دراسة تكاليف إنتاج المياه في محطات التحلية بالجماهيرية

د. بشير أبو روين*، م. عاصم بالي، م. حسام الدين جلود

1- مقدمـــة

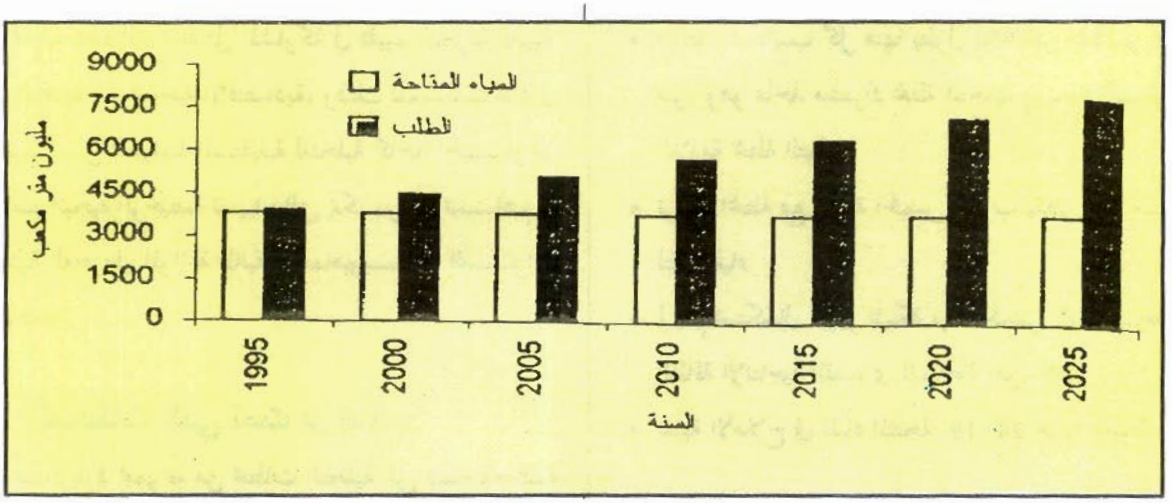
ترتبط الحياة في أي مكان على سطح الكرة الأرضية ارتباطاً وثيقاً بتوفر المياه الصالحة للاستعمال البشري، ومنذ القدم تواجدت التجمعات البشرية في أماكن توفرت فيها المياه من أنهار وعيون وبحيرات. بدأت مشكلة ندرة المياه على المستوى العالمي تأخذ حجماً جدياً في السنوات الأخيرة، ويعود السبب في ذلك إلى محدودية مصادر المياه بالدرجة الأولى، ثم أن عدد سكان العالم قد ازداد من 2.3 مليار نسمة إلى 5.7 مليار نسمة ما بين عام 1940 وعام 1995، وازداد في الوقت نفسه معدل استهلاك المياه للفرد من 400 متر مكعب /سنة إلى 800 متر مكعب /سنة نتيجة للتطور الحضاري الذي شهدته البشرية بشكل عام [1].

في عام 1994 ذكر تقرير لمعهد الموارد العالمية (World Resources Institute) أن تسع دول في العالم تعاني من استهلاك مائي سنوي يتجاوز معدلات التعويض في المصادر المائية المتوفرة لها وكانت الجماهيرية في مقدمة هذه الدول [2].

يوضح الشكل (1) الموازنة المائية في الجماهيرية ما بين عام 1995 وعام 2025، ويظهر من الشكل أن العجز المائي في العام الحالي هو في حدود 670 مليون متر مكعب أي ما يعادل 1.8 مليون متر مكعب يومياً، وسيزداد هذا العجز إلى 3.6 ملايين متر مكعب يومياً في العام 2005 [3]. وفي ضوء ازدياد العجز في الموازنة المائية في الجماهيرية، تم تشكيل لجنة وطنية للموارد المائية عام 1996 عُهد إليها باقتراح استراتيجية وطنية بعيدة المدى لحل مشكلة العجز المائي المتزايد، وطلب من هذه اللجنة "وضع رؤية واضحة حول ملاءمة تحلية المياه سواء لأغراض الشرب أو للصناعة وبيان الحلول التي ينبغي التركيز عليها لتمكن محطات التحلية من الاستمرار في استخدامها بشكل تقني واقتصادي" [3].

تم تركيب أول محطة تحلية في الجماهيرية عام 1964، وذلك في ميناء البريقة، استخدمت فيها تقنية التبخير الوميضي متعدد المراحل (MSF) بسعة تصميمية قدرها 757 متر مكعب/ يوم [4]. ووصل عدد المحطات ذات السعة أكبر من 500 متر مكعب/ يوم المركبة حالياً إلى أكثر

* كلية الهندسة ـ جامعة الفاتح



شكل (1) الموازنة المائية للجماهيرية خلال الفترة 1995 – 2025

من 75 محطة بلغت سعتها التصميمية الكلية حوالي 700,000 متر مكعب / يوم استخدمت خمسة أنواع رئيسية من التقنيات وهي: تقنية التبخير الوميضي متعدد التأثير (MSF)، تقنية التناضح العكسي (RO)، تقنية التقطير متعدد التأثير (MED)، تقنية التقطير بضغط البخار (VC)، وتقنية الفصل الكهروغشائي التبادلي (EDR) [4].

تحتل الجماهيرية المركز الخامس على المستوى العالمي من حيث عدد محطات التحلية المركبة، بينما تأتي في المركز السابع من حيث السعة الإجمالية للمحطات [4]. أما من ناحية المنتجين داخل الجماهيرية فتأتي الشركة العامة للكهرباء في المرتبة الأولى من حيث إجمالي السعات المركبة وذلك لحاجتها للماء الصناعي اللازم لتشغيل المحطات البخارية، واستخدمت الشركة العامة للكهرباء تقنيات التبخير الوميضي متعدد المراحل والتقطير متعدد التأثير والتقطير بضغط البخار وذلك للانخفاض المميز في نسبة الأملاح الموجودة في المياه المنتجة باستعمال هذه التقنيات وكذلك للتشابه الفني بين طبيعة هذه التقنيات والطبيعة الفنية لمحطات التوليد. وتأتي القوات المسلحة في المرتبة الثانية في كمية الإنتاج والمرتبة الأولى من حيث عدد المحطات، وهي في معظمها محطات تستخدم تقنية الفصل الكهروغشائي التبادلي لاعتمادها على مياه الآبار، كما توجد قطاعات أخرى منتجة للمياه المحلاة مثل حقول النفط والبلديات، وهي تستخدم في معظمها تقنيات التناضح العكسي والفصل الكهروغشائي التبادلي.

تتراوح سعات محطات التبخير الوميضي متعدد المراحل المركبة في الجماهيرية ما بين 700 53000 متر مكعب/ يوم على أن أغلبها ما بين 5000–30,000 متر مكعب/يوم أما محطات التقطير متعدد التأثير فهي ما بين 500–5000 متر مكعب/ يوم وتعتمد جميعها على مياه البحر. وتتراوح سعات محطات التناضح العكسي المركبة ما بين 900–11000 متر مكعب/ يوم، أما محطات الفصل الكهروغشائي التبادلي فهي ما بين 100–20,000 متر مكعب/ يوم مع أن معظمها أقل من 1000 متر مكعب/ يوم وتعتمد معظم محطات التناضح العكسي ومحطات الفصل الكهروغشائي التبادلي على مياه الآبار [4].

تهدف هذه الدراسة إلى المشاركة في تقييم التجربة الليبية في التحلية من الناحية الاقتصادية، وذلك للمساعدة في تحديد أسس السياسة المستقبلية للتحلية كأحد الخيارات الاستراتيجية الرخيصة نسبياً والتي يمكن أن تساهم في تغطية العجز في الموازنة المائية للجماهيرية في السنوات القادمة.

2. المحطات التي تمت دراستها

تمت زيارة مجموعة من محطات التحلية التي تستخدم تقنية التبخير الوميضي متعدد المراحل وتقنية التناضح العكسي، واختيرت مجموعة منها لإجراء هذه الدراسة، وذلك لتوفر المعلومات والبيانات الكافية للتحليل، وهذه المحطات هي:

1.2 محطة الخمس

- المالك: الشركة العامة للكهرباء
- توجد محطة تحلية ضمن محطة الخمس لتوليد الكهرباء والمكونة من محطتين الأولى بخارية بسعة 480 ميجاوات، والثانية غازية بسعة 600 ميجاوات.
- التقنية المستخدمة: التبخير الوميضي متعدد المراحل (MSF)، 23 خلية، منفذة في دورين.
- الشركة المنفذة: SIDEM
- تاريخ التعاقد: 1977.
- تاريخ بداية التشغيل: 1981.
- سعة المحطة: 4×13200 متر مكعب/ يوم.
- طبيعة الغلايات: أربع غلايات مستقلة.
- نوعية الوقود المستخدم في الغلايات: غاز طبيعي زيت خفيف زيت ثقيل.
- مصدر التغذية: مياه البحر.
- المأخذ: 4 أنابيب كل منها بطول 950 متر وقطر 2.6 متر، وهو مأخذ مشترك لمحطة التحلية ولمياه التبريد اللازمة لمحطة التوليد.
- ترتبط المحطة مع مدينة الخمس بأنبوب بقطر 700 مم لنقل المياه.
- لم يتم استكمال تجهيز شبكة مياه الخمس لاستيعاب الطاقة الإنتاجية القصوى للمحطة حتى الآن.
- نسبة الأملاح في المياه المنتجة: 10–20 جزء/ مليون.

2.2 محطة زليتن

- المالك: الشركة العامة للكهرباء.
- أنشئت المحطة كمحطة تحلية مستقلة غير مرتبطة بمحطة توليد.
- التقنية المستخدمة: التبخير الوميضي متعدد المراحل (MSF)، ذات 22 مرحلة، منفذة في دور واحد.
- الشركة المنفذة:
- تاريخ التعاقد: 1988.
- تاريخ بداية التشغيل: 1992.
- سعة المحطة: 3×11000 متر مكعب/ يوم.
- طبيعة الغلايات: ثلاث غلايات مستقلة.
- نوعية الوقود المستخدم: غاز طبيعي وقود ثقيل.
- مصدر التغذية: مياه بحر.
- طبيعة المأخذ: أنبوبين بقطر 1.2 متر وبطول 750 متر.
- ترتبط المحطة مع مدينة زليتن بأنبوب لنقل المياه.
- لا تغطي المحطة حالياً جميع احتياجات مدينة زليتن من مياه الشرب.
- نسبة الأملاح في المياه المنتجة: 2–10 جزء/ مليون.

3.2 محطة تاجوراء

- المالك: مركز البحوث النووية.
- التقنية المستخدمة: التناضح العكسي بمرحلتين (RO)، تم تحويرها مؤخراً إلى تناضح عكسي بمرحلة واحدة.
- الشركة المنفذة: DVT.
- تاريخ التعاقد: 1981.
- تاريخ بداية التشغيل: 1984.
- سعة المحطة: 2×5500 متر مكعب/ يوم.
- مصدر التغذية: مياه البحر.
- طبيعة المأخذ: أنبوبين بقطر 630 مم وبطول 1350 متر.
- ضغط التشغيل: 70 بار.
- توجد تربينات استرداد توفر حوالي 30% من استهلاك مضخات الضغط العالي من الطاقة الكهربائية.
- نسبة الأملاح في المياه المنتجة: 500 جزء/ مليون في بداية التشغيل، أما الآن فهي أكثر من 1000 جزء / مليون.

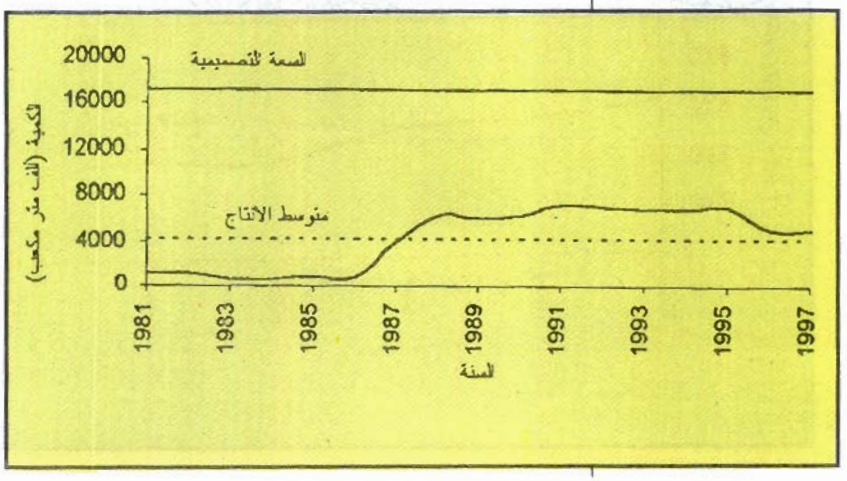
4.2 محطة مركز طرابلس الطبي

- المالك: أمانة الصحة والضمان الاجتماعي.
- التقنية المستخدمة: التناضح العكسي (RO).
- الشركة المنفذة: IONICS
- تاريخ بداية التشغيل: 1996.
- سعة المحطة: 2×1250 متر مكعب / يوم.
- المصدر: مياه آبار بملوحة 21,000 جزء / مليون.
- ضغط التشغيل: 45 بار.
- لا توجد تربينة استرداد.
- نسبة الأملاح في المياه المنتجة: 470 جزء/ مليون عند بداية التشغيل، وحالياً 675 جزء / مليون.

3. بيانات التشغيل

1.3 محطة الخمس

يوضح الشكل (2) الإنتاج السنوي لمحطة الخمس منذ بداية التشغيل عام 1981 وحتى نهاية العام 1997 حيث تراوحت كمية الإنتاج ما بين 0.648 مليون متر مكعب/ سنة إلى 7.26 مليون متر مكعب/ سنة، بمتوسط 4.3 مليون متر مكعب/ سنة، وهو ما يمثل 25% تقريباً من سعة المحطة التصميمية والبالغة 17.3 مليون متر مكعب / سنة. ويرجع هذا الانخفاض إلى تشغيل المحطة منذ إنشائها بمعامل استخدام منخفض لم يتعد في السنوات الأولى للتشغيل 4%، وتراوح في الفترة من عام 1988 إلى 1995 ما بين 31% إلى 38%، وبلغ متوسطه على مدى سنوات



شكل (2)

التشغيل 22.5%، (معامل الاستخدام هو النسبة المئوية لكمية المياه المنتجة إلى الكمية التصميمية للمياه الممكن إنتاجها في المحطة).

اعتمدت محطة الخمس على الوقود الثقيل (HFO) بشكل أساسي منذ بداية التشغيل وحتى بداية عام 1989 حيث بدأ الاعتماد جزئياً على الغاز الطبيعي كبديل آخر إلى أن تم التشغيل بالغاز بشكل كامل في السنوات الأخيرة، أما الوقود الخفيف (LFO) فلم يتم استخدامه إلا في بدايات التشغيل وأثناء الطوارئ فقط. أما بالنسبة لاستهلاك الكهرباء فقد ارتفع معدل استهلاك الكهرباء للمتر المكعب في السنوات التي انخفض فيها معامل الاستخدام (1981–1987) ليصل إلى 7 كيلووات ساعة/ متر مكعب تقريباً، وانخفض إلى 4 كيلووات ساعة/ متر مكعب في السنوات الأخيرة (1988–1995)، ويعلل ذلك بتشغيل المضخات، وهي المستهلك الرئيسي للطاقة، بكفاءة متدنية عند انخفاض معامل الاستخدام [5].

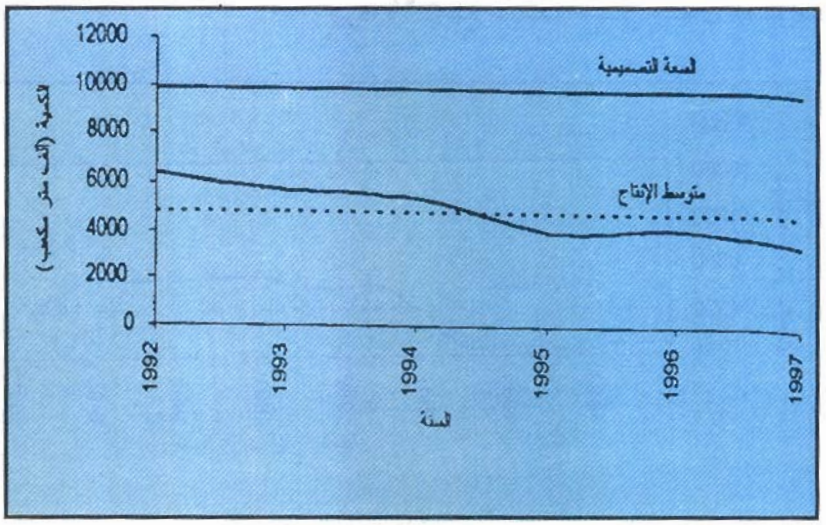
2.3 محطة زليتن

تراوح الإنتاج السنوي لمحطة تحلية زليتن منذ بداية تشغيلها وحتى عام 1997 ما بين 3.6 إلى 6.4 مليون متر مكعب، أي بمتوسط 4.87 مليون متر مكعب سنوياً وبمعامل استخدام 45% تقريباً، وذلك كما هو موضح في الشكل (3)، ويلاحظ من الشكل أن كمية الإنتاج ما زالت في انخفاض مستمر وذلك لعدم التنسيق ما بين إدارة المحطة وبلدية زليتن وهي المستهلك الرئيسي للمياه المنتجة.

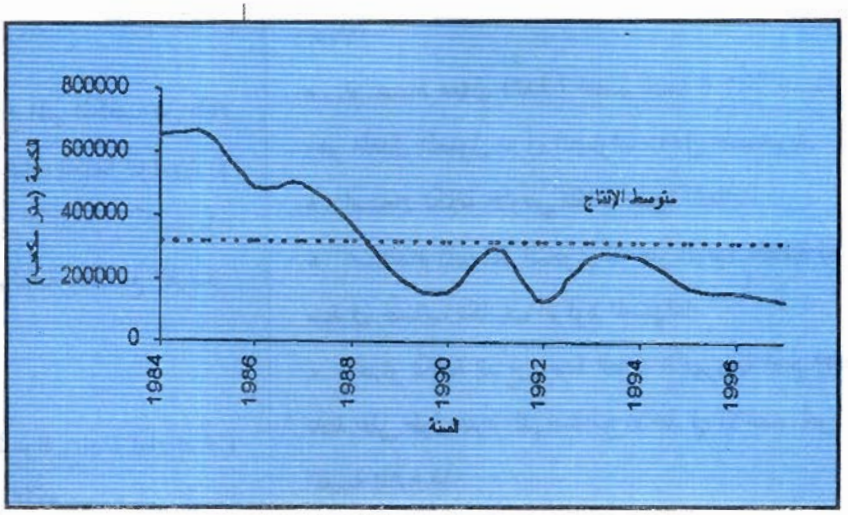
اعتمدت محطة زليتن على نوعين من الوقود فقط هما؛ الوقود الثقيل (HFO) والغاز الطبيعي، مع ملاحظة أنه قد تم الاعتماد على الغاز الطبيعي بشكل أكبر في الفترة الأخيرة. وكان معدل استهلاك المتر المكعب من الطاقة الكهربائية في السنوات الأولى للتشغيل 5.7 كيلووات ساعة/ متر مكعب ووصل إلى 6.8 كيلووات ساعة/ متر مكعب عام 1997، ويعود ذلك أيضاً إلى تشغيل المضخات بكفاءة متدنية [6].

3.3 محطة تاجوراء

انخفض معدل إنتاج محطة تاجوراء منذ السنوات الأولى للتشغيل حيث أنتج 0.65 مليون متر مكعب في عام 1984 وهو ما يمثل معامل استخدام قيمته 16%، ثم تراجع الإنتاج حتى وصل إلى 0.13 مليون متر مكعب في عام 1997 أي بمعامل استخدام 3% كما هو موضح في الشكل (4)، ويرجع السبب في ذلك إلى انعدام التنسيق المسبق قبل تنفيذها، فهي لم تنشأ أساساً لتغطية احتياجات مركز



شكل (3)

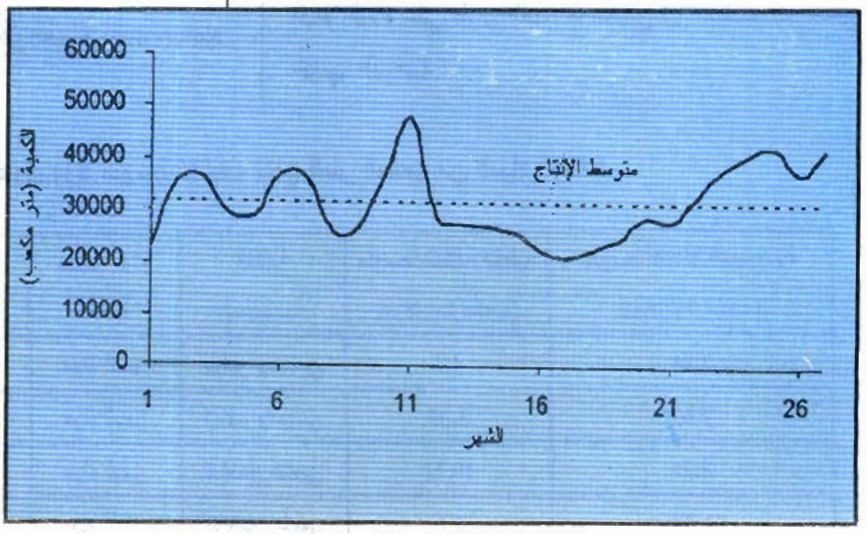


شكل (4)

البحوث النووية فقط، بل كان الهدف منها هو تغطية جزء من احتياجات منطقة تاجوراء من المياه الصالحة للشرب وهو الأمر الذي لم يحدث حتى الآن بعد انقضاء ستة عشر عاماً من عمر المحطة، وتم الاكتفاء بالتشغيل بشكل متقطع لتغطية احتياجات المركز فقط. وقد زودت محطة تاجوراء بمنظومة استرداد كهربائية (Pelton Turbine) تقوم بتعويض 30% تقريباً من الطاقة الكهربائية المطلوبة لتشغيل مضخات الضغط العالي، ولم تتوفر معلومات تفصيلية عن معدل استهلاك المتر المكعب من الطاقة الكهربائية [7].

4.3 محطة مركز طرابلس الطبي

يبين الشكل (5) الإنتاج الشهري لمحطة مركز طرابلس الطبي على مدى 27 شهراً من التشغيل، حيث تراوحت كمية الإنتاج ما بين 21520 إلى 48216 متر مكعب/ شهر غطت احتياجات المركز خلال فترة سبعة وعشرين شهراً منذ بداية التشغيل، ومثلت هذه الكمية معامل استخدام تراوح ما بين 28–64%، بمتوسط 42% على طول مدة التشغيل وهو معامل استخدام منخفض نسبياً أيضاً. ويعتبر معدل استهلاك الكهرباء في محطة مركز طرابلس الطبي مرتفعاً بعض الشيء، حيث تراوح ما بين 4.5 و6 كيلووات ساعة/ متر مكعب، ولوحظ أنه في ارتفاع مطرد ويمكن تفسير ذلك في ضوء ارتفاع ملوحة الآبار التي تتغذى منها المحطة، حيث كانت في بداية التشغيل 18000 جزء / مليون وارتفعت إلى 21500 جزء/ مليون في عام 1998، وانعكس ذلك على طبيعة المياه المنتجة حيث ازدادت ملوحتها من 470 جزء/ المليون عند بداية التشغيل إلى 675 جزء/ مليون حالياً [8].



شكل (5)

4. حساب التكاليف

تساهم عدة عناصر في تكلفة إنتاج المتر المكعب من المياه في محطات التحلية وهي: تكلفة الإنشاء، تكلفة الوقود (لا تدخل في محطات التناضح العكسي)، تكلفة الكهرباء، تكلفة المواد الكيماوية، تكلفة الصيانة وقطع الغيار، مرتبات العمالة.

استخدمت طريقة تكلفة الوحدة المسواة (Levelized Unit Cost) في حساب تكلفة إنتاج المتر المكعب من المياه المحلاة، وتعتمد هذه الطريقة على تجميع أو تحويل تكاليف الإنتاج السنوية إلى قيمتها الحالية في السنة المرجعية أيضاً باستخدام القيمة ذاتها لمعدل الفائدة /الخصم والتي تم استعمالها في تحويل القيم المالية السنوية، ويبرر استخدام طريقة تكلفة الوحدة المسواة بأنه يعكس قيمة أكثر قرباً من الواقع إذا ما اعُتبرت كميات الإنتاج ذات قيمة مالية لا يمكن تجميدها.

تم اقتراح عدد من الفرضيات خلال الدراسة يمكن توضيحها كما يلي:-

- اعتبار السنة 1997 هي السنة المرجعية (Reference Year).
- تم اعتماد معدل فائدة / خصم بقيمة 7.5% سنوياً وهو المعدل المعمول به في المصارف داخل الجماهيرية.
- استبعاد تكلفة الأرض المقامة عليها المحطات.
- استخدام المتوسط السنوي لأسعار الوقود العالمية لكل سنة في حساب تكاليف الوقود المستهلك.
- اعتبار تكلفة إنتاج وحدة الطاقة الكهربائية لعام 1995 ثابتة على طول فترة الدراسة مع الأخذ في الاعتبار تحويل القيمة المالية لها.
- افتراض معدل تهالك خطي لجميع المحطات (Linear Depreciation).
- اعتبار العمر الافتراضي لمحطات التبخير الوميضي ومحطات التناضح العكسي 20 عاماً [10,9].
- اعتبار القيمة المالية للمحطات في نهاية عمرها الافتراضي تساوي الصفر.

يوضح الجدول (1) متوسط التكاليف الفعلية والتصميمية (التكلفة التصميمية هي تكلفة الإنتاج عند التشغيل بمعامل استخدام تصميمي) لإنتاج المتر المكعب من المياه المحلاة على طول العمر التشغيلي في المحطات التي شملتها الدراسة.

جدول (1): متوسط تكاليف إنتاج المتر المكعب من المياه المحلاة

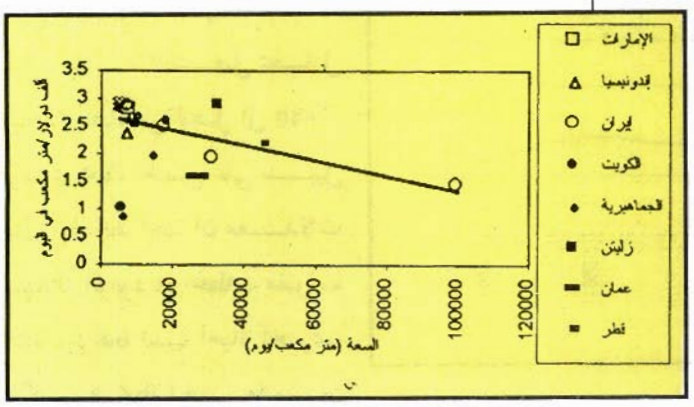
المحطة	العمر التشغيلي	مصدر مياه التغذية	التقنية المستخدمة	متوسط التكلفة الفعلية (دولار/مترمكعب)	متوسط التكلفة التصميمية (دولار/مترمكعب)
الخمس	17 عام	مياه البحر	تبخير وميضي	4.2	2.46
زليتن	6 أعوام	مياه البحر	تبخير وميضي	3.39	2.63
تاجوراء	14 عام	مياه البحر	تناضح عكسي	19.13	3.31
مركز طرابلس الطبي	27 شهر	مياه آبار	تناضح عكسي	1.6	1.28

يلاحظ أن التكاليف الفعلية في جميع المحطات هي تكاليف مرتفعة مقارنة مع التقديرات العالمية في عام 1998 وهي بحدود 0.7–0.8 دولار/ متر مكعب [10]، كما يلاحظ أن تكاليف الإنتاج في المحطات المذكورة متفاوتة تبعاً لاختلاف طبيعة التشغيل في كل محطة مما أدى إلى وجود فوارق كبيرة تزيد على خمسة أضعاف إذا ما استبعدت محطة مركز طرابلس الطبي من المقارنة.

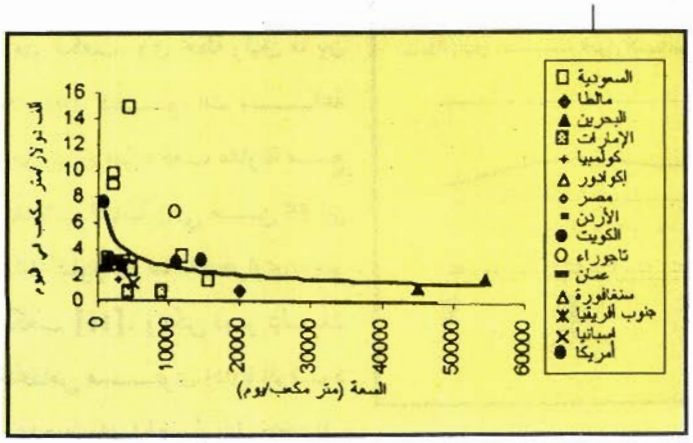
تعطى نتائج التكلفة التصميمية الموضحة في الجدول (1) مؤشراً هاماً وهو أن تكلفة إنتاج المتر المكعب من المياه المحلاة في الجماهيرية في حالة تشغيل محطات مياه البحر بمعامل استخدام تصميمي (80% لمحطات التناضح العكسي، 90% لمحطات التبخير الوميضي [10,9] هي في حدود 2.8 دولار/ متر مكعب وهي تكلفة ما تزال مرتفعة نسبياً إذا ما قورنت بالأسعار خارج الجماهيرية.

بلغت نسبة مساهمة رأس المال 61% من إجمالي التكاليف الفعلية لإنتاج المياه في محطة الخمس، تلتها تكاليف الوقود بنسبة 21% ثم استهلاك الكهرباء بنسبة 13% ولم يكن لباقي التكاليف إلا أثر ضعيف تراوح ما بين 1–5%، بينما كانت مساهمة رأس المال في محطة زليتن 45% ومثلت تكاليف الوقود 20% أما الكهرباء فكانت 19%، وفي محطة تاجوراء طغت نسبة رأس المال على جميع العناصر الأخرى فوصلت إلى 94% تقريباً، وفي محطة مركز طرابلس الطبي وصلت نسبة رأس المال إلى 46% تلتها نسبة استهلاك الكهرباء بقيمة 36%. وعليه فإنه من الواضح أن تكلفة رأس المال قد احتلت دوراً أساسياً في متوسط التكلفة الفعلية لإنتاج المياه المحلاة في جميع المحطات تلتها تكاليف الوقود في المحطات الحرارية ثم تكاليف الطاقة الكهربائية، وكان واضحاً أن باقي العناصر لم يكن لها دور هام في تكاليف الإنتاج في جميع المحطات.

أثرت القيمة التعاقدية المرتفعة لمحطات التحلية في الجماهيرية تأثيراً بالغاً في ارتفاع تكلفة إنتاج المتر المكعب من المياه، حيث تقاربت أسعار محطات التحلية في الجماهيرية في الفترة (1975–1980) مع الأسعار المسجلة في المملكة العربية السعودية وهي أسعار عالية إلى حد ما، وكان الارتفاع في تكلفة إنشاء محطة الخمس عن المحطات المشابهة لها في دول أخرى في حدود 24%، وازداد هذا الارتفاع عند التعاقد على محطتي زليتن وتاجوراء حيث يبين الشكلان (6) و (7) أن القيم التعاقدية لهاتين المحطتين كانت



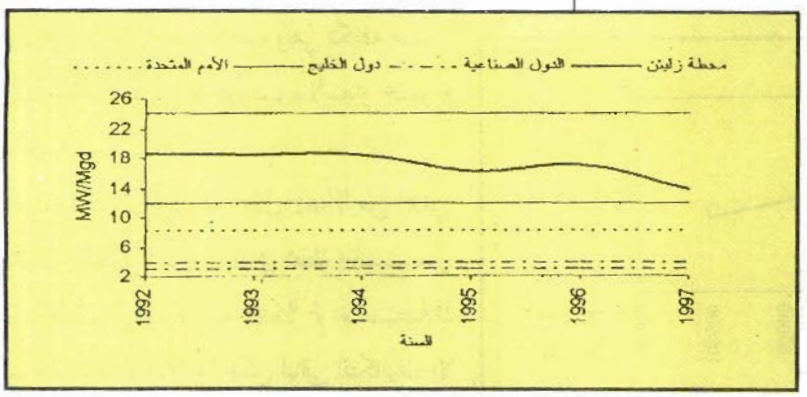
شكل (6)



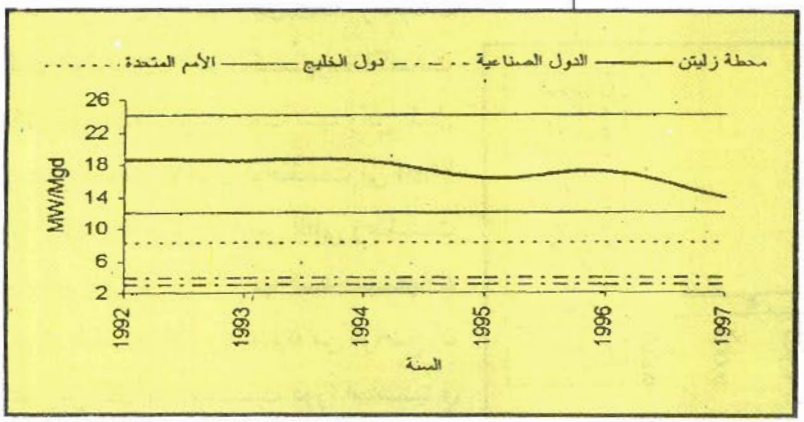
شكل (7)

فيما مطروحة تجاوزت متوسط القيم العالمية بنسبة 51% و 139% على التوالي. كذلك فإن معامل الاستخدام المنخفض في جميع المحطات قد ساهم بشكل فعال في ارتفاع نسبة تأثير تكلفة رأس المال على تكلفة إنتاج المتر المكعب من المياه. ولتأكيد ذلك فقد أعيد حساب نسبة مساهمة عناصر التكاليف في محطة الخمس على سبيل المثال في حالة الافتراض بأن التشغيل سيكون بمعامل استخدام تصميمي (90%) فوجد أن نسبة مساهمة رأس المال قد انخفضت إلى 24% مقارنة مع 61% تحت ظروف التشغيل الفعلية.

مثلت تكاليف استهلاك الوقود في المحطات الحرارية (الخمس وزليتن) نسبة 20% تقريبا من التكاليف الفعلية لإنتاج المياه. وسوف تزداد هذه النسبة عند التشغيل بمعامل استخدام تصميمي لتصل إلى 40% تقريبا في محطة الخمس على سبيل المثال، ولوحظ أيضا أن معدلات استهلاك الوقود في المحطات مقبولة أحيانا ومرتفعة نسبيا أحيانا أخرى، إذ كانت في محطة الخمس ما بين 89–128 كيلووات ساعة (حراري) / متر مكعب، وفي محطة زليتن ما بين 76–102 كيلووات ساعة (حراري)/ متر مكعب مقارنة مع المعدلات العالمية وهي من 55 إلى 120 كيلووات ساعة (حراري)/ متر مكعب [11]، ويمكن تبرير ذلك بانخفاض مستوى إدارة الوقود وعدم ضمان الحصول على احتراق جيد في الغلايات نتيجة لانعدام أجهزة المراقبة وكذلك لعدم وجود منظومات استرداد حراري في المحطات. وتم أيضا دراسة معدلات استهلاك الطاقة (كهرباء + وقود) في محطتي الخمس وزليتن، وعند مقارنتها مع معدلات قياسية (معدل الأمم المتحدة للتخطيط في الدول النامية، معدلات الدول الصناعية، معدلات دول الخليج [11]) يمكن الاستنتاج بأن معدلات الاستهلاك في محطات التحلية الحرارية في الجماهيرية ترتفع كثيرا عن معدل الأمم المتحدة للدول النامية وتقارب المعدلات المسجلة في دول الخليج كما هو موضح في الشكلين (8) و (9).



شكل (8)



شكل (9)

المراجـــع

1- ENGELMAN, R. LE ROY. P., "Sustaining Water, Population and the Future of Renewable Water Supplies", Population Action International, Washington, DC, (1993).

2- THE WORLD RESOURCES INSTITUE, World Resources 1994-1995, Oxford University Press, New York, (1994).

3- عمر امحمد سالم، شح الموارد المائية في الجماهيرية العظمى وإدارتها من أجل التنمية، الهيئة العامة لمياه، تقرير داخلي، طرابلس، (1998).

4- INTERNATIONAL DESALINATION ASSOCIATION (IDA), 1998 IDA Worldwide Desalting Plants Inventory, Report No. 15, WANGNICK CONSULTING GMBH, (1998).

5- محطة كهرباء الخمس، بيانات التشغيل الخاصة بمحطة التحلية، تقارير داخلية.

6- محطة تحلية زليتن، بيانات التشغيل، تقارير داخلية.

7- مركز البحوث النووية، بيانات التشغيل الخاصة بمحطة التحلية تقارير داخلية.

8- مركز طرابلس الطبي، بيانات التشغيل الخاصة بمحطة التحلية، تقارير داخلية.

9- LAHMEYER INTERNATIONAL (LI), Comparison Study on Sea Water Desalination Technologies for Libya, (1997).

10- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA), "Thermodynamic and Economic Evaluation of Co-production Plants for Electricity and Potable Water", IAEA-TECDOC-942, (1997).

11- HANBURY, W. T., et al., "An Introduction to Desalination Technology", Parthan Ltd., Glasgow, U.K., (1989).

ملخـص

تم التركيز في هذه الورقة على حساب تكاليف إنتاج المياه باستخدام تقنيات التحلية الأكثر شيوعاً في الجماهيرية وهما تقنية التبخير الوميضي متعدد المراحل (MSF) وتقنية التناضح العكسي (RO)، وقد اختيرت محطات الخمس وزليتن وتاجوراء ومحطة مركز طرابلس الطبي لإجراء هذه الدراسة.

بالاعتماد على طريقة تكلفة الوحدة المسواة (Levelized Unit Cost) تم حساب التكاليف السنوية لإنتاج المتر المكعب من المياه المحلاة، وتم حساب متوسط التكلفة الفعلية لإنتاج المتر المكعب على طول العمر التشغيلي للمحطات، وكذلك تم تقدير التكلفة التصميمية لإنتاج المتر المكعب في المحطات التي تمت دراستها وذلك لمعرفة التكلفة الممكنة تحت ظروف تشغيل مقبولة.

لوحظ في جميع المحطات التي تمت دراستها انخفاض معامل الاستخدام في التشغيل، حيث وصل المتوسط السنوي لمعامل الاستخدام في بعض المحطات إلى 3% فقط، وانعكس ذلك بشكل سلبي على ارتفاع تكاليف الإنتاج.

كانت العناصر الأساسية في تكلفة الإنتاج هي تكلفة رأس المال ثم تكلفة الوقود وتكلفة الكهرباء، وساهمت تكاليف المواد الكيماوية والعمالة وقطع الغيار والمصاريف الأخرى بدور أقل وغير أساسي في التكاليف الإجمالية لإنتاج المتر المكعب.

تعتبر التكاليف الفعلية لإنتاج المياه في المحطات التي تمت دراستها تكاليف مرتفعة نسبياً، حيث وصلت في محطة الخمس إلى 4.2 دولار / متر مكعب، وفي زليتن 3.39 دولار/ متر مكعب، وفي تاجوراء 19.13 دولار / متر مكعب، أما في محطة مركز طرابلس الطبي وهي محطة مركبة حديثاً وتعتمد على مياه الآبار كمصدر للتغذية فقد وصل متوسط التكلفة الفعلية بها إلى 1.60 دولار / متر مكعب.

تم الاستنتاج أن متوسط التكلفة لإنتاج المتر المكعب من المياه في محطات التحلية العاملة حالياً في الجماهيرية والتي تعتمد على مياه البحر كمصدر للتغذية هو 2.8 دولار/ متر مكعب إذا ما وصلت كمية الإنتاج إلى معدلات قريبة من المعدلات التصميمية.