية بمعدل 64t/h عند الحمولة القصوى للوحدة وعند دخول البخار إلى صمام التلطيف يتم تكسيره بواسطة حقن رذاذ من الماء داخل الصمام ويسمح له بالتمدد إلى أن تصبح درجة حرارته 80°C وعند خروج البخار من منظومة التلطيف يكون مشبعاً وذلك لتناسب ظروف عمل المبخر[1].

حساب اللاانعكاسية بمنظومة تلطيف البخار

تعرف اللاانعكاسية (Irreversibility) بأنها أي اختلاف بين الشغل الانعكاسي و الشغل الفعلي الذي يستفاد منه وذلك نتيجة للانعكاس خلال الإجراء حيث يمكن ملاحظتها على إنها الشغل الضائع أو الفرصة المفقودة لعمل شغل كما يمكن حسابها من المعادلة التالية [2]:

$$I = T_0\left(\sum \dot{m}_e s_e - \sum \dot{m}_i s_i\right) - Q_{c.v}$$

وبتطبيق المعادلة السابقة على منظومة تلطيف البخار يمكن إيجاد مقادر اللاانعكاسية حسب المعادلة التالية:

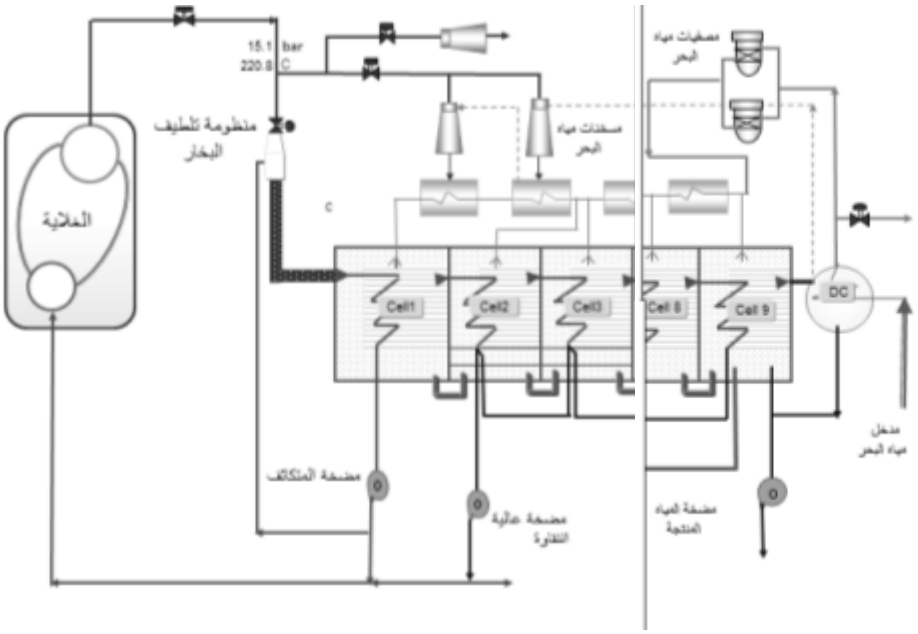
$$I = T_0\left[\dot{m}_{st} s_{st} - \left(\dot{m}_s . s_s + \dot{m}_w . s_w\right)\right] - Q_{c.v}$$

حيث أن :

I : اللاإنعكاسية بالمنظومة (kW)، T_o: درجة حرارة المحيط (°C)، $\dot{m}_e$: كمية البخار المحمص الداخلة للمنظومة (kg/s)، S_s: إنتروبي البخار المحمص (kJ/kg.K)، $\dot{m}_w$: كمية المياه الداخلة للمنظومة (kg/s)، S_w: إنتروبي المياه الداخلة (kJ/kg.K)، $\dot{m}_{st}$: كمية البخار المشبع الخارجة من المنظومة (kg/s)، S_{st} : إنتروبي البخار المشبع الخارج (kJ/kg.K)، $Q_{c.v}$: كمية الحرارة المفقودة من المنظومة (kW).

حساب القدرة الممكن إنتاجها بعد عملية التحوير

يمكن استغلال الطاقة الضائعة عند مرور البخار من خلال صمام تلطيف البخار كما هو موضح بالشكل (2) وذلك عن طريق استبدال صمام تلطيف البخار بتوربين بخاري يعمل عند نفس ظروف تشغيل صمام التلطيف.



الشكل (2): رسم تخطيطي للوحدة الإنتاجية بمحطة تحلية زوارة

وقبل اجراء عملية الاستبدال يستلزم دراسة القدرة الممكن انتاجها من طاقة البخار وذلك عن طريق تطبيق قيم الضغط ودرجة حرارة البخار عند مدخل ومخرج صمام تلطيف البخار ومعدل البخار الداخل إلي صمام تلطيف البخار من خلال معادلة الطاقة التي يمكن من خلالها حساب القدرة الممكن انتاجها اذا تمت عملية الاستبدال.

ومن خلال تطبيق القانون الأول للديناميكا الحرارية على المنظومة يتم حساب القدرة الممكن إنتاجها باستبدال الصمام بتربين بخاري كما هو موضح بالشكل (3) وذلك على النحو التالي [2]:

$$\dot{W} = \dot{m}_s\left(h_s + V_i^2/2 + gz_i\right) - \dot{m}_s\left(h_{st} + V_e^2/2 + gz_e\right) + \dot{Q}_{c.v}$$

حيث :

$\dot{m}_s$:كمية البخار المحمص الداخل للنظام (kg/s)، h_s h_{st}: إنثالبي البخار الداخل والخارج (kJ/kg)، V_e V_i: سرعة دخول وخروج البخار (m/s)، Z_i Z_e مستوى إرتفاع المدخل والمخرج للنظام (m)، g عجلة الجاذبية (m/s^2) $Q_{c.v}$: كمية الحرارة المفقودة من المنظومة (KW).

ولحساب كمية البخار المطلوبة بالخلية الاولى بالمبخر يتم إجراء موازنة حرارية وموازنة الكتلة لصمام تلطيف البخار فيتم الحصول على كمية مياه التلطيف اللازمة لتحويل البخار من بخار محمص إلى مشبع وبالظروف المطلوبة:

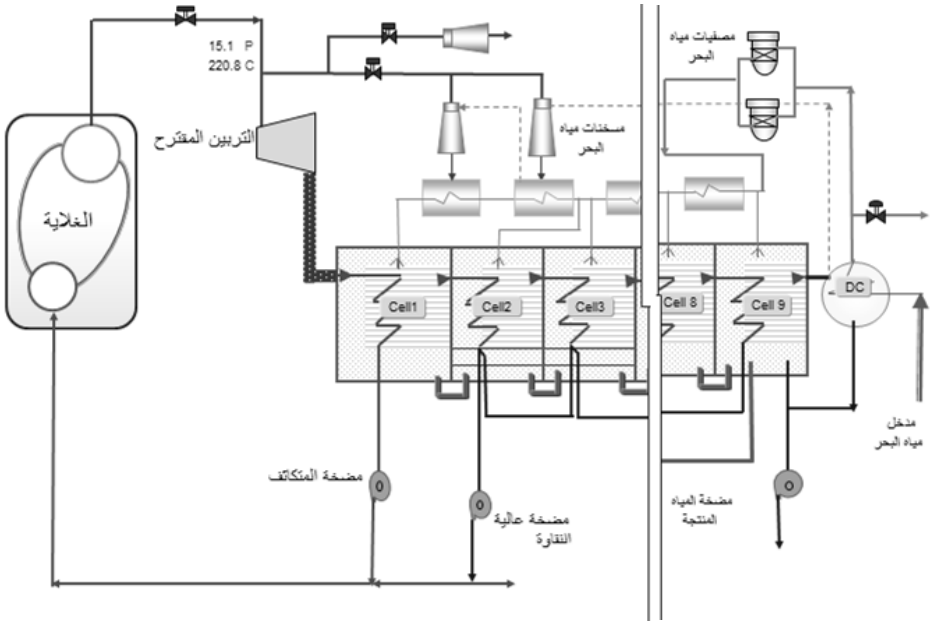
$$\dot{m}_{st} = \dot{m}_s + \dot{m}_w$$

$$\dot{m}_{st}h_{st} = \dot{m}_s h_s + \dot{m}_w h_w + \dot{Q}_{c.v}$$

حساب تكلفة المتر مكعب من الماء المنتج

ولمعرفة الجدوى الإقتصادية من إجراء التحوير بالمحطة يجب دراسة تكلفة وسعر المتر مكعب من المياه بوضعه الحالي أي قبل التحوير ثم حساب سعره بعد إجراء عملية التحوير حيث تشمل تكاليف إنتاج المتر المكعب من المياه على تكاليف ثابتة والتي تتمثل في تكاليف الإنشاء وتكاليف متغيرة والتي تشمل تكاليف الوقود والكهرباء والمواد الكيماوية المستهلكة والمرتبات وتكاليف الصيانة .. إلخ.

أما التكاليف بعد إجراء عملية التحوير فهي نفس التكاليف قبل التحوير مع إضافة تكلفة توريد وتركيب التربين البخاري للتكاليف الثابتة وطرح تكلفة الطاقة الكهربائية المستهلكة من التكاليف المتغيرة.



الشكل (3): رسم تخطيطي لموضع ومكان تركيب التربين البخاري المقترح

ولتسهيل حساب سعر المتر مكعب من المياه المنتجة يتم حساب القسط اليومي من التكاليف الثابتة والمتغيرة ثم بقسمة إجمالي القسط اليومي من التكاليف على كمية المياه المنتجة في اليوم يمكن معرفة سعر المتر مكعب من المياه المنتجة.

الفرضيات :

- كمية الحرارة المنتقلة من النظام $Q_{c.v}$ تساوي صفر حيث أن النظام معزول.
- أهمال تأثير طاقتي الحركة والوضع.
- درجة حرارة المحيط الخارجي $T_0 = 25°C$
- العمر الافتراضي للمحطة 25 سنة.

النتائج والمناقشة :

من خلال العلاقات والمعادلات السابقة وباستخدام القيم التصميمية والفعلية التي تم الحصول عليها من المحطة يمكن حساب مقدار اللاانعكاسية بمنظومة تلطيف البخار والقدرة الممكن إنتاجها عند إجراء عملية التحوير وذلك بإستبدال منظومة التلطيف بتربين بخاري كما هو مبين بالجدول رقم (1).

من خلال الجدول رقم (1) يتبن أنه من الممكن إنتاج 3974.358KW من القدرة إذا ما تم إستبدال منظومة التلطيف بتربين بخاري هذا لوحدة إنتاجية واحدة من الوحدات الثلاثة بالمحطة وبذلك يكون إجمالي القدرة المتوقع إنتاجها 11923.074KW ، وهذا التحوير سوف يوفر مصدراً أمناً ومستقر لمواجهة كثرة وتكرار إنقطاع الكهرباء عن المحطة.

الجدول رقم (1): اللاانعكاسية بصمام منظومة التلطيف والقدرة الممكن إنتاجها بعد التحوير [1-3]

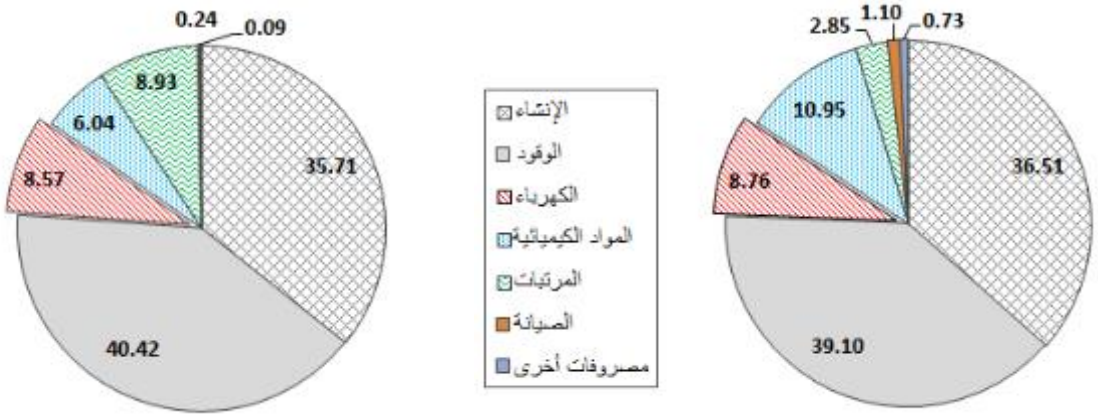
البيان	الضغط	درجة الحرارة	معدل تدفق البخار من الغلاية	معدل تدفق مياه التلطيف	معدل تدفق البخار المشبع	اللاانعكاسية	القدرة الممكن إنتاجها
الرمز	P	T	$\dot{m}_s$	$\dot{m}_w$	$\dot{m}_{st}$	I	$\dot{W}$
الوحدة	bar	C	kg/s	Kg/s	Kg/s	KW	KW
القيم التصميمية	15	220	17.778	1.558	19.340	8642.337	3983.115
القيم الفعلية	15.05	220.15	17.710	1.583	19.293	8671.331	3974.358

الجدول (2): يوضع القسط اليومي من التكاليف الثابتة والمتغيرة بالمحطة [3]

البيان	القسط اليومي L.D/day البيانات التصميمية	القسط اليومي L.D/day البيانات الفعلية
تكلفة الإنشاء	13333	13333
الوقود	14280	15092
الكهرباء	**3200**	**3199**
المواد الكيميائية	4000	2255
المرتبات	1041	3333
الصيانة	400	90
مصروفات أخرى	267	33
الإجمالي	**36521**	**37335**
كمية المياه المنتجة m^3/day	40000	38360

كما أنه يحدث إسترجاع للطاقة أو تخفيض للانعاكسية بمقدار 4696.973KW أي بنسبة 45.8% من إجمالي الطاقة المحطمة بمنظومة تلطيف البخار. وعند حساب تكلفة المتر مكعب من الماء قبل إجراء عملية التحوير فقد تم استخدام القيم التصميمية والبيانات الفعلية المأخوذة ليوم عمل فعلي بالمحطة وذلك للتكاليف الثابتة والمتغيرة وكذلك كمية المياه المنتجة، حيث تم فرض العمر الافتراضي للمحطة 25 سنة وتم حساب القسط اليومي للتكاليف كما هو مبين بالجدول رقم(2).

فتكون تكلفة المتر مكعب من الماء تساوي $0.931L.D/m^3$ عند استخدام القيم التصميمية و$0.973L.D/m^3$ عند استخدام البيانات الفعلية، والشكل(4) يبين النسبة المئوية لما يمثله كل نوع من التكلفة في سعر المتر مكعب من الماء.



(أ) قيم تصميمية (ب) بيانات فعلية

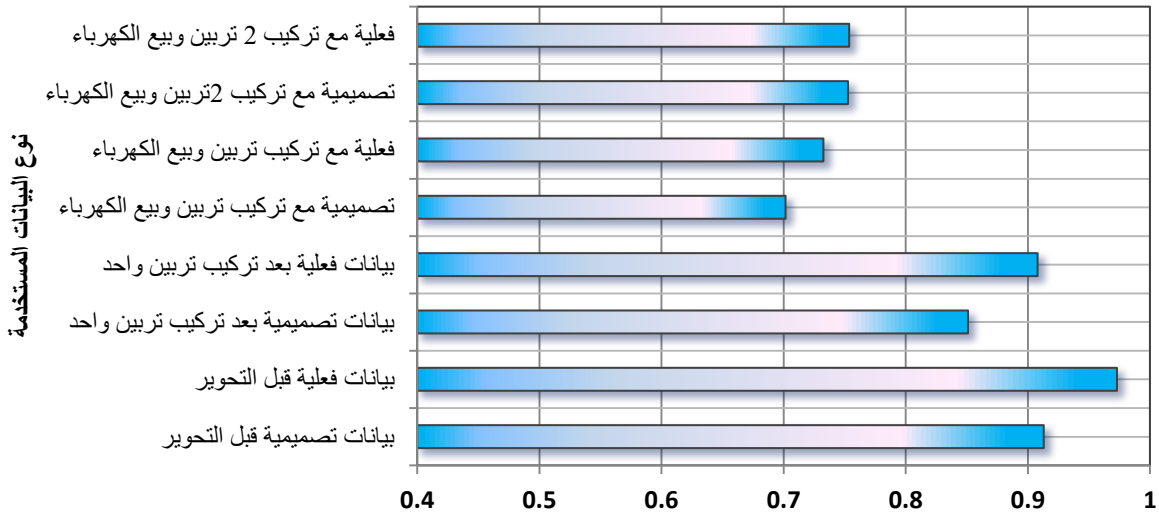
الشكل (4): النسبة المئوية لتكاليف إنتاج المتر مكعب من الماء قبل التحوير

حيث تمثل تكلفة الطاقة الكهربائية المستهلكة $0.08\ L.D/m^3$ أي ما يقارب نحو 8.6% من التكلفة الإجمالية.
وعند حساب تكلفة المتر مكعب من الماء بعد التحوير تم البحث عن سعر توريد وتركيب تربين بخاري وذلك من خلال ما تعرضه الشركات المتخصصة في هذا المجال، حيث يتراوح سعر الكيلوات الواحد ما بين (400–600) د.ل وقد تم إعتماد سعر 543 L.D/KW من شركة (Turbotecnica-Nuovo Pingnone) [4].
إذ من الممكن اختيار تركيب تربين واحد لكامل المحطة بقدرة 12MW أو تركيب عدد 2 تربين قدرة 6MW لكل تربين والجدول (2) يبين الفرق في سعر المتر المكعب للمياه المنتجة بين الاختيارين.

وإذا ما تم مقارنة القدرة الكهربائية الممكن إنتاجها بعملية التحوير والقدرة الكهربائية المستهلكة بالمحطة نلاحظ وجود فائض يقدر بنحو 8MW أي ضعف الطاقة الكهربائية المطلوبة لتشغيل المحطة حيث تحتاج المحطة إلى 4MW من الطاقة الكهربائية ويمكن إنتاج نحو 12MW .
كما أنه إذا ما أمكن بيع الفائض من الطاقة الكهربائية المتوقع إنتاجها إلى المناطق المجاورة أو الشركة العامة للكهرباء فإن ذلك سوف يخفض من سعر المتر مكعب من الماء إلى نحو 12% من سعره الحالي والذي يبلغ $0.973L.D/m^3$

جدول (3): مقارنة بين سعر المتر المكعب للمياه بعد التحوير [3]

البيان	القسط اليومي L.D/day البيانات التصميمية		القسط اليومي L.D/day البيانات الفعلية	
عدد التربينات المقترح	1	2	1	2
سعر توريد وتركيب التربين	725	750	725	750
تكلفة الإنشاء	13333		13333	
تكلفة الوقود	14280		15092	
تكلفة الكهرباء	0		0	
تكلفة المواد الكيميائية	4000		2255	
المرتبات	1041		3333	
تكلفة الصيانة	400		90	
مصروفات أخرى	267		33	
الإجمالي	34046	34071	34861	34886
كمية المياه المنتجة m^3/day	40000		38360	
سعر المتر مكعب من الماء (L.D)	0.851	0.852	0.908	0.909



الشكل (5): سعر المتر مكعب من الماء ($L.D/m^3$)

يلاحظ من خلال الشكل رقم (5) أن أقل سعر يمكن الوصول إليه هو $0.707L.D/m^3$ وذلك عند إستخدام القيم التصميمية في الحسابات مع بيع الفائض من القدرة الكهربائية المنتجة بالمحطة وأنه لا يوجد فرق كبير بين سعر المتر مكعب من الماء عند إختيار تركيب تربين واحد مع إستخدام البيانات الفعلية بالحسابات ($0.732L.D/m^3$) أو اختيار تركيب عدد 2 تربين ($0.753L.D/m^3$) حيث ينصح بتركيب 2 تربين حتى لا يحدث فقد لمصدر الكهرباء أثناء التوقف للصيانة وإجراء العمرات.

الخاتمة والتوصيات:

1. يصل مقدار اللاانعكاسية الحاصلة خلال منظومة تلطيف البخار نحو 8575KW إذ من الممكن إسترجاع 3871KW أي ما نسبته 45.8% من إجمالي الطاقة المحطمة وذلك بإستبدال منظومة التلطيف بتركيب تربين بخاري دون أن يؤثر ذلك على إنتاج وحدة التحلية من المياه.
2. تبلغ كمية الطاقة الكهربائية التي يمكن يتم انتاجها في المحطة بعد اجراء عملية التحوير نحو 11.9KW في الساعة حيث يمكن توفيرها كمصدر مستقر وكافي لتشغيل المحطة والمرافق الخاصة بها بنسبة 300% بعد عملية التحوير.
3. بينت الدراسة بأنه وفي حالة بيع الفائض من الكهرباء يحدث تخفيض لتكلفة المتر مكعب من المياه المنتجة نحو 12% أقل من سعره الحالي والذي يبلغ $0.973L.D/m^3$.
4. لا يوجد فرق كبير بسعر المتر مكعب من المياه المنتجة عند إختيار تركيب تربين وأحد أو عدد 2 تربين حيث ينصح بتركيب 2 تربين حتى لا يحدث ذلك فقد لمصدر الكهرباء أثناء فترة الصيانة.

المراجع :

1. Zuara desalination plant manuals, designed by SIDEM company,2005.
2. Yunus A. Çengel and Michael A. Boles, Thermodynamics An Engineering Approach, 5th edition, New York: *McGraw-Hill*, 2006. Pp 256, 469
1. Operation and maintenance events records data of Zuara desalination plant,2014.
2. http://www.fakieh-rdc.org/search/105.html/*Novamber-2015*