

العوامل المؤثرة على كلفة إنتاج الطاقة الكهربائية لمحطة الكهرباء والتحلية بالشركة الليبية للحديد والصلب

م. سليم محمد حبريشة
أكاديمية الدراسات العليا - مصراتة- ليبيا
salimhibrisha@gmail.com

د. ستار جابر العيساوي
كلية التقنية الصناعية- مصراتة - ليبيا
sattarjaber@yahoo.com

لقد دفع الطلب على الطاقة في الدول المستهلكة إلى التحرك على مستويين، الأول: ترشيد الاستخدامات الحالية لمصادر الطاقة خصوصاً البترول والغاز الطبيعي والكهرباء، والثاني: تطوير مصادر جديدة للطاقة من مصادر غير تقليدية مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهربائية الناجمة من انحدر المياه باستغلال فروق المناسيب، والتفكير في الطاقة من الرياح سيشكل باكورة السير في هذا الطريق، الذي نأمل في أن يتعمق ويتناول مصادر أخرى، كالطاقة الشمسية، فحن ننتمي مراحياً لمنطقة شمسها ساطعة، يمكن استخدام حرارتها في توليد الطاقة وفي ترشيد استهلاكها[5].

لعل أهم ما يواجه الحضارة في القرن الحادي والعشرين من تحديات هو مشكلة الطاقة، إن عصر الثورة العلمية أساسه الطاقة، وفي العصر الحديث فإن الاستهلاك العالمي للطاقة أساسه الوقود الأحفوري، والذي يشمل: الفحم، والبترول، والغاز الطبيعي، والتي تسمى (بالطاقة التقليدية)، ويطلق على الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة المائية والمد والجزر وطاقة الكتلة الحيوية والطاقة النووية (الطاقة الغير تقليدية) [6].

2. الدراسات السابقة

هدفت دراسة فانديلا ريدي 2010 إلى تحليل الطاقة القصوى الممكن إنتاجها في المحطات الكهربائية باستخدام نوعين من الوقود (الفحم والغاز)، وكذلك شملت هذه الدراسة كيفية إعادة تدوير الطاقة الحرارية الغير مستخدمة كالطاقة الحرارية الناتجة من أنظمة التبريد والمحولات وحتى توربينات التوليد، حيث تعتبر هذه الدراسة من الدراسات الحديثة التي تركز على كيفية زيادة كفاءة إنتاج الطاقة الكهربائية باستغلال الطاقة الضائعة من خلال إعادة تدويرها، وتوصلت الدراسة إلى أن الاهتمام العالمي في شؤون الطاقة يجب أن يركز على نواحي التكلفة، التلوث البيئي وتلبية الطاقة الكافية مع زيادة الأحمال، حيث يمكن تخفيض تكلفة الإنتاج والتلوث البيئي الناتج من عملية الاحتراق بتقليل الخسارة الناتجة في المكثف وكذلك بإعادة تدوير الطاقة الحرارية (*Exergy*)، وأجرى الباحث دراسة شاملة على نوع آخر من المحطات حيث أظهرت النتائج تحسين واضح في كفاءة المحطة الحرارية وذلك باستخدام الوقود الغازي حيث تحصل على كفاءة تشغيلية أعلى من تلك المتحصل عليها من المحطات التي تعمل بالفحم[7].

وقدم فينكاتا كومار 2012 دراسة هدفت هذه الدراسة إلى كيفية تحسين أداء المرجل (*Boiler*) وتأثيره على خفض كمية الوقود المستخدم وبالتالي تحسين اقتصاديات المحطة وكذلك تقليل التأثير البيئي وعملية الصيانة في التوربينات البخارية، وبحثت الدراسة طرق تشغيل المرجل البخاري وحددت العوامل المؤثرة في تحسين أداء المرجل وبالتالي تقليل كمية الوقود المستخدم وكمية ثاني أكسيد الكربون الناتج من عملية الاحتراق، وأوصى الباحث بتقليل فقدان غازات المداخن (عملية استخراج الحرارة) والاستخدام السليم للطاقة الحرارية الناتجة من كل جزء في المحطة[8].

اما جيلبرتو فرانسيسكو 2012 ركز الباحثون في هذه الدراسة على إمكانية التشغيل والموثوقية حيث أن نسبة حدوث الخطأ تؤدي إلى خسارة كبيرة من حيث عملية إعادة التشغيل والصيانة، حيث أن عطل صغير في أي جزء من المحطة أو عدم كفاءة بعض الأجهزة ممكن أن يرفع من تكلفة إنتاج الطاقة للمحطة بشكل مباشر، وتمت تجربة على محطة بحجم إنتاج 500 ميغا واط وتم تحديد أهم العوامل المؤثرة على إمكانية التشغيل أو دقة التشغيل مع زيادة الأحمال، وافر الباحثون بأنه من أجل زيادة استخدام مفاهيم الموثوقية في محطات الطاقة الحرارية، يجب تحليل الأداء الكامل لأي محطة كهربائية، فمن المتوقع أن وجود إطار تنظيمي يمكن أن يكون

المخلص — يهدف البحث إلى تقديم معلومات تساهم في إدارة اقتصاد الإنتاج للطاقة بشكل صحيح وعلمي لمحطة الكهرباء والتحلية بالشركة الليبية للحديد والصلب، وعرض بيانات تؤدي إلى حلول لمعالجة مشكلة الهدر في الطاقة. لقد تم استخدام المنهج الوصفي والتحليلي الذي يعتمد على جمع المعلومات والبيانات المتوفرة وتفسير وتحليل هذه البيانات الخاصة بالوقود المستخدم في الاحتراق والمتحصل عليها من المحطة ووضع برمجية للمساعدة في معرفة الوضع الأنسب للتشغيل. وقد توصل البحث إلى مجموعة من النتائج أهمها: أن الاهتمام بكفاءة الاحتراق ونوع الوقود المستخدم وتطوير الكادر والصيانة والاهتمام بالبيئة وغيرها من الإجراءات التي تساهم بشكل كبير في تقليل التكاليف وإدارة اقتصاديات إنتاج الطاقة، و يمثل تطوير أداء فرق الصيانة أحد العوامل المهمة للمحافظة على المعدات من التهلك السريع وإطالة عمرها والتأكيد على القيام بالصيانة الدورية والوقاية مما يرجع إيجاباً على التكاليف الكلية لإنتاج الطاقة بالمحطة، باعتبار أن الشركة مختصة في صناعة الحديد والصلب لم يولى الاهتمام المطلوب بإنتاج الطاقة المتمثل في محطة الكهرباء والتحلية مما انعكس سلباً على المعدات وتكاليف إنتاج الطاقة بها، ووجد أن كل متر مكعب غاز طبيعي ينتج 3.67 كيلو وات، وكل متر مكعب زيت ثقيل ينتج 3.67 ميغاوات وهذا تم حسابه في ظروف المحطة محل الدراسة بناءً على كميات الوقود الداخلة في الاحتراق وكميات الطاقة المنتجة وبيانات من إدارة معلومات الطاقة الأمريكية ، وإن كل 1 ميغا وات يتم إنتاجها من حرق الغاز الطبيعي تنتج 548 كيلو جرام ثاني أكسيد الكربون، بينما 1 ميغا وات ناتجة من حرق الزيت الثقيل تنتج 815 كيلو جرام ثاني أكسيد الكربون، وهذه القيم توضح أن استخدام الغاز الطبيعي في الاحتراق لإنتاج الطاقة أفضل من الوقود السائل من حيث التكلفة والاحتراق التام والانبعاثات الناتجة عن الاحتراق. إن عدم وجود قراءات دقيقة للانبعاثات المسجلة لدى الشركة وتقدم وحدات التوليد تزيد من حجم المشكلة التي يسببها استخدام الزيت الثقيل خاصة مع عدم إجراء أي معالجات واقعية للبيئة المجاورة للمحطة.

الكلمات المفتاحية— محطات التوليد، أنواع الوقود، كفاءة التوليد، انبعاث الغازات، أنواع هدر الطاقة.

1. المقدمة

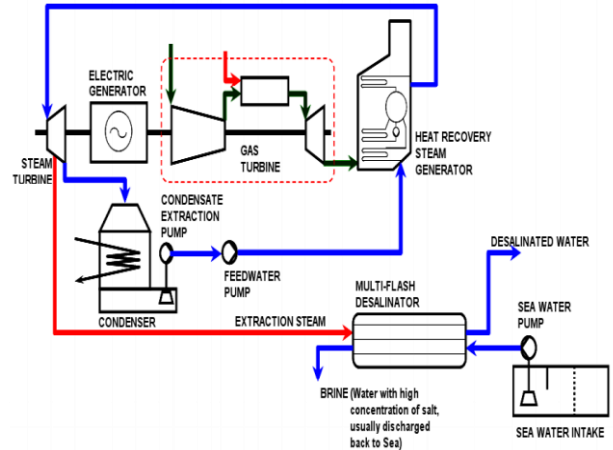
تعتمد نظم الطاقة الحالية على حرق الوقود الأحفوري الذي يشكل 76% من الطاقة (*fossil fuel*) الأولية في العالم، ومع أن الطاقات المتجددة هي طاقات نظيفة مقارنة مع الطاقة الأحفورية؛ إلا أن دورها على النطاق العربي والعالمى كمصدر لإنتاج الطاقة بكميات تجارية كبيرة هو دور محدود، وسيظل محدوداً لعدة عقود قادمة، نتيجة لطبيعة هذه الطاقات من جهة، ولتوافر مصادر الطاقة الأحفورية بكميات كبيرة جداً واقتصادية من جهة أخرى [1]. إن اختيار طريقة إنتاج الطاقة الكهربائية وجدواها الاقتصادية يختلف وفقاً لحجم الطلب على الكهرباء والمنطقة التي يراد إيصال الكهرباء إليها، إن محطات الطاقة الكهرومائية ومحطات الطاقة النووية ومحطات الطاقة الحرارية ومصادر الطاقة المتجددة لها إيجابيات وسلبيات، والاختيار فيما بينها يعتمد على متطلبات الطاقة المحلية والتقلبات في حجم الطلب على الكهرباء[2]. تعتبر الكهرباء في المجتمع الحديث أكثر صور الطاقة مناسبة وفائدة فيدونها لن تكون البنية التحتية للمجتمع الحالي عملية على الإطلاق، الاستهلاك المتزايد للكهرباء في العالم يعكس مستوى المعيشة المتنامي [3]. لقد اجتمع مختصون ومسؤولون في المؤتمر السعودي الدولي للمياه والطاقة 2013 الذي أقيم في جدة على وجود تحديات كبيرة تواجه إنتاج المياه والطاقة في السعودية تتعلق بالتكلفة العالية للإنتاج، وعدم استدامة الموارد الطبيعية من مياه ووقود أحفوري، والاستهلاك المتنامي للفرد، وهذا الأمر بالطبع يمكن تعميمه على كافة الدول العربية[4].

وهدفت دراسة كيفين اوميل 2008 في مركز التطوير العالمي في أستراليا (**Center for Global Development**) لتوضيح ما يمكن إنتاجه من الطاقة الكهربائية بالاعتماد على الطاقة الشمسية في الأردن ومناطق الصحراء الكبرى والتي تشمل مناطق المغرب العربي وليبيا، حيث أن هذه الطاقة سهلة الإنتاج بتكلفة أقل بكثير من بناء محطات وليس لها أي تأثير بيئي حيث أنها طاقة متجددة ممكن أن تدوم بعمر الألواح المستخدمة والتي تستديم لما بين (20 إلى 25 سنة)، وكذلك بالنظر إلى تكلفة الصيانة فإن عملية الصيانة غير مكلفة ولا تحتاج إلى نفس العدد من العمال لتشغيل مقارنة بالمحطات الحرارية التقليدية، وتشير الدراسة إلى أنه تم التوقيع على اتفاقية بين دول الاتحاد الأوروبي ودول شمال أفريقيا على مذكرة تبادل الطاقة وبطاقة إنتاجية تقارب 20 قيقاواط بحلول سنة 2020 [13]. وعرض الباحث فرج هويدي 2013 الحالة العملية والمنظور المستقبلي لإنتاج الطاقة الكهربائية في ليبيا وذلك بدراسة بيانات إنتاج الطاقة الكهربائية لجميع محطات إنتاج الطاقة في عموم ليبيا ما بين عامي 2005 و2010، وتطرق الباحث إلى دراسة زيادة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتج من مصادر الطاقة المختلفة وكفاءة محطات توليد الطاقة الكهربائية حيث تراوحت كفاءة المحطات البخارية ما بين 20% إلى 28% وتراوحت كفاءة المحطات الغازية ما بين 9% إلى 25% حيث تعتبر هذه النسبة قليل بالنسبة للمقياس العالمي، واستخلص الباحث وكما في باقي الدراسات السابقة إلى أن التحديث في منظومة التدوير الحراري لها تأثير بشكل كبير على كفاءة إنتاج المحطة الكهربائية، وعلى سبيل المثال فإنه تم تحسين كفاءة محطة شمال بنغازي لإنتاج الطاقة الكهربائية من 25% إلى 46.6% وكذلك محطة طرابلس من نسبة 22% إلى 34% ما بين سنة 2008 إلى 2010 [14].

3. صور استهلاك الطاقة

اقتصاد الطاقة في المفهوم الاقتصادي، تعبير يقصد به إنتاج الطاقة واستثمارها واستهلاكها والعوائد الناجمة عنها، ويشمل ذلك جميع الوسائل والإجراءات التي تهدف إلى زيادة مردود استخدام الطاقة وخفض ضياعها إلى الحد الأدنى من دون التأثير في معدل النمو الاقتصادي، أي استهلاك أقل مقدار من الطاقة لإنتاج أكبر كمية من السلع أو الخدمات من دون المساس بمواصفاتها، واستغلال الطاقة الاستغلال الأفضل بأقل كلفة ممكنة، كذلك فإن اقتصاد الطاقة يهدف من جهة أخرى إلى استخلاص أكبر قدر ممكن من الطاقة من مصادرها الأولية مع الحفاظ على البيئة وتقليل الإضرار بها إلى الحد الأدنى. يشمل ترشيد استهلاك الطاقة عملياً جملة الإجراءات الواجب إتباعها للحد من الهدر في منظومات الطاقة في مختلف مراحلها بدءاً من محطات توليد وتحويل الطاقة وانتهاء بالأجهزة الطرفية المستهلكة للطاقة وهذا ينطبق على الطاقة الكهربائية في التوليد والتوزيع وعلى الطاقة المستهلكة من مشتقات النفط إلى المستهلكين، إن التشغيل الاقتصادي الأمثل لمحطات توليد الطاقة الكهربائية هي الوسيلة الأكثر فاعلية في هذا المجال كما أن الحفاظ على جاهزية محطات توليد الطاقة الفنية والتقيد الصارم ببرنامج الصيانة من الوسائل الأساسية لترشيد الطاقة في المراحل الأولى من منظومات الطاقة المتكاملة وتأتي بعد ذلك ما يسمى بإدارة الأحمال [15]. وفي العصر الحديث فإن الاستهلاك العالمي للطاقة أساسه الوقود الأحفوري، والذي يشمل: الفحم، والبتترول، والغاز الطبيعي، والتي تسمى (بالطاقة التقليدية)، ويطلق على الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة المائية والمد والجزر وطاقة الكتلة الحيوية والطاقة النووية (الطاقة الغير تقليدية) و الجدول (1) يوضح تقديرات استهلاك العالم من الطاقة ما بين عامي (2000 - 2030) [16]. و تفيد المعلومات أن نقطة الذروة لإنتاج زيت البترول هي في الأعوام بين (2000 إلى 2008)، كما أن زيت البترول هو الهبة الطبيعية التي سحبت للإنسان بالانتشار على كوكب الأرض وزاد تعداده من مليار نسمة إلى 6.5 مليار نسمة خلال قرنين من الزمان، فالاستهلاك العالمي للغاز الطبيعي قفز خلال الفترة من (1965 إلى 2000) بمعدل زيادة 3.4% مقارنة بزيت البترول 2.5% من نفس الفترة، وقد ترتب عن ذلك ارتفاع نصيبه من الاستهلاك العالمي خلال تلك الفترة من 15.7% إلى 23% كما أن هذا الارتفاع متوقع أن يستمر خلال المستقبل المنظور [16].

له تأثير حاسم على طرق تقليل المخاطر وزيادة الموثوقية [9]. وركزت دراسة رافندير كومار 2014 على الأداء الحراري والاقتصادي لمحطة توليد الكهرباء التي تعمل بالفحم 210 ميغاواط في شمال الهند، وتم التحليل لحساب معدل استهلاك الفحم، الكفاءة الحرارية الكلية، معدل تدفق كتلة البخار من خلال المرجل وصافي القيمة المنتجة (**Net present value** "NPV") للمحطة لكمية حمل ثابت، وأجري تحليل كمية طاقة الديناميكا الحرارية المنتجة باستخدام معادلات الكتلة والطاقة تليها دراسة إحصائية، توقع معدل تدفق كتلة البخار، معدل استهلاك الفحم والكفاءة الحرارية تعطي نسبة متوازنة مع بيانات تشغيل المحطة، وكذلك تطرق الباحثون لحساب تكلفة الأنشطة التشغيلية مثلت كلفة المعدات، تكلفة الوقود وتكلفة عمليات الصيانة والإيرادات وصافي القيمة الحالية للمحطة، وأوصى القائمون بهذه الدراسة على أن تأثير مضخة المكثف لها تأثير أكبر من مضخة الماء المزودة للمرجل حيث أن هذا التغيير له تأثير على اقتصاديات المحطة من ناحية تقليل كمية الوقود المستخدم والحصول على طاقة حرارية أعلى، والشكل (1) يوضح مخطط عملية إعادة توليد الطاقة الحرارية [10].



شكل 1. مخطط عملية إعادة توليد الطاقة الحرارية

أما جينيسيس ميرهاوا 2012 فقد هدفت هذه الدراسة إلى تحديد مناطق فقدان الطاقة في أجزاء المحطة، وذلك من خلال دراسة كل جزء من أجزاء محطة الطاقة الحرارية، وكذلك طور الباحثون في هذه الدراسة على طريقة تخفيض هذه الخسارة وبالتالي زيادة كفاءة إنتاج الطاقة الكهربائية، استند الدارسون على بيانات مأخوذة من محطة واقعية في زمبابوي حيث أن الطاقة المنتجة أقل من طاقة الأحمال وتقتصر الحاجة إلى إيجاد بدائل لزيادة الإنتاج والكفاءة، ومن الملفت للنظر أن الخسارة الناتجة من الطاقة الغير مستغلة بشكل صحيح تصل إلى حوالي 48.92% من كامل طاقة إنتاج يصل إلى حوالي 81.66% (أي أكثر من نصف الطاقة المنتجة)، وأختتم الباحثون هذه الدراسة بجملة من التوصيات تشمل كافة أجزاء المحطة [11]. أما دراسة دان هو 2012 هدفت هذه الدراسة لتنفيذ دراسة للاستغلال الأقصى للطاقة (**Exergy**) لمحطة إنتاج الطاقة الكهربائية، وتم تنفيذ هذه الدراسة باستخدام تقنية الحاسوب، برنامج أسبن بلص (**Aspen Plus software**)، تم تقييم حالات تشغيلية مختلفة بتغير كمية الأحمال وتحديد نسبة الطاقة الممتدة من المنظومة، ركز المنفذون بهذا العمل على العوامل التالية: درجة حرارة الاحتراق، معامل الهواء الزائد، درجة حرارة البخار وضغط البخار، أوضحت النتائج بأن فقدان الطاقة يحدث بشكل رئيسي في الغلايات والتوربينات البخارية، حيث كانت كفاءة المحطة تصل إلى 21% بنسبة خطأ لا تتعدى نسبة 10% عن المحطة الحقيقية، فإنه بالإمكان زيادة كفاءة المحطة بتعويض النقص الحاصل في الغلايات نتيجة عملية النقل الحراري وكذلك زيادة تحسين عمل التوربينات البخارية من خلال تعويض النقص في درجة حرارة البخار وضغط البخار. من خلال التوصيات السابقة للباحثين نرى أنه من المجدي مراقبة كل العوامل السابق ذكرها ويتم معالجة كل جزء بشكل مهني ودقيق مع الأخذ بالاعتبار الطاقة التحميلية القصوى لكل جزء من أجزاء المنظومة [12].

جدول (1) تقديرات استهلاك العالم من الطاقة ما بين (2000 - 2030)

الوقود	عام 2000	عام 2030
	النسبة المئوية	النسبة المئوية
الفحم	2%	24%
زيت البترول	39%	38%
الغاز	23%	28%
طاقة نووية	7%	5%
طاقة جديدة	5%	5%

أكد محيد جعفر، الرئيس التنفيذي لشركة نفط الهلال، بأن حصة النفط والغاز في مزيج الطاقة العالمي ستبقى الأكبر مع مواصلة الأسواق الناشئة قيادة النمو الاقتصادي العالمي، وأضاف جعفر بأن النفط والغاز سيواصلان لعب دور رئيسي في مزيج الطاقة خلال الخمسين عاما القادمة كحد أدنى، فيما سيبرز الغاز كمصدر لا ينضب للطاقة النظيفة ليمثل فرصة حقيقية لترشيد ميزانيات الطاقة، والحد من الانبعاثات الكربونية وتقليص نفقات الوقود، وأشار جعفر إلى أن الطلب العالمي على الطاقة سيبقى قوياً، حيث يبلغ إجمالي استهلاك العالم حالياً نحو 250 مليون برميل من النفط المكافئ يومياً، تستحوذ الدول المتقدمة صناعاتها على نحو نصف هذه الكمية، وسينمو الطلب العالمي على الطاقة الأولية إلى أكثر من الضعف فيما لو تمكنت بقية بلدان العالم من الاقتراب من مستويات استهلاك الفرد الواحد من الطاقة المسجلة في دول الاتحاد الأوروبي. والجدول (2) يوضح مقارنة في التكاليف بين استخدام الغاز الطبيعي والوقود الخام في محطات التوليد [17].

جدول (2) مقارنة بين استخدام الغاز والوقود السائل في محطات الكهرباء

البيانات	الوقود الخام	الغاز
الوقود ونقله	49.37 ريال / ميجاوات ساعة	07.34 ريال س / ميجاوات ساعة
صيانة الوحدة	92.5 ريال / ميجاوات ساعة	95.3 ريال س / ميجاوات ساعة
غسيل الوحدة	عدد ساعات التوقف للوحدة كل 350 ساعة عمل	لا تحتاج الوحدات إلى غسيل
الطاقة المنتجة من الوحدة	6.48 ريال / ميجاوات ساعة	1.5 ريال س / ميجاوات ساعة

* 1 دولار الامريكي = 3.7501 ريال السعودي (2016/04/11).

4. ترشيد الطاقة

توجد عدة إشكاليات لتحقيق كفاءة أكبر لعمليات توفير الطاقة واستخدامها، بشكل أغلبها أيضاً عوائق أمام كفاءة اقتصادية أعلى، والإشكاليات الرئيسية لترشيد استخدام الطاقة تتمثل في إشكاليات المؤسسة، إشكاليات مالية واقتصادية، إشكاليات تقنية، إشكاليات وعي.

1.4 الإشكاليات المؤسسية:

وتتلخص فيما يلي:

- 1- محدودية المعلومات، والافتقار إلى الخبرة في قطاع الطاقة.
- 2- عدم الإلمام بما هو متاح من زاوية التكنولوجيا والخبرة الفنية لتعزيز الكفاءة.
- 3- تشجيع الإمداد بالطاقة واستخدامها دون تشجيع مماثل لتحسين الكفاءة.
- 4- عدم توافر الرغبة في الضغط من أجل تسعير قائم على التكلفة الفعلية.
- 5- معارضة الضرائب التي تعزز كفاءة الطاقة من جانب مسؤولي الإيرادات العامة.
- 6- ضعف الترابط بين مرافق الكهرباء والمستخدمين، وكذلك بين المشترين والمستخدمين.
- 7- انعدام الرغبة في تعزيز حملات التوعية العامة، وكشف أوجه انعدام الكفاءة.

4.2 الإشكاليات المالية والاقتصادية:

وتتلخص فيما يلي:

- 1- التصورات بأن التكاليف تتجاوز المكاسب، بالرغم من أن بعض التحسينات في الكفاءة يمكن الحصول عليها بما لا يتعدى كثيراً المكاسب.
- 2- الصعوبة فيما يتعلق بتصنيف وبحساب الوفورات على نحو دقيق.
- 3- قيمة الأصول القائمة والعائدات المترتبة عليها.
- 4- المحاسبة المالية وأساليب وضع الميزانية.
- 5- الأسعار المنخفضة للطاقة وإشكال الدعم المالي المختلفة.

3.4 الإشكاليات التقنية:

وتتلخص فيما يلي:

- 1- عدم إتاحة تكنولوجيا أكثر تقدماً.
- 2- هياكل البنية الأساسية.
- 3- عدم إتاحة مواد جديدة وبدائل أخرى.
- 4- الخبرة التقنية والإدارية.
- 4- بحوث التطوير والتحقق التجريبي.
- 6- الثقافة.

4.4 إشكاليات الوعي:

من بين العوائق الأكثر أهمية والشائعة في كل مناحي الحياة تدني الوعي بمدى انعدام الكفاءة في الاستخدام الحالي للطاقة، وإلى أي مدى يمكن استخدامها بكفاءة أكثر، ونقص المعلومات حول التكاليف المنخفضة للعديد من تحسينات الكفاءة، والمطلوب من زاوية إدارة الطاقة لوضع التحسينات موضع التطبيق [18].

5. رفع كفاءة استخدام الطاقة

استناداً إلى الأبحاث في كل من جامعة هارفرد وبرنستون ومعهد مصادر الطاقة (World Resource Institute) (WRI) وجد أنه بالإمكان، ومن الناحية التقنية تحقيق اقتصاد حقيقي في استهلاك الطاقة بنسبة تزيد عن 45% بإتباع قواعد وخطوات كافية استخدام الطاقة. ولا يقصد هنا أبداً التقنين في استخدام الطاقة بل باستخدام الطاقة بكفاءة، حيث أعدت العديد من البحوث والدراسات حول موضوع (كفاءة أعلى في استخدام الطاقة) لكن عدم الاعتماد على أهل الاختصاص والكفاءة في بلدنا أدخل الموضوع في نفق الروتين، علماً أن دولاً غنية ومتقدمة حققت معدلات كبيرة في توفير الطاقة باعتماد تقنيات الكفاءة [1].

تعززت هذه السياسة بإدخال نظام الدورة المركبة في توليد الطاقة الكهربائية الذي أتاحه توافر الغاز الطبيعي وإحلاله، التحديث التكنولوجي في استخدام قدرات التوليد الكهربائي الكبيرة، فضلاً عن إجراءات قصدت بذاتها لدفع الكفاءة من خلال إعادة تأهيل وتحديث الإجراءات المؤثرة على كفاءة التوليد بمحطات الكهرباء مثل نظام الاحتراق ونظام تدوير غازات العادم وغيرها من الأنظمة الموجودة في وحدات التوليد والتي بتأهيلها تساهم بشكل واضح في رفع كفاءة توليد الطاقة.

كذلك تم في مجال ترشيد الطاقة جهود ملحوظة في تنفيذ إجراءات إدارة جانب الطلب على الطاقة، خاصة بالنسبة لأعمال كبار المشتركين، وتقييم هذه السياسة بمنحها أولوية قصوى، إذ يمكن بحسب التقديرات الأولية لقطاع الكهرباء في مصر أن يحقق وفراً في الاستهلاك المتوقع عام 2007 من خلال تدابير ترشيد الطاقة وتحسين الكفاءة، يبلغ ما لا يقل عن 10% وهي نسبة تتماشى مع التقديرات الدولية في هذا المضمار، كما أنها سياسة تتجاوب مع أعلى الأولويات الحالية المطروحة عالمياً لتوفير الطاقة الكهربائية على نحو مستدام، ويمكن العمل على رفع كفاءة استخدام الطاقة بتنفيذ برامج رفع كفاءة التوليد الكهربائي في المحاور الأربعة التالية:

- إحلال وتجديد محطات القوى الكهربائية المتقدمة.
- تحويل الوحدات الغازية للعمل بنظام الدورة المركبة.
- تحويل المحطات البخارية للعمل بنظام الوقود المزدوج وإنشاء المحطات الجديدة وفقاً لهذا النظام.
- استخدام وحدات توليد عملاقة ذات كفاءة عالية في المحطات الجديدة.
- وقد أدت الإجراءات السابق ذكرها إلى خفض متوسط معدل استهلاك الوقود للمحطات الحرارية من 346 جم/ك. و. س عام (1982/1981) إلى 227 جم/ك. و. س عام (1999/98)، مما وفر الكثير التكاليف في عملية توليد الطاقة [19].

6. محطة الكهرباء والتحلية بالشركة الليبية للحديد والصلب

تم إنشاء المحطة من قبل شركة هيونداي وهي محطة كهرباء وتحلية مياه كاملة ذات سعة قدرها (6 × 84.65 ميغا وات) و(3 × 10500 متر مكعب في اليوم) من المياه المحلاة وتشتمل على الآتي:

1- عدد (6) غلايات ذات أفران تعمل تحت ضغط وتحرق كلا من الغاز الطبيعي والزيت الثقيل ومن النوع الذي تدور فيه المياه دورة طبيعية بالإضافة للمعدات المصاحبة لها وسعة كل غلاية 380.268 طن/ساعة، والضغط 91.34 بار ودرجة الحرارة 510 درجة مئوية.

2- عدد (6) مولدات توربينية مكثفة ذات إدارة مباشرة والمعدات المصاحبة لها وسعة كل مولد تربيني 84.65 ميغا وات ومواصفات البخار 90 بار 510 درجة مئوية.

3- مجموعة مياه التبريد الرئيسية والفرعية الخاصة بمحطة الكهرباء وتحلية المياه والمعدات المصاحبة لها بالإضافة إلى توريد مياه التبريد لمحطة المياه الرئيسية لمجمع الحديد والصلب.

4- المعدات المساعدة المختلفة والتي تشمل الروافع والأوناش والبكرات والمصاعد ومعدات الهواء المضغوط ومعدات إنتاج المياه المنقاة من المعادن ومعدات مكافحة الحريق والوقاية منه ومعدات تكييف الهواء والتهوية.

5- التركيبات الكهربائية التي تشمل الكابلات وملحقاتها والإنارة الداخلية والخارجية ومخارج الكهرباء ومعدات التوصيل الأرضي والوقاية ضد الصدا والوقاية الكاثودية ومعدات الاتصال اللاسلكي ومعدات الإنذار عن الحريق.

6- معدات التحكم ومراقبة وتشمل معدات التحكم المحلية والمركزية لجميع أجزاء المحطة.

7- مجموعة مولد توربيني غازي كامل وقائم بذاته سعة 18 ميغا وات تستعمل كمولد مساعد للقوى الكهربائية ولبدء تشغيل محطة الكهرباء والتحلية كاملة بجميع المعدات والملحقات.

8- محطة تحلية المياه والمعدات المصاحبة لها وتشمل 3 وحدات تحلية مياه مستقلة (مبخرات) من نوع الدورة المتكررة للمحلول والتأثير المفرد والوميض على مراحل متعددة وتستعمل طريقة المعالجة بإضافة المواد الكيماوية التي فيها درجة الحرارة الابتدائية للمحلول العلوي 91 درجة مئوية وكل وحدة تنتج 10500 متر مكعب في اليوم من المياه عند التشغيل بدرجة حرارة 91 درجة مئوية للمحلول العلوي ودرجة حرارة مياه البحر 30 درجة مئوية.

9- مجموعة الوقود والمياه وتشمل تخزين زيت النفط وشبكة توزيعه، وشبكة توريد المياه المحلاة ومعدات تخزينها ومعدات توزيع الغاز الطبيعي.

10- الأعمال الأرضية والهياكل الخاصة بمعدات مياه التبريد والطرق وساحات الانتظار ونظام صرف مياه الأمطار والمجاري والخزانات وأساسات محطة التحلية والمداخن ونظام توزيع مياه الشرب وأنفاق الكوابل وأساسات المحولات الكهربائية وأساسات الغلايات.

11- مبنى محطة الكهرباء وتحلية المياه ويشمل مبنى توليد الكهرباء ومبنى الإدارة ومبنى الورشة ومبنى الترفيه ومبنى التحكم في محطة التحلية ومبنى المضخات ووحدة الكلور ومبنى مضخة الوقود ومخزن الكيماويات ومبنى غلايات التحلية والممرات ذات المظلات والإضاءة الداخلية للحجرات غير الصناعية.

وتتكون محطة الكهرباء من 6 وحدات بخارية لتوليد الطاقة يسمى نوع التوربينية في هذه المحطة بـ (Reaction Connect type)، حيث يتجه البخار في هذا النوع من التوربينات إلى الريش الثابتة والتي بدورها تعكس على الريش المتحركة وتدور التوربينية، ومن أجزاء التوربينية المكثف الذي يقوم بتكثيف البخار الذي تم استخدامه في عملية تدوير التوربينية ويعاد استخدامه على هيئة مياه يتم استخدامها ثانية.

يوجد عدد اثنان من الخزانات اليومية بسعة 1000 متر مربع لكل خزان يتم تزويده من الخزانات الرئيسية عن طريق مضخة الزيت الثقيل (RFO Transfer Pump) ويتم التحكم بمستوي الزيت عن طريق مسخن الزيت الأرضي وكذلك مسخن السحب حيث ترفع درجة الحرارة إلى 80 درجة مئوية بواسطة البخار.

يتم التحكم في ضغط الغاز الطبيعي عن طريق صمام تحكم حيث يتم توزيعه بمحطة القدرة والتحلية [18].

7. تكلفة التوليد للمحطة محل الدراسة

في كل المشروعات الهندسية تكون مسألة التكلفة ذات أهمية عظيمة. وهو الدور الملعب بواسطة المهندسين لتحقيق النتائج الفنية المرغوبة بأقل التكاليف والتي يمكن تحقيقها بواسطة شخص غير مهندس ولكن بتكاليف أكبر، حيث في صناعة إنتاج الطاقة عادة ما يكون هناك أكثر من خيار، حيث إما معدات ذات كفاءة عالية بتكلفة عالية أو معدات بتكلفة منخفضة وبكفاءة منخفضة، ففي الحالة الأولى ستكون الأجور والتكاليف أعلى بسبب سعر الفائدة والإهلاك مع فاتورة طاقة أقل بالمقارنة بالحالة الثانية، والمهندس عليه أن يوازن بحيث يكون الإنفاق السنوي الإجمالي أقل ما يمكن، ولهذا يجب معرفة تكوين الإنفاق السنوي والعوامل التي تؤثر عليه، حيث يمكن أن يقسم هذا الإنفاق لمحطة قدرة إلى عناوين مختلفة.

1-7 التكاليف الثابتة: وهي التي لا تتغير مع سعة المحطة أو مع تشغيلها أي أنها مستقلة عن حجم إنتاج المحطة وتشمل أساساً أجور العاملين وإيجارات الأرض المعدة للتوسع مستقبلاً.

2-7 التكاليف النصف ثابتة: وهي التي تتوقف على السعة المركبة للمحطة ومستقلة عن خرج الطاقة الكهربائية للمحطة وتشمل: أ- سعر الفائدة والإهلاك على التكاليف الرأسمالية للمحطة شبكة النقل والتوزيع، المباني والأعمال المدنية الأخرى وغيرها.

ب- كل أنواع الضرائب والتأمينات وكذلك التعويضات التي تعطى سنوياً للعاملين.

ج- أجور الأطقم الميدانية للعمالة والتي تتوقف على مساحة المحطة أو مساحة توزيع القدرة.

د- الإيجار المدفوع للأرض فعلياً.

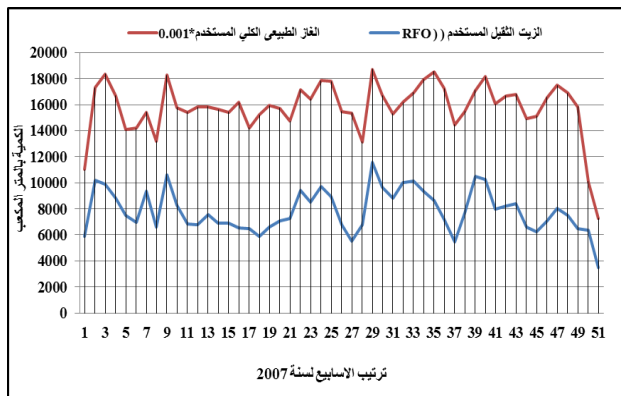
3-7 التكاليف المتغيرة: تتوقف على عدد ساعات التشغيل أو عدد الوحدات الشغالة وتشمل:

أ- تكاليف الوقود .

ب- أجور أطقم الصيانة والتشغيل والمشرفين على التشغيل.

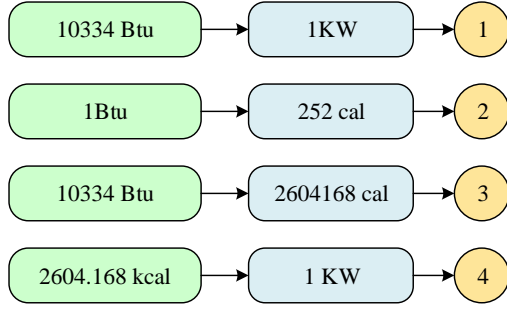
ج- وفي حالة المحطة الحرارية تكاليف إمداد الغلاية بالمياه.

الشكل (2) يوضح كمية الوقود الذي تم استخدامه في المحطة محل الدراسة سواءً كان زيت ثقيل أو غاز طبيعي لسنة 2007 [18]. حيث يمكن تحويل هذه الكميات إلى قيم حسب سعر النفط للفترة المحددة.



شكل (2) كمية الغاز الطبيعي والزيت الثقيل المستخدم في إنتاج الطاقة لسنة 2007

والشكل (3) يبين كمية الطاقة التي تم إنتاجها خلال سنة 2007 من الزيت الثقيل والغاز الطبيعي كل على حدة وذلك في المحطة محل الدراسة [18]. حيث يمكن تحويل هذه الكميات إلى قيم حسب سعر الكيلو وات ساعة .

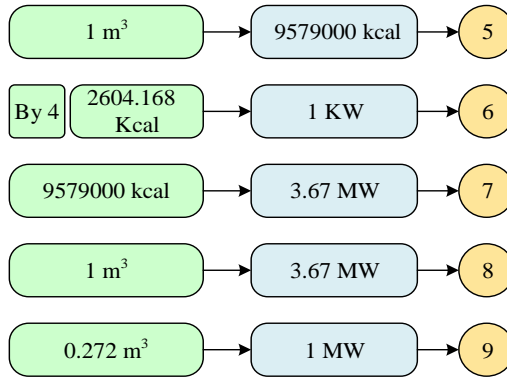


شكل (4) القيمة الحرارية لإنتاج كيلوات واحد عند حرق الزيت الثقيل

من كتب التشغيل والصيانة المعدة من قبل الشركة المصنعة تم الحصول على أن القيمة الحرارية للزيت الثقيل هي: (10300 kcal/kg)، وبما أن البيانات الموجودة لدينا بالميتر المكعب للزيت لذلك يتم تحويل هذه القيمة إلى كيلو كالوري لكل متر مكعب وذلك باستخدام كثافة الزيت وعند البحث عن كثافة الزيت الثقيل وجد أنها تساوي (930 kg/m³)، وبالتالي تكون القيمة الحرارية للزيت لكل متر مكعب كالتالي:

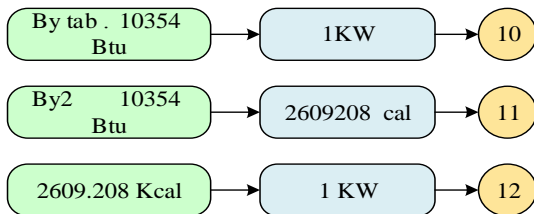
$$\text{Heat Rate(R.F.O)} = 10300 \text{ kcal/kg} \times 930 \text{ kg/m}^3 = 9579000 \text{ kcal/m}^3$$

والشكل (5) يوضح كيفية إيجاد حجم الزيت الثقيل الذي ينتج ميجاوات واحدة.



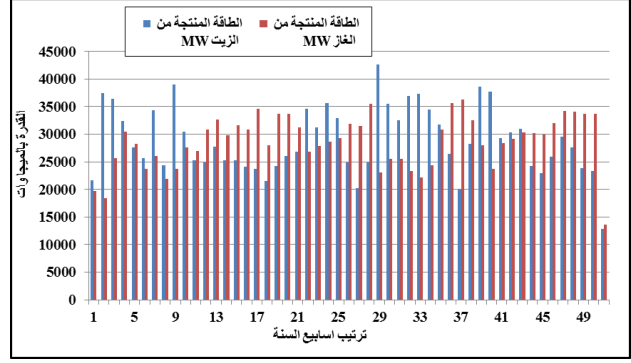
شكل (5) الحجم المطلوب من الزيت الثقيل لإنتاج ميجاوات

والشكل (6) يوضح القيمة الحرارية (بالكيلوكالوري) التي تقابل إنتاج كيلوات واحد، وذلك عند استخدام الغاز الطبيعي كوقود احتراق عن طريق المعلومات الموجودة في الجدول (3).



شكل (6) القيمة الحرارية لإنتاج كيلوات واحد عند حرق الغاز الطبيعي

من كتب التشغيل والصيانة المعدة من قبل الشركة المصنعة تم الحصول على أن القيمة الحرارية للغاز الطبيعي، هي: (9368 kcal/m³)، والشكل (7) يوضح كيفية إيجاد حجم الغاز الطبيعي المطلوب لإنتاج ميجاوات واحدة.



شكل (3) كمية الطاقة المنتجة من حرق كل نوع من أنواع الوقود لسنة 2007

8. حساب تكلفة انبعاثات (CO₂) للمحطة محل الدراسة

هناك قوة دفع متزايدة منذ عام 2012 باتجاه تسعير انبعاث الكربون، وعدد كبير من الندوات والميزانيات تخصص لتسعير انبعاث الكربون منها ما تم تنفيذها ومن المقرر مضاعفتها 20-38 مرة، وتبلغ قيمتها نحو 50 مليار دولار، وتم توضيح هذا التقدم في التقرير الذي أطلقه البنك الدولي [20]. إن تعقب انبعاث الكربون غير اللغة المالية لتغيير المناخ، وتعقب الكربون هو ليس من أجل الربح المالي بل فكرة تهدف إلى تمكين مناخ آمن لسوق طاقة عالمية من خلال إجراءات مالية مواءمة مع واقع المناخ، وقد حصل موضوع تعقب انبعاث الكربون على جائزة الأعمال المستدامة الجارديان للإبداع في التواصل والاستدامة مايو 2014 ومايو 2015 [21]. بحساب كميات ثاني أكسيد الكربون المنبعثة من المحطة محل الدراسة وذلك باستخدام ما هو مسجل من بيانات لكميات إنتاج الطاقة لعدة سنوات في المحطة محل الدراسة والتي تمثل تكلفة وتأثيراً على البيئة متمثلة في غاز ثاني أكسيد الكربون، وفي هذه المحطة يتم استخدام نوعان من الوقود في الاحتراق وهما الغاز الطبيعي (N.G) ووقود الزيت الثقيل (R.F.O) في معظم الأحيان يتم الاحتراق بخليط من هذين النوعين، ولكي نحسب كمية الانبعاث من ثاني أكسيد الكربون يجب أن نعرف نسبة كمية كل من الغاز الطبيعي والزيت الثقيل التي استخدمت لإنتاج هذه الكميات من الطاقة وبالتالي كمية الانبعاث الناتج من احتراق كل نوع من هذين النوعين من الوقود ومن الجدول (3) لدينا كمية الحرارة لكل نوع وما يقابلها من إنتاج الطاقة.

الجدول (3) كمية الحرارة لكل نوع وما يقابلها من إنتاج الطاقة [22]

Fuel	Pounds of CO per Million Btu	Heat rate Btu per kWh	Pounds of CO ₂ per kWh
Bituminous	205.300	10,089	2.07
Sub-bituminous	212.700	10,089	2.15
Lignite	215.400	10,089	2.17
Natural gas	117.080	10,354	1.21
Distillate oil (No. 2)	161.386	10,334	1.67
Residual oil (No. 6)	173.906	10,334	1.80

والشكل (4) يوضح القيمة الحرارية (بالكيلوكالوري) التي تقابل إنتاج كيلوات واحد، وذلك عند استخدام الزيت الثقيل كوقود احتراق عن طريق المعلومات الموجودة في الجدول (3).

- 4- تغيرت التكاليف النصف ثابتة بسبب تقادم شبكة النقل والتوزيع، المباني والأعمال المدنية الأخرى وغيرها.
- 5- أما التكاليف المتغيرة التي تعتمد على عدد ساعات التشغيل أو عدد الوحدات الشغالة وتشمل انخفضت كثيراً بسبب توقف اغلب وحدات التشغيل عن العمل وتقليل عدد ساعات عملها.
- 6- على الرغم من أن ليبيا بلد منتج للنفط فإن تكاليف الوقود يمكن حسابها على أساس سعر النفط للفترة التي سجلت فيها القراءات حيث يمكن تحويل القيم بالشكل (2) إلى كلفة مالية.
- 7- ازدادن أجور أطقم الصيانة والتشغيل والمشرفين على التشغيل لسببين الأول تقادم المرفق والثاني ازدياد عدد العاملين بهذه الورش للمحطة.
- 8- من الشكل (3) يمكن تحويل الطاقة المنتجة حسب الأسابيع إلى قيمة محسوبة يمكن اعتمادها في المقارنة مع الكلفة الإجمالية.
- 9- من المعلومات الموجودة في الجدول (3) يتضح أن القيمة الحرارية المتحصل عليها من الغاز الطبيعي أكبر من الزيت الثقيل، الشكل (4) والشكل (6) الخاصة بالمحطة يدعمان قيم الجدول.
- 10- الشكل (8) و الشكل (9) يبينان وزن ثاني أكسيد الكربون الناتج من إنتاج كيلوات واحد، من حرق الزيت الثقيل والغاز الطبيعي حيث يتضح أن الزيت الثقيل يسبب تأثيرات بيئية أكبر.
- 11- أن الكلفة المترتبة على الشركة الليبية للحديد والصلب بسبب كمية CO₂ الناتجة من توليد قد تكلفها دفع مبالغ كبيرة وحسب وعلى فرض أن أدنى ضريبة انبعاثات تدفعها الشركة للطن الواحد 22.8 يورو حسب الاتحاد الأوروبي [18].

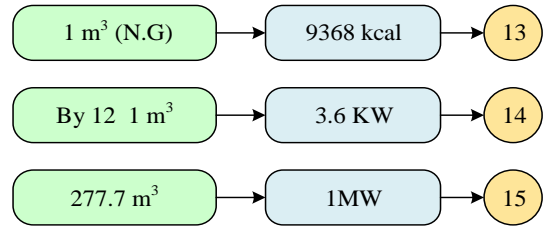
المراجع

- [1] ابراهيم جاويش، ترشيد استهلاك الطاقة نحو اقتصاد أفضل وبيئة آمنة، مجلة جامعة دمشق، المجلد السادس عشر، العدد الأول، 2000.
- [2] اقتصاديات الطاقة في الوطن العربي، المنظمة العربية للتنمية الإدارية، ندوة في الشارقة - دولة الإمارات العربية المتحدة 16-18 ديسمبر 2013.
- [3] وحيد مصطفى احمد، النظرية والتطبيق نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية، الطبعة الأولى، دار الكتاب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة، 2008.
- [4] التكلفة العالية تحد يواجه إنتاج المياه والطاقة بالسعودية، عربي اونلاين، 3 ديسمبر 2013.
- [5] شبكة المعلومات الدولية:نعيم محمد قذاح، الترشيح في استهلاك الطاقة والعمل على تنويعها، موقع جمعية حماية البيئة والتنمية المستدامة، عنوان الرابط:

<http://www.env-pro.org/activities/article 1.htm>

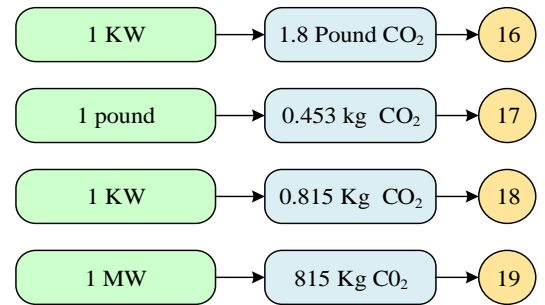
- [6] محمد احمد السيد خليل، مصادر الطاقة والبيئة، الطبعة الأولى، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة، 2009.

- [7] Reddy V.; Kaushik S.; Tyagi S. ; Panwar N. 2010. An Approach to Analyse Energy and Exergy analysis and evaluation of coal-fired supercritical thermal power plant . Copyright Scientific Research Publishing, Scholarly Journals, (Nov 2010) 143-152.
- [8] Venkata Seshendra Kumar Karri 2012. A Theoretical Investigation of Efficiency Enhancement in Thermal Power Plants. Modern Mechanical



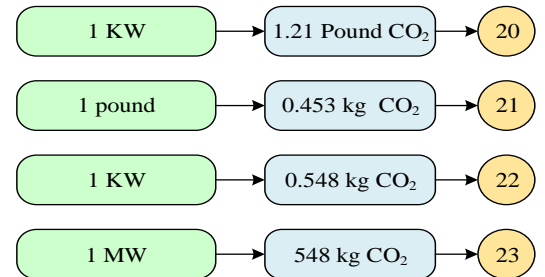
شكل (7) الحجم المطلوب من الغاز الطبيعي لإنتاج ميجاوات واحدة

وبعد إجراء هذه الحسابات يمكننا معرفة كم كمية الزيت الثقيل وكذلك كمية الغاز الطبيعي المستخدمة في إنتاج الطاقة بالمحطة وذلك طبقاً للأرقام الموجودة في التقارير الأسبوعية وبيانات المحطة من إنتاج الطاقة للسنوات الماضية، ومن ثم حساب كمية انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون من الجدول (3) الذي به معدل انبعاث ثاني أكسيد الكربون، والشكل (8) يبين وزن ثاني أكسيد الكربون من إنتاج كيلوات واحد، وأيضاً من إنتاج ميجاوات واحدة من حرق الزيت الثقيل.



شكل (8) كمية CO₂ الناتجة من توليد ميجاوات واحدة عند حرق الزيت الثقيل

والشكل (9) يبين وزن ثاني أكسيد الكربون من إنتاج كيلوات واحد، وأيضاً من إنتاج ميجاوات واحدة من حرق الغاز الطبيعي.



شكل (9) كمية CO₂ الناتجة من توليد ميجاوات واحدة عند حرق الغاز الطبيعي

9. الاستنتاجات

- استدلالاً بالجانب النظري للبحث والنتائج التي تم التحصل عليها بعد تحليل البيانات الخاصة بمحطة الكهرباء والتحلية بالشركة الليبية للحديد والصلب يمكن استنتاج ما يلي:
- 1- اختيار طريقة إنتاج الطاقة الكهربائية وجدواها الاقتصادية يختلف وفقاً لنوع موارد الطاقة المتوفرة في البلد.
- 2- إن لكل من المحطات التي تعتمد على الوقود الأحفوري أو التي تعتمد على مصادر الطاقة المتجددة لها إيجابيات وسلبيات.
- 3- على الرغم من أن أجور العاملين تعتبر من الكلف الثابتة إلا أن زيادة عدد العاملين بالشركة الليبية للحديد والصلب قد تسبب في تغيير هاذ العامل وتأثيره السلبي على الكلفة الإجمالية.

- [17] عياد كعبة 2014، دراسة مدى تطبيق تقنيات الإدارة الهندسية الحديثة في التقليل من ظاهرة التلوث البيئي في محطات توليد الطاقة الكهربائية، أكاديمية الدراسات العليا، مصراتة.
- [18] ستار العيساوي، سليم حبريشة 2016، تأثير نوع الوقود على انبعاث الملوثات البيئية الناتجة من محطة التوليد للشركة الليبية للحديد والصلب مصراتة ، المؤتمر الثاني لعلوم البيئة، الجامعة الأسمرية الإسلامية، زلتن-ليبيا، 15-17 ديسمبر 2016.
- [19] محمد منير مجاهد 2002، مصادر الطاقة في مصر وآفاق تنميتها، المكتبة الأكاديمية، مصر.
- [20] State and Trends of Carbon Pricing 2015, Report Washington DC, WORLD BANK GROUP, September 2015.
- [21] شبكة المعلومات الدولية: بدون اسم كاتب، What is Carbon Tracker? موقع: Carbon Tracker Initiative، تاريخ الإضافة 2015، تاريخ الزيارة: 2015/10/11، عنوان الرابط: <http://www.carbontracker.org>
- [22] شبكة المعلومات الدولية: بدون اسم كاتب، How much carbon dioxide is produced per kilowatt-hour when generating U.S Energy Information Administration، موقع: electricity with fossil fuels?، تاريخ الإضافة 2015، تاريخ الدخول: 2015/11/10، عنوان الرابط: <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=74&t=11>
- Engineering, Vol.2 No.3(2012), Article ID:22204,8 pages, DOI:10.4236/mme.2012.23013.
- [9] Gilberto Francisco, Fernando Jesus, Leonan dos Santos, Carmen Elena 2012. Combined Cycle Gas and Steam Turbine Power Plant Reliability Analysis. Springer Series in Reliability Engineering, 04 Jan 2012, pp 221247.
- [10] Ravinder Kumar, Avdresh K. , P. C. Tewari 2014. Thermal Performance and Economic Analysis of 210 MWe Coal Fired Power Plant. Journal of Thermodynamics, Volume 2014 (2014), Article ID 520183, 10 pages.
- [11] Genesis M., Davison Z., Wellington T., Samson M. 2012. Energy Efficiency Improvement in Thermal Power Plants. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), ISSN: 2278-3075, Volume-2, Issue-1, December 2012.
- [12] Dan H., Shuai S., Yun Z., Su L., Yu C., Shu S., 2012. Exergy analysis of a thermal power plant using a modeling approach. Clean Technologies and Environmental Policy, October 2012, Volume 14, Issue 5, pp 805813.
- [13] Kevin U., David W., 2012. Desert Power: The Economics of Solar Thermal Electricity for Europe, North Africa, and the Middle East. Working Paper 156, Read the Blog Post - Europe is Left in the Cold to Ponder North Africa's Solar Energy Potential (January 8, 2009).
- [14] F. Ahwide, Y. Aldali, 2013. The Current Situation and Perspectives of Electricity Demand and Estimation of Carbon Dioxide Emissions and efficiency. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering Vol:7, No:12, 2013.
- [15] مقدار مهنا 2016، اقتصاد الطاقة في سورية، (كلنا شركاء) 2006/1/2.
- [16] محمد احمد السيد خليل 2009، مصادر الطاقة والبيئة، الطبعة الأولى، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة.