استخدام الوقود النووي في محطات توليد القدرة الكهربائية

حسين صالح حسن
كلية العلوم / جامعة 7 أكتوبر

مصادر الطاقة.

اليورانيوم (U^{235}) : كان ولازال الخشب هو المصدر الرئيسي للطاقة في أجزاء كثيرة من العالم وفي منتصف القرن التاسع عشر حل الوقود الحجري (الفحم) محل الخشب ثم الزيت والنفط بدلا من الفحم وهكذا سيطغى الوقود النووي على بقية أنواع الوقود مستقبلا[1]. وتصنف موارد الطاقة إلى نوعين :

1. الموارد **التقليدية**: مثل النفط والغاز والفحم وطاقة الجريان المائية.
2. الموارد **الجديدة والمتجددة** : مثل طاقة التفاعلات النووية والطاقة الشمسية والجريان الرياحي والجريان المائي على اليابسة والطاقة الجيوحرارية .

تعتبر الحرارة و الكهرباء من الأشكال الطاقية الرئيسية المستخدمة في الوقت الحاضر، ويجرى تحويل الطاقة في مختلف الآلات والأجهزة. ففي محطات البخار يجرى تحويل الطاقة الكيميائية للوقود إلى طاقة حرارية وفي التوربينة البخارية يتم تحويل الحرارة التي يحملها البخار إلى طاقة ميكانيكية تتحول بدورها فيما بعد في المولد الكهربائي إلى طاقة كهربائية .

إن عملية استخدام الوقود النووي في الحصول على الطاقة الحرارية دون الاحتياج إلى المفاعل النووي الذي تتم فيه هذه العملية ومفاعلات الماء المضغوط هي الأكثر انتشارا حيث ثبت أنها آمنة وتحظى بأكبر سجل في الخبرة التشغيلية ومعالجة الأعطال واتجاه التطوير بزيادة قدرة المفاعل إلى (1400Mw) كهربائي مع خفض (5 %) من التكاليف. بالإضافة إلى تبسيط

[1]- Basic Nuclear Engineering / Arthur R.Foster

التصميم إلى حد كبير لتسهيل الصيانة والتشغيل وتجنب الأعطال وخفض تكلفة الإنشاء .

إن الوقود النووي المستخدم بشكل رئيسي في مخطات توليد الطاقة الكهربائية هو اليورانيوم(U^{235}) وبتفاعل متسلسل, حيث يبدأ التفاعل المتسلسل في (U^{235}) بنيوترون واحد بطيء طاقته (0 - 0.1 Kev) فيشطر إحدى الأنوية وينتج نيوترونين أو ثلاثة تعمل على شطر أنوية أخرى وهكذا يزداد عدد النيوترونات الناتجة وبالتالي عدد الأنوية المنشطرة تدريجيا حتى يتم شطر كل أنوية الكتلة المعنية تقريبا وانطلاق طاقة هائلة نتيجة لذلك .ويمكن أن تبقى بعض النوى دون انشطار بسبب بعض التغيرات في تشغيل المفاعل تؤدي إلى إيقاف الانشطار المتسلسل.

ومن شروط إتمام التفاعل المتسلسل في اليورانيوم (U^{235}) أن يكون اليورانيوم (U^{235}) نقيا وخاليا من اليورانيوم (U^{238}) الذي يأسر النيوترونات السريعة الناتجة من انشطار اليورانيوم (U^{235}) فلا يتم التفاعل المتسلسل. أن تكون كمية اليورانيوم ذات حجم (يسمى الحجم الحرج) لا يسمح بهروب النيوترونات ويحتفظ بها داخل كتلة اليورانيوم ليستمر التفاعل المتسلسل .

لا توجد في الطبيعة نظائر مشعة للنيوترونات وقد أمكن في السنوات الأخيرة إنتاج نظير الكاليفورنيوم (CF_{98}^{252}) كنظير صناعي للنيوترونات وبعمر نصف (2.65 سنة). كذلك تعتبر التفاعلات النووية المختلفة مثل تفاعلات الانشطار و الاندماج النووي هي المصدر الوحيد للنيوترونات . وذلك يتم داخل مفاعلات تتراوح كثافة النيوترونات داخلها (10^{13} - 10^{19} Neutrons/cm^2 .S) الناتجة عن انشطار أنوية اليورانيوم.

إننا لا ننكر وجود مصادر أخرى للطاقة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة حرارة الأرض وغيرها , ولكنها ما زالت غير مستعملة تجاريا وتحت البحث , والذي شجع على استخدام الطاقة النووية كبديل عن مصادر الطاقة التقليدية هو كمية الطاقة الهائلة التي يولدها احتراق (تفاعل نووي) كمية ضئيلة من الوقود النووي .

إن احتراق (تفاعل نووي) جرام واحد من اليورانيوم يحرر طاقة مقدارها (20 M k cal) أو(23000 Kw.hr) وهي أكثر من مليوني ضعف الطاقة التي تتحرر من احتراق نفس الكمية من النفط أو الفحم. وهذا يعني أن

الطاقة التي تتحرر من احتراق طن واحد من اليورانيوم تكافئ الطاقة المتحررة من أكثر من مليوني طن من أجود أنواع الفحم .

إن كل انشطار لنواة ذرة اليورانيوم (U^{235}) تطلق ما يعادل (194.7Mev) بشكل طاقة حرارية, ينتشر منها (154.7 Mev) في المكان الذي يحصل فيه الانشطار. وبمعنى آخر إن انشطار (1 kg) من (U^{235}) الذي يحتوي على ($2.56x10^{24}$ atom) يمكن أن يطلق طاقة حرارية هائلة تساوي:

$E= 194.7x2.56x10^{24} =498.4x10^{24}$ Mev $= 498.4x10^{24}x10^{6}x1.6x10^{-19}$

$E = 7.97x10^{13}$ J $= 7.97x10^{10}$ KJ

وهذه الطاقة تعادل حوالي (23 M kw.hr) وهي تتناسب مع الطاقة التي يمكن أن يطلقها (2700) طن من الفحم حينما يحترق بشكل كامل .

إن المحطة الكهربائية التي تحتاج إلى ملايين الأطنان من الفحم أو النفط سنويا يمكنها أن تكتفي ببضعة أطنان من اليورانيوم وهذا يعني توفير إمكانيات كبيرة بسبب الاستغناء عن أمور كثيرة منها المناجم والاستخراج والتصفية والتكرير والنقل والمخازن و .... الخ. لذلك انتشرت المحطة حيث بلغ عددها أكثر من (1000)[1] محطة مختلفة الأنواع والقدرة النووية في العالم, أولها محطة الطاقة النووية في كالدرهول في بريطانيا التي أنشأت عام1956 .[2]

اليورانيوم

يوجد اليورانيوم بنسب مختلفة مع الفوسفات والنحاس والذهب وغيرها , فمثلا يوجد مع الفوسفات تقريبا بنسبة (3 %) [3] وهذا يعني أن استخراج طن واحد من اليورانيوم قد يتطلب استخراج آلاف الأطنان من الخامات الأخرى , علما بان كلفة الاستخراج تكلف في الوقت الحاضر (80- 130)[4] دولار للكيلوجرام الواحد .

يوجد اليورانيوم الطبيعي (U_3O_8) بشكل ثلاثة نظائر هي :

(U_{92}^{238}) ونسبة وفرته في الطبيعة (99.3 %).

(U_{92}^{235}) ونسبة وفرته في الطبيعة (0.7%).

[1]- عن :الذرة / د.حسن محمد اطيمش / الطبعة الأولى 990إف

[2]- عن :الذرة / د.حسن محمد اطيمش / الطبعة الأولى 990إف

[3]- عن الذرة / د حسين محمد اطيمش / الطبعة الأولى 990إف

[4]- عن الذرة / د حسين محمد اطيمش / الطبعة الأولى 990إف

(U_{92}^{234}) ونسبة وفرته كمية قليلة جدا .

إن الاحتياطي العالمي من اليورانيوم حوالي (15) مليون طن , وعليه فإن الاحتياطي من اليورانيوم (U_{92}^{235}) يبلغ حوالي (100) ألف طن فقط .[1]

يمكن أن تقتنص نواة اليورانيوم (U_{92}^{235}) نيوترون بطيء فتتحول إلى نواة مركبة غير مستقرة و سرعان ما تنشطر إلى نواتين متوسطتين يصاحب ذلك انبعاث نيوترونات وتحول قسم صغير من الكتلة إلى طاقة هائلة وكما في التفاعل التالي :

$$Ba_{56}^{141} + Kr_{36}^{92} + 3n_0^1 \longrightarrow U_{92}^{236} \longrightarrow n_0^1 + U_{92}^{235}$$

إن الطريق الذي يسلكه اليورانيوم بدءاً بالخام وانتهاءاً بالنفايات المشعة يسمى دورة الوقود النووي بالرغم من أنه لا يمثل حلقة مغلقة و إن الوقود المستخدم في المفاعل يتغير أثناء التشغيل بالشكل التالي:

1. مكونات الوقود الأولية تستنفذ بالتدريج.
2. عناصر اليورانيوم الانتقالية تتكون بسبب امتصاص النيوترون .
3. كمية نواتج الانشطار وتزداد باستمرار بسبب التفاعل المستمر تلقائيا .

مولدات القوى.

إن الأشعة النووية يمكن أن تتحول مباشرة إلى كهرباء حيث إن الالكترونات (دقائق بيتا) التي تنطلق من النظير المشع تتجه إلى الإلكترود ، لذلك فإن المصدر المشع يوضع بشكل معزول في اتجاه محور الإلكترود ومحاط بواسطة وصلات جامعة وهذا الترتيب يعطي تدفق كهربائي شدته $(10^{-11}\text{-}10^{-10})$ (A خلال آلاف الفولتات .[2]

فإذا تعرضت أشباه الموصلات للإشعاع بواسطة دقائق بيتا فإنها ستنتج كهربائية بفولتية منخفضة (v 0.3 – 0.2).[3] ومن عيوبها هي أن الإشعاع يهلك أشباه الموصلات بعد أسابيع قليلة من الاستعمال.

[1]- عن الذرة / د حسين محمد اطيمش / الطبعة الأولى 1990ف
[2]- عن / الكيمياء الذرية والمشعة / د. أبو القاسم عمر أحميدة
[3]- عن / الكيمياء الذرية والمشعة / د. أبو القاسم عمر أحميدة

إن تعريض أشباه الموصلات إلى التشعيع بواسطة النيوترونات يعتبر المفتاح الأساسي لإنتاج الكهرباء , فطبقة البورون مثلا عندما يتم تعريضها لشعاع من النيوترونات الحرارية فإنها تشع جسيمات ألفا التي تتجه للألكترود الذي بدوره سيحولها إلى طاقة كهربائية , ويمكن رفع الفاعلية بواسطة استخدام نيوترونات سريعة جدا .

الوقود المستهلك.

إن هدف إعادة فعالية الوقود المستهلك هو فصل النواتج المختلفة المتراكمة في الوقود المستهلك ، ولاستخلاص البلوتونيوم المتكون ، واليورانيوم الذي لم يستخدم ولإنتاج عناصر وقود جديدة من الوقود المستهلك . علما بأن إعادة المعالجة تؤدي مثلا إلى استخلاص (85 %) من فعالية الفضلات السائلة وهى إحدى أنواع الفضلات أو النفايات بالإضافة إلى الغازية والصلبة .

تطرح كميات هائلة من النفايات الأولية وتقدر بحدود (120) مليون طن أواخر الثمانينات وارتفعت إلى حوالي (1000) مليون طن مع نهاية (2000ف).

يتم التخلص من النفايات المشعة بإحدى الطرق التالية :

1. تصريفها إلى الجو أو مع وسائل الصرف الصحي أو الأنهار والبحار.
2. تخزينها لفترة معينة إلى أن تقل شدتها الإشعاعية ثم يتم تصريفها.
3. التخلص فيها بالدفن في الأماكن غير المأهولة أو في أعماق المحيطات .

ويعتمد اختيار الطريقة على عدة عوامل مثل كمية ونوع المواد المشعة و خصائصها الفيزيائية والكيميائية والظروف الجغرافية للمكان ومع ذلك تكون هناك نسبة من المخاطر الإشعاعية.

المفاعل النووي.

هو جهاز الغرض منه السيطرة على عملية الانشطار النووي المتسلسل والناتج عن وضع كمية من الوقود النووي ثم تعريضها إلى مصدر نيوتروني .

يتكون المفاعل النووي كما في الشكل (1) من الأجزاء الرئيسية التالية :

القلب (core): عبارة عن مكعب ضخم يوضع في داخله الوقود والمهدئ والمبرد حيث يحدث التفاعل المتسلسل وتتولد الطاقة.

الوقود(fuel) : يتكون من قضبان من المواد الانشطارية مثل اليورانيوم وتكون مغلفة بغلاف جيد يحميها من التآكل والتأكسد .

المهدئ (moderator) : و يستخدم الجرافيت النقي (الكربون) أو الماء الثقيل (D_2O) كمهدئات والغرض من المهدئ هو إبطاء سرعة النيوترونات العالية الطاقة حيث تصبح السرعة ملائمة لحدوث التفاعل المتسلسل .

قضبان السيطرة (control rods): الغاية منها السيطرة على سرعة عمليات التفاعل المتسلسل فهي تتكون من مواد لها قابلية كبيرة على امتصاص النيوترونات مثل البورون و الكادميوم .

المبرد (coolant) : هو المادة التي تستعمل في تبريد قلب المفاعل وتخليصه من الحرارة كي لا ينصهر , وتجري عملية التبريد بواسطة الغازات مثل غاز ثاني أوكسيد الكربون المضغوط أو الماء الاعتيادي أو الصوديوم السائل.

القبة الأسمنتية : هذه الأجزاء السابقة محتواة داخل جدار المفاعل السميك الذي غالبا ما يكون من الكونكريت المسلح (القبة الأسمنتية) لمنع نفاذ النيوترونات والأشعة .

تصنف المفاعلات النووية وفقا إلى:

1. نوع الوقود المستخدم .
2. طاقة النيوترونات التي تشطر الوقود .
3. المهدئات المستخدمة في تخفيض سرعة النيوترونات العالية .
4. ترتيب الوقود والمهدئ بشكل متجانس مع بعضها أو غير متجانس .
5. حسب الغرض من المفاعل من حيث استخدامها للبحوث أو لتوليد الطاقة الكهربائية أو إنتاج المواد المنشطرة واستخدامات كثيرة أخرى .
6. التبريد : لتخليص المفاعل من الحرارة المتولدة بسبب الانشطار النووي .

مفاعلات القوى.

إن المفاعلات التي تبنى لغرض إنتاج الطاقة الكهربائية أو الحرارية تسمى مفاعلات القوى, وإن أغلب المحطات التي تعمل بالطاقة النووية في الوقت الحاضر تحتوي على مفاعل نووي يبرد إما بالماء المضغوط (PWR) كما في الشكل (2), أو يبرد من خلال تلطيفه بالماء المغلي (BWR) كما موضح في الشكل (3), كما توجد مفاعلات تبرد بالماء الثقيل (HWR) وأخرى

تبرد بالغاز (GCR) وهناك مفاعلات التوليد السريعة (LMFBR) ويتم تبريدها بواسطة المواد السائلة. [1]

إن أفضل هذه المفاعلات لإنتاج الطاقة الكهربائية هي مفاعلات الماء المضغوط.[2] وهو أول مفاعل تجاري صمم وبني لتوليد الطاقة الكهربائية وهو مفاعل غير متجانس.[3]

إن الوقود المستخدم في مثل هذه المفاعلات يتألف مما يقارب من (40-80) طنا من اليورانيوم منخفض التخصيب ويتم تغير ثلث هذه الكمية كل سنة والقدرة الناتجة من كل (ديسيميتر مكعب واحد) في قلب المفاعل هي (100kw) , كما أن الطاقة الناتجة التي يمكن أن يصل إليها المفاعل (30 - 40Gw) يوميا لكل طن من الوقود , وكفاءة المفاعل من هذا النوع تصل إلى (33%). [4]

في مفاعل الماء المضغوط ثنائي الأطر(ثنائية الدورة) تكون درجة حرارة مخرج قلب المفاعل بحدود (340 °C) أي (650 °F) وضغط الماء (15.5 Mpa) في الدورة الابتدائية بينما تكون في الدورة الثانوية إنتاج بخار بحدود (290 °C) أي (550 °F) وضغط (7.2 Mpa) , ولأن شروط البخار في مفاعل الماء المضغوط (PWR) هي بالضرورة نفسها في مفاعل الماء المغلي (BWR) فإن دورة توربين المولد فيهما متماثلة وبقيمة مثالية للكفاءة الحرارية (بحدود 34%).[5]

التحكم في قدرة المفاعل.

تعتمد قدرة المفاعل النووي على عدد نوى اليورانيوم المنشطرة في الثانية الواحدة و هي بدورها تتناسب مع عدد النيوترونات المتوفرة في المفاعل ، و إذا افترضنا أن المفاعل مصمم بحيث يزيد عامل الكفاءة الفعال (كذلك يسمى معامل التضاعف) (K_{eff}) عن (1) بقليل بحيث يزداد عدد نوى اليورانيوم المنشطرة في الثانية الواحدة باستمرار و بالتالي تزداد قدرة المفاعل , وعندما تصل قدرة المفاعل إلى الحد المطلوب تعدل ظروف عمل المفاعل بحيث يصبح

---

[1]- الكيمياء الذرية و المشعة / د. أبو القاسم عمر أحميدة.
[2]- عن / الطاقة النووية والمفاعلات النووية لتوليد الطاقة / د. كمال عفت .
[3]- عن / الذرة /د. طالب ناهي الخفاجي .
[4]- عن / الكيمياء الإشعاعية و الذرية / د. أبو القاسم عمر أحميدة
[5]- Nuclear Energy Technology / 1981

عامل الكفاءة الفعال (K_{eff}) مساويا إلى (1)[1]، وهنا يتساوى عدد النيوترونات المتولدة مع عدد النيوترونات المفقودة .

وبما أن ($KP = K_{eff}$) حيث (k و p) ثوابت يعتمدان على نوع المفاعل و سعته على التوالي فلغرض تغيير قيمة (K_{eff}) لابد من التحكم بقيمة (P) وذلك باستعمال قضبان السيطرة الماصة للنيوترونات , وهكذا ستقل قيمة(K_{eff} و P) .

إن الفيض في عامل الكفاءة (K_{exc}) يساوي :

$$K_{exc}=K_{eff}-1$$

ترتبط (K_{exc}) مع فاعلية المفاعل (Q) بالعلاقة :

$$\frac{K_{exc}}{K_{eff}}=\frac{K_{eff}-1}{K_{eff}}=Q$$

ففي التشغيل العادي للمفاعل يكون (Q) قريب من (0) وفي الحالة الحرجة (أي عندما $K_{eff} = 1$) تكون (Q = 0). وعندما تكون (Q < 0) يصل المفاعل إلى ما يسمى بالحالة تحت الحرجة .

تحلية مياه البحر.

تتلخص عملية تحلية مياه البحر في أن الحرارة العالية الناتجة عن التفاعلات النووية تعمل على تبخير الماء تاركا الأملاح ومن ثم يمرر البخار الناتج على المكثف فيعمل على تكثيفه وتحويله إلى ماء عذب يستخدم في الشرب وفي الزراعة أي أن البخار بدلا من أن يذهب إلى التوربينات كما هو الحال في توليد القدرة الكهربائية فانه يذهب إلى المكثف لتحويل البخار إلى ماء , ومن الناحية الاقتصادية تستخدم مفاعلات القدرة ثنائية الغرض , أي كأن تستخدم لتوليد القدرة الكهربائية والحصول على الماء العذب بنفس الوقت حيث أن عملية تحلية المياه لوحدها غير اقتصادية وتحصل غرف التبخير على حرارة التبخير من أي مصدر حراري وعادة ما يكون هذا المصدر هو الحرارة الفائضة من محطة توليد الكهرباء ولكن وجد أن الحرارة الفائضة من محطة نووية لتوليد الكهرباء هي ارخص شكل للحرارة يلائم هذه العملية .

[1] – عن / النظائر المشعة وبرنامج الإشعاع للدول العربية / د. ش. فاليه

المحطة الكهربائية .

تعرف المحطة الكهربائية بأنها منشأة التوليد المستخدمة لإنتاج الطاقة الكهربائية اعتمادا على موارد الطاقة المختلفة، ويتحدد نوع المحطة أساسا على نوع مورد الطاقة المستخدم مثل:

1. المحطات الحرارية: تستخدم الطاقة الحرارية الناتجة عن احتراق الوقود العضوي (نفط، فحم، غاز).
2. المحطات النووية: تستخدم الطاقة الحرارية الناتجة عن التفاعلات النووية.
3. المحطات الكهرومائية : تستخدم طاقة سقوط الجريان المائية على اليابسة.
4. المحطات ذات المولدات المغناطيسية الهيدروديناميكية : في هذه المحطة تولد الطاقة الكهربائية اعتمادا على تمرير جريان الغاز ذو الحرارة العالية ضمن حقل مغناطيسي .
5. المحطات الرياحية : تستخدم طاقة الرياح لتوليد قدرة صغيرة .
6. المحطات الشمسية: تستخدم طاقة الإشعاع الشمسي لتوليد الكهرباء بالاعتماد على الخلايا الشمسية أو بالأسلوب الحراري الديناميكي.
7. محطات المد والجزر: بازدياد ارتفاع منسوب الماء وانخفاضه في شواطئ البحار تحبس المياه بواسطة منشات هيدروليكية وتمرر على توربين لتوليد الكهرباء.
8. محطات تجريبية: تكون تحت البحث, منها من تعتمد على فارق درجة حرارة مياه المحيطات عند السطح وفى العمق, والأخرى تعتمد على حركة الأمواج عند الشواطئ لتوليد الكهرباء.
9. محطات الكهرباء الادخارية الهيدروليكية: وتستخدم الطاقة الكهربائية في رفع المياه في أوقات الحمل الاعتيادي على بقية المحطات وتعود وتنتج الطاقة الكهربائية في فترات حمل الذروة.[1]

[1]- عن : محطات الطاقة الكهربائية / د . محمد جلال الملقى

مميزات محطات التوليد النووية.

1. عدم الحاجة للكميات الكبيرة من الوقود الصلب أو السائل أو الغازي والذي يؤدى إلى عدم وجود تكاليف للنقل .
2. تنتج قدرة كبيرة لا تقل في الأغلب عن (150 Mw) وتعطى مواد انشطارية مفيدة ولا توجد مخلفات احتراق غير مفيدة تقريبا مثل العادم والغازات ولكن ستكون هناك نفايات نووية تؤثر على البيئة يتم معالجتها بمخازن ومحطات خاصة لذلك.
3. لا تحتاج إلى مساحات أرض كبيرة ولا إلى عدد كبير من العاملين.
4. يمكن أن تبنى في الأماكن التي لا تتوفر فيها شروط بناء محطات أخرى.

عيوب محطات التوليد النووية.

1. ذات مردود حراري منخفض مقارنة بالحرارة الهائلة الناتجة من الانشطار النووي .
2. تحتاج إلى أبنية وأجهزة أمان متينة ودقيقة وذلك لتجنب الخطر الكبير من الإشعاعات النووية ونفاياتها.
3. تستخدم فقط كقاعدة للحمل, وهي غير ملائمة لحالات التشغيل بالحمل المتغير.
4. تحتاج إلى كميات هائلة من مياه التبريد .

عند استخدام محطة توليد نهرية (هيدروليكية) مع محطة توليد نووية مشتركة معا تقوم محطة التوليد النووي بتغذية قاعدة الحمل (الحمل عليها ثابت) ، أما محطة التوليد النهري فتقوم بتغذية قمة الحمل (الحمل متغير) لأنه من الصعب عمليا التحكم السريع في محطة التوليد النووي من أجل حمولات مختلفة ومتغيرة .

إن الصيانة لمحطات توليد الطاقة الكهربائية نوعين:[1]

1. الصيانة الدورية: و هي عادة ما تتم على فترات زمنية محدودة لضمان تشغيل جيد للوحدات و كذلك لإطالة عمر الوحدات.

[1] - عن / مجلة الشركة العامة للكهرباء / العدد الأول/ الكانون(ديسمبر) 1989 ف و العدد الثاني / الفاتح (سبتمبر) 1990 ف.

2. الصيانة العلاجية: و هي الصيانة التي تتم حسب ساعات عمل للأجـزاء المختلفة.

المنظومة الكهربائية في الجماهيرية الليبية .

من الناحية الفنية و الاقتصادية فإن القدرة المركبة لإنتاج الطاقة الكهربائيـة لا تحسب بكاملها على إنها أحمال بل هناك نسبة (20 % - 25 %)[1] يجب مراعاتها في أي قدره مركبة على أنها احتياطي دوار لمعالجة النقص الحاصـل في مراحل الصيانة الدورية أو العلاجية ولتغطية العجز المفاجئ في التوليد قبـل أن يتسرب إلى الشبكة ويؤثر على المستهلك . والشكل (4) يوضح الأحمال السنوية القصوى في الجماهيرية الليبيـة خـلال الفتـرة (1996 – 2003 ف) بالإضافة إلى الاحتياطي الدوار اللازم والقدرة الكلية المطلوبة لتغطية الطلب .

تحتوي المنظومة الكهربائية في الجماهيرية الليبية على عـدد كبيـر مـن المحطات البخارية والغازية والديزل منتشرة في جميع أنحاء الجماهيرية , كمـا توجد بعض محطات التوليد التي تغذي الأحمال الخاصة بقطاع النفط و بعـض المجمعات الصناعية الغير مرتبطة بالشبكة العامة ، و تبلغ القدرة الإجماليـة و المركبة لمحطات التوليد في الجماهيرية الليبيـة العظمـى لعـام 995 ف حوالي (5367.4 Mw) .[2] علما بأنه قد تطور الطلب على الطاقة الكهربائية في الجماهيرية العظمى من (151 Mw) عام 1970 ف إلى (1975 Mw) عام 1995 ف.[3] والشكل (5) يوضح النسب المئوية للقدرات المتاحة لمحطات التوليد المختلفة في الجماهيرية الليبية لسنة 1995 ف.[4]

المؤشرات الاقتصادية الحرارية في المحطات النووية.

تتماثل الدورة الحرارية المتبعة في المحطات النووية مـع مثيلاتهـا فـي المحطات الحرارية البخارية , وتستخدم في معظم الأحيان دورة رانكن للبخـار المشبع وبذلك يتحدد المردود الحراري لدورة البخار المشـبع بـنفس العلاقـات المتبعة بالنسبة للبخار المحمص .

---

[1] - عن / مجلة الشركة العامة للكهرباء / العدد الأول/ الكانون(ديسمبر) 1989 ف و العدد الثاني / الفاتح (سبتمبر) 1990 ف.

[2]- عن / مجلة الطاقة والحياة / العدد الثاني / الكانون (ديسمبر) 1993 ف والعدد الرابع / الربيع (مارس) 1995ف.

[3] - عن /التقارير السنوية لدائرة المتابعة والمعلومات والتوثيق بالشركة العامة للكهرباء/ طرابلس / للسنوات 1991, 1992, 1993, 1994 ف.

[4]- عن /التقارير السنوية لدائرة المتابعة والمعلومات والتوثيق بالشركة العامة للكهرباء/ طرابلس / للسنوات 1991, 1992, 1993, 1994 ف.

إن مردود المحطة الإجمالي (الصافي):

$$\eta_{st}^{n} = \eta_{st}(1-\beta)$$

حيث أن :

$$\beta = \frac{\Delta N}{N_{el}}$$

η_{st} : المردود الحراري للمحطة النووية بضمنها الضياعات (علما بأن معظم الضياعات تحدث في الأنابيب بسبب ضعف العازلية) .

β : معامل الاستهلاك الكهربائي الذاتي.

ΔN : القدرة الكهربائية المستهلكة ذاتيا في المحطة .

N_{el} : القدرة الكهربائية المقاسة على مرابط المولدات .

مصروف الوقود.

يعتبر مصروف الوقود النووي مؤشرا أساسيا من المؤشرات الاقتصادية الحرارية في المحطة النووية . ونظرا لكون نسبة (15%) تقريبا من (U^{235}) تلتقط النيوترونات وتتحول إلى (U^{236}) غير القابل للانشطار لذلك تنخفض كمية الحرارة بمعدل (15%) تقريبا عن كل (1 Kg) من الوقود النووي . علما بأن الطاقة الحرارية الناتجة عن انشطار(1 Kg) من اليورانيوم هي ($7.9x10^{10}$ J) وهكذا يكون صافي الطاقة الحرارية كما يلي :

$$Q_{ne} = 7.97x10^{10}x0.85 = 6.77x10^{10}\ KJ/Kg = 18.8\ M\ Kw.hr/Kg. \ldots\ldots (1)$$

إن مصروف الوقود النوعي بالنسبة للمحطة الحرارية :

$$b = \frac{B}{N_{el}} = \frac{3600}{Q_b^p . \eta_{st}} \qquad (Kg/Kw.hr)$$

حيث أن: (Q_b^p) هي حرارة الاحتراق الدنيا للوقود العضوي (KJ / Kg) .

(B) مصروف الوقود الساعي (مصروف الوقود لكل ساعة) (Kg / hr) .

ويحسب مصروف الوقود النووي النوعي (b_{ne}) أيضا بالعلاقة :

$$b_{ne} = \frac{3600}{Q_{ne}.\eta_{st}} = \frac{3600}{6.77x10^{10}\,x\eta_{st}} = \frac{5.3x10^{-8}}{\eta_{st}} \quad (Kg / Kw.hr) \quad .....(2)$$

$$= \frac{0.053}{\eta_{st}} \quad (g / Mw.hr) \quad ..... (3)$$

مصروف الوقود الإجمالي.

يتحدد مصروف الوقود النووي الإجمالي بالاعتماد على مفهوم عمق الاحتراق (a) الذي يمثل كتلة الوقود المستهلكة بالكيلوجرام لكل طن من الوقود المشحون في المفاعل , والمفهوم إن كمية الوقود التي يشحن بها المفاعل أكبر بكثير من الكمية المستهلكة فعليا , والعدد (a) يعكس نسبة هاتين الكميتين .

إن المصروف الإجمالي (B_{ne}) بوحدات (طن بالسنة) :

$$B_{ne} = \frac{N_{el}.T_y}{Q_{ne}.\eta_{st}.a} = \frac{b_{ne}.N_{el}.T_y}{a} \quad ..... (4)$$

حيث (T_y) هي عدد ساعات استخدام القدرة القائمة في السنة (بحدود 8760 hr). كما يتم التعويض عن (Q_{ne}) من المعادلة (1), وعن (b_{ne}) من المعادلة (2) في المعادلة (4) لإيجاد (B_{ne}).

كفاءة الوقود (كمية الطاقة الحرارية الناتجة)

إن كمية الطاقة الحرارية الناتجة من جرام واحد من الوقود النووي هي أكبر بكثير من كمية الطاقة الحرارية الناتجة من جرام واحد بقية أنواع الوقود التقليدية الأخرى.

إن الأقل طاقة بين الوقود وهو الخشب (بحدود 7000 K cal / g) والأعلى بين الوقود هو اليورانيوم (بحدود 20 000 000 K cal / g) ، علما بأن الأعلى طاقة بين أنواع الوقود التقليدية هو وقود المحرك النفاث (بحدود 17 000 K cal / g) ورغم ذلك هو أدنى من الوقود النووي البالغة طاقته (بحدود 20 000 000 K cal / g) .

والشكل (6) يوضح مقارنة بين الطاقة الحرارية الناتجة من حرق جرام واحد من عدة أنواع من الوقود والوصول إلى نتيجة هي أن حرق جرام واحد من اليورانيوم يعطي طاقة حرارية أعلى بكثير جدا من جميع أنواع الوقود الأخرى الموضحة في الشكل (6) .

أما الشكل (7) فهو يمثل النسبة المئوية لأنواع الوقود المستخدمة في إنتاج الطاقة الكهربائية في العالم والولايات المتحدة الأمريكية[1] وهي توضح أنها لازالت في البداية وفي طور الانتشار المستقبلي.

علما بأن مليون طن نفط يكافئ تقريبا ($10.5x10^{15}$ cal = $43.9x10^{15}$ J) حيث ينتج المليون طن نفط تقريبا طاقة كهربائية في المحطات الحديثة ($4x10^{9}$ Kw.hr) .

التكاليف – المقارنة – الاستنتاج .

بالنظر للخلف نجد أن الطاقة النووية لحد عام (1978)كانت تنمو بوتيرة متصاعدة حيث كان (215) مفاعلا نوويا يعمل في محطات نووية في (21) دولة وتقوم بتوفير إنتاج كهربائي بقدرة إجمالية بلغت (102555 Mw).

يوجد أربعة أنواع فقط من المفاعلات تعتبر في الوقت الحاضر كاملة الصلاحية للتشغيل على المستوى التجاري هي : (PWR) , (BWR), (HWR) و (GCR) وتعطي حوالي (94000 Mw) التي تمثل حوالي (92 %) من صافي الخرج الكهربائي الإجمالي لجميع المحطات النووية التي تم تشغيلها بينما تغطي نسبة (8 %) الباقية جميع الأنواع الأخرى للمفاعلات التي لم تكتمل صلاحيتها بعد وكذلك نظم المفاعلات المتقدمة .

إن (65) مفاعلا وبقدرة كهربائية (46341 Mw) من أصل أل (215) مفاعلا أي من أصل قدرة كهربائية (102555 Mw) شغالة حتى سنة 1978 هي للولايات المتحدة الأمريكية وهي الأكبر عددا وقدرة بينما كانت الباكستان هي من الدول الأقل امتلاكا للمفاعلات (مفاعل واحد) وبقدرة (126Mw) ولحد سنة 1986 , حيث كان العراق لحد سنة 1986 يخطط لبناء محطة نووية واحدة بقدرة (400 Mw) , أما الجماهيرية الليبية العظمى فلا توجد فيها محطات

[1] - Annul Energy Review by U.S. DOE 1992.

نووية عاملة أو في طور الإنشاء ولكن هناك محطتان كان مخطط لإنشائهما وبقدرة (816 Mw).

إن نسبة الطاقة الكهربائية المولدة في العالم باستخدام الوقود النووي لحد سنة 1983 بلغت (9%) من إجمالي الطاقة الكهربائية الكلية المنتجة وبزيادة مستمرة بلغت (17 %) عام 1998.[1]

وحاليا تعتمد بعض الدول بشكل أكثر من غيرها على الوقود النووي في إنتاج وتوليد الطاقة الكهربائية ففي فرنسا بحدود (75 %) من طاقتها الكهربائية منتجة من وقود نووي وفي بريطانيا فإن (19.3 %) من طاقتها الكهربائية منتجة من وقود نووي وهكذا اليابان (23.4 %) , جنوب أفريقيا (7.3 %) وباكستان (0.6 %) من طاقتها الكهربائية منتجة من وقود نووي حسب إحصائيات الوكالة الدولية للطاقة الذرية .[2] علما بأنه توجد حاليا أكثر من (400) محطة كهربائية تعمل بالوقود النووي في جميع أنحاء العالم بالإضافة إلى أكثر من (100) محطة في الولايات المتحدة الأمريكية لوحدها ليكون المجموع الكلي أكثر من (500) محطة .

إن التكاليف الأساسية للكيلو واط المركب لحد سنة 1970 (1200– 1400) دولار حيث أن سعر اليورانيوم في شكل العجينة الصفراء (أوكسيد اليورانيوم U_3O_8) لحد سنة 1978 حوالي (80) دولار . أما سعر تحويل أوكسيد اليورانيوم إلى سادس فلوريد اليورانيوم (UF_6) في أوائل الثمانينات (4 – 4.5) دولار للكيلوجرام من اليورانيوم, بينما تكاليف الإثراء كانت (85 – 160) دولار لوحدة شغل الفصل عام 1985 .

لقد استقر سعر تصنيع عناصر وقود مفاعلات الماء الخفيف (120 – 170) دولار للكيلوجرام من اليورانيوم , كما أن أسعار تصنيع عناصر وقود ألا وكسيد المخلوط لمفاعلات الماء الخفيف حوالي (300) دولار للكيلوجرام بالنسبة لليورانيوم والبلوتونيوم . بينما تصل أسعار وقود المفاعلات السريعة المتوالدة والمبردة بالمعادن السائلة (800 – 1000) دولار للكيلوجرام من اليورانيوم والبلوتونيوم .

[1]- عن بحث / المفاضلة الاقتصادية لأنواع الوقود في محطات توليد الطاقة الكهربائية في الجماهيرية العظمى /الجزء الأول / المعهد العالي لإعداد المدربين – زليتن / أ. غزوان نوري / 2000 ف.

[2]- عن موقع HOTBOT إصدار 2001 .

توجد محطتان فقط (حتى سنة 1982) تتيحان خدمات إعادة معالجة الوقود إحداهما في فرنسا والأخرى في بريطانيا وتتراوح التقديرات التي استخدمت في بداية الثمانينات لأسعار إعادة المعالجة بحدود (150 – 300) دولار للكيلوجرام .

وتقدر تكاليف تصميم و إقامة مخازن الوقود المستنفذ لمفاعلات الماء الخفيف في سنة 1982 حوالي (10) دولار للكيلوجرام يورانيوم في السنة, أما وقود مفاعلات الماء الثقيل المضغوط (3 – 5) دولارات للكيلوجرام يورانيوم في السنة .

إن تكاليف التشغيل والصيانة لمحطة قدرتها (600) ميجا واط كهربائي حوالي (2.8) مليون دولار في السنة للمحطة النووية من نوع مفاعلات الماء المضغوط , وحوالي (1.7) مليون دولار في السنة للمحطة الحرارية وهناك زيادة بالتكاليف بمعدل (4 %) سنويا. وكذلك اختلافات في الأسعار بين المحطات العاملة حسب نوع المفاعل .

إن الفترة الزمنية اللازمة للتشييد ولاستمرار عمل المحطة تحتاج المحطة التقليدية إلى حوالي (7 – 10) سنوات ليتم بناؤها, بينما تحتاج المحطة النووية بين (10 – 14) سنة لتتم عملية البناء والتشييد.

إن تكاليف الوقود لمحطة تقليدية مقارنة مع تكاليف الوقود لمحطة نووية تبدو مرتفعة , فكما نرى من الشكل (8) فإن تكاليف الوقود في محطة تقليدية تبلغ (60 %) بينما في المحطة النووية فتبلغ (24 %) من إجمالي تكاليف المحطتين , كذلك فأن تكاليف الإنشاء أو التكليف الرأسمالية فتكون للمحطة التقليدية (29 %) بينما للمحطة النووية تكون (65 %) من إجمالي تكاليف المحطتين . أما تكليف التشغيل لكلا المحطتين فتبلغ (11 %) من إجمالي التكلفة الكلية .

تكلفة الكيلوواط ساعة.

تبلغ تكلفة وحدة (الكيلوواط ساعة) من الكهرباء المولدة بالطرق النووية (50 %) من تكلفة تلك التي تولد بالفحم و (30 %) من تكلفة تلك التي تولد بالنفط كما مبين بالشكل (9) , حيث تكون تكلفة الكيلوواط ساعة من الكهرباء المولدة بالطرق النووية هي الأرخص بين جميع أنواع الوقود التقليدية الأخرى .

النظرة الاقتصادية المستنتجة.

كان معدل استهلاك الفرد من الطاقة في النصف الأول من هذا القرن لا يزيد على (50) كيلوواط ساعة في العام , ولكن هذه الصورة قد اختلفت كثيرا هذه الأيام , حيث بلغ معدل استهلاك الطاقة بالنسبة لكل فرد في عام 1986 نحو (640) كيلوواط ساعة في العام , وهو بزيادة مستمرة إلى يومنا هذا .[1] حيث أن محطة توليد الكهرباء التي تصل قدرتها إلى (1000 Mw) تستهلك ما يقرب من (2.8) مليون طن من الفحم في العام .

كما يتطلب نقل أو استيراد الفحم (إذا كان المنتج الوطني غير كافي) من الخارج إقامة الموانئ الخاصة باستقباله وإنشاء الطرق وخطوط السكة الحديدية لنقله إلى محطات الكهرباء وما يترتب عن ذلك من نفقات إضافية بالإضافة إلى تكلفة التجهيزات الخاصة بامتصاص الغازات الضارة المنبعثة من المحطات للمحافظة على البيئة وصحة الإنسان ويؤدي ذلك إلى ارتفاع تكلفة المحطات الحرارية لتوليد الكهرباء بمقدار (15 %) على الأقل من تكلفتها الأساسية .

وقد تبين من الدراسات أن تكاليف إنتاج الكيلوواط ساعة من الكهرباء على أساس أسعار التكلفة التي أعلنتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية في فيينا, من المفاعل النووي البالغة قدرته (1000 Mw) لا تزيد عن (4.2 سنت أمريكي) (حوالي 56 درهم ليبي حاليا) , بينما تصل هذه التكلفة في حالة المحطة الحرارية التي تدار بالفحم (إذا ثبت سعر طن الفحم عند 100 دولار فقط) ولها نفس القدرة السابقة حوالي (6.33 سنت أمريكي) (حوالي 85 درهم ليبي حاليا) وإلى حوالي (6.5 سنت أمريكي) (حوالي 87 درهم ليبي حاليا) إذا كانت المحطة تدار بالبترول.

ويتضح من ذلك أن سعر إنتاج الكيلوواط ساعة في المحطة البخارية يزيد بمقدار (35 %) على تكلفة الكيلوواط ساعة الناتج من المحطة النووية . ويعني ذلك إن المحطة النووية التي تبلغ قدرتها (1000 Mw) توفر حوالي (130 – 140) مليون دولار في السنة عن المحطة الحرارية المماثلة لها التي تدار بالفحم, وتوفر حوالي (170) مليون دولار بالنسبة للمحطة الحرارية التي تدار بالبترول. وإذا فرضنا إن العمر الافتراضي للمحطة النووية يصل إلى (30 عام) فإن الإجمالي الوافر يبلغ حوالي (4.2) مليار دولار أي حوالي

[1]- عن /الطاقة ومصادرها المختلفة / د. أحمد مدحت إسلام / 1988 ف.

(5.63) مليار دينار ليبي حاليا خلال هذه الفترة وهو مبلغ ضخم يمكن استغلاله في تجديد المحطة النووية .

التوصيات .

في نهاية البحث أود أن أضع التوصيات التالية:

1) مراجعة نظم توليد وتوزيع الكهرباء لإمكان تقديم المشورة بالنسبة لأحجام المحطات النووية المناسبة التي يمكن أخذها في الاعتبار بالنظر إلى منافستها الاقتصادية وإلى الوقت المناسب لإدخالها وربطها بنظم الشبكة الكهربائية .

2) مراجعة الهيكل التنظيمي الحالي وتقديم المشورة بالنسبة للتنظيم المستقبلي ومتطلبات القوى العاملة من الفنيين والمدربين .

3) مراجعة المواقع المحتملة لبناء محطات القوى النووية على أسس من الاعتبارات الفنية ، على الرغم من أن الدراسات التخطيطية يمكن أن تنتج عددا من العوامل الاقتصادية الفنية مثل حجم الوحدة وتوقيت إنشائها .

وفي مرحلة ما قبل التعاقد تحتاج إلى خطوات تؤدي إلى اختيار شركة معينة لتنفيذ المشروع وهذه الخطوات هي :

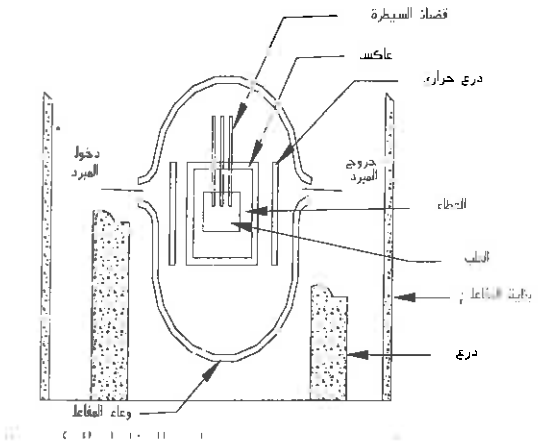
1) حالة الشبكة الوطنية الكهربائية وقدرتها على استيعاب الأحجام الاقتصادية للمحطات النووية المتاحة تجاريا.

2) قدرة الدولة على إتاحة العدد اللازم من العمال والمهارات الضرورية لاستيعاب التقنية النووية الجديدة والمعقدة, وأن يمكنها كذلك أن تستخدمها على أكبر قدر من الكفاءة.

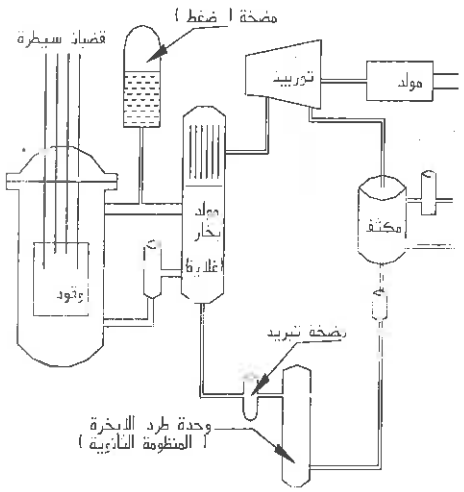
3) وجود دولة مصدرة للقوى النووية مستعدة لتوريد المحطة النووية .

4) ضمان مصدر للوقود النووي طوال عمر المحطة .

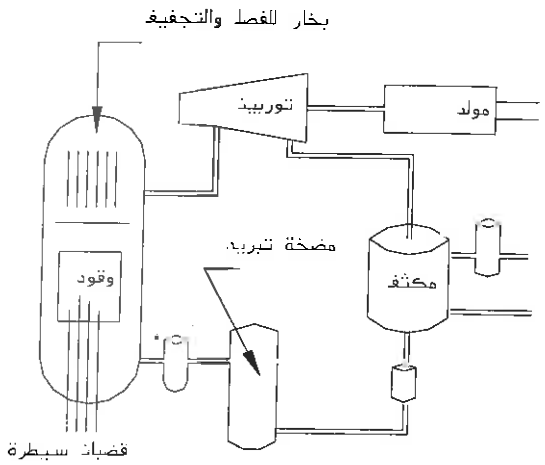
5) مصادر تمويل المشروع النووي للاستثمارات اللازمة للمحطة والوقود اللازم لها ومن خلال دراسة هذه النواحي يتضح مدى المشاكل المختلفة التي ينبغي مواجهتها وحلها.



الشكل (1) مكونات المفاعل الرئيسية

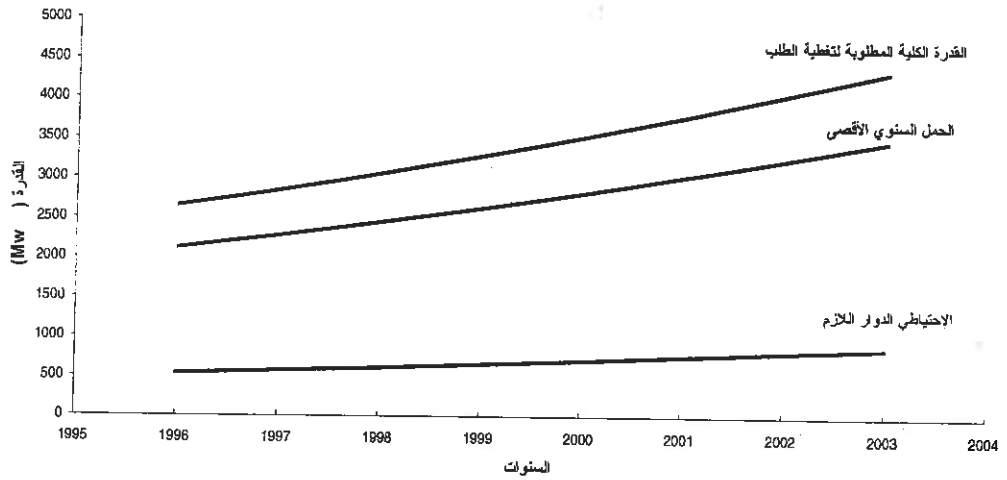


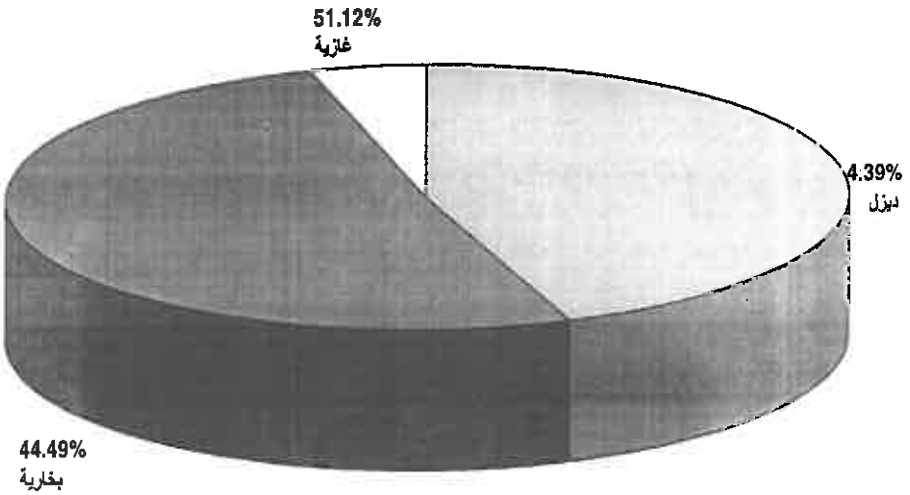
الشكل (2) المخطط الانسيابي لنظام مفاعلات الماء المضغوط



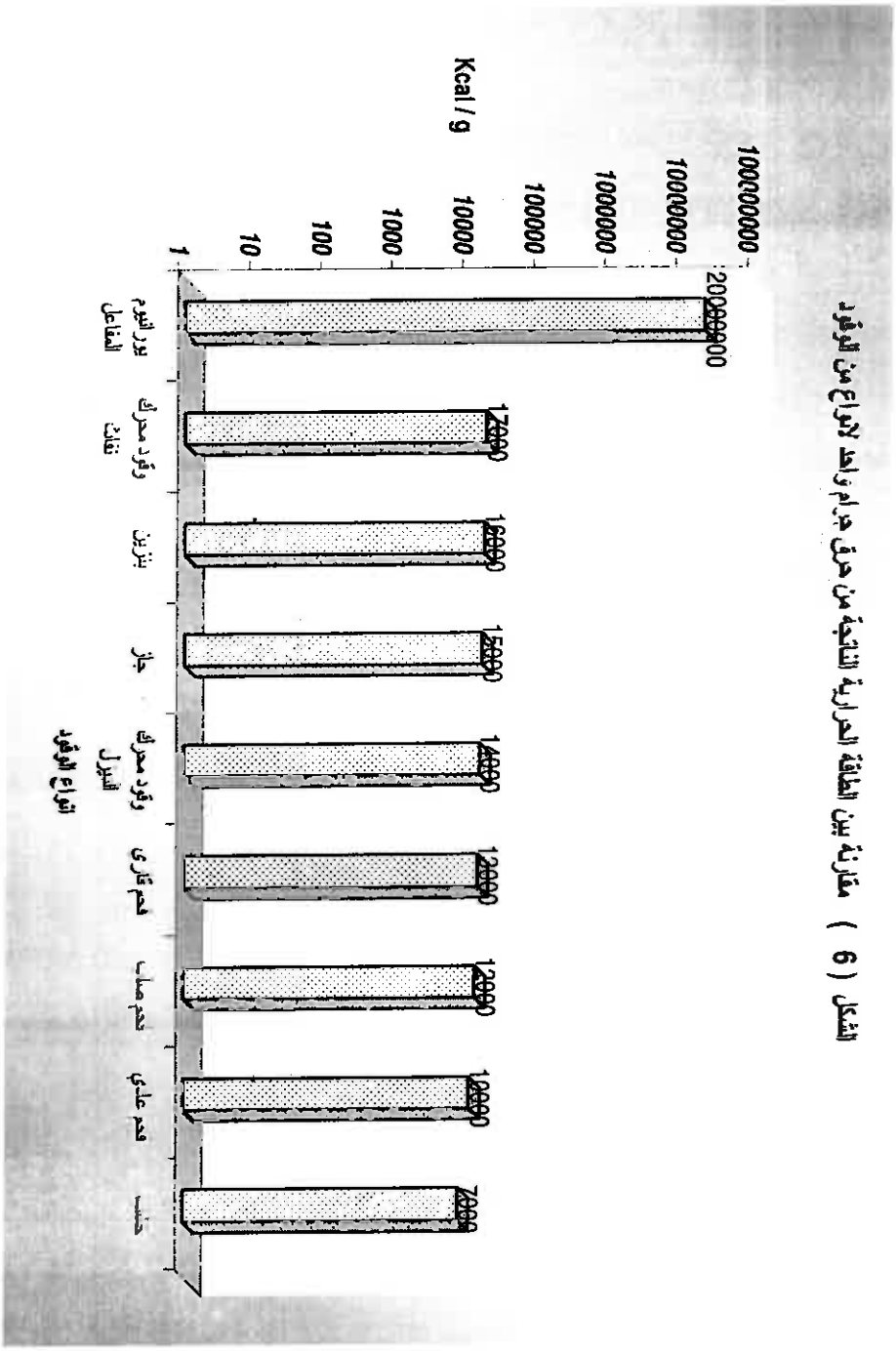
الشكل (3) المخطط الانسيابي لنظام مفاعلات الماء المغلي

الشكل (٤) الأحمال السنوية القصوى لشبكة الجماهيرية العظمى

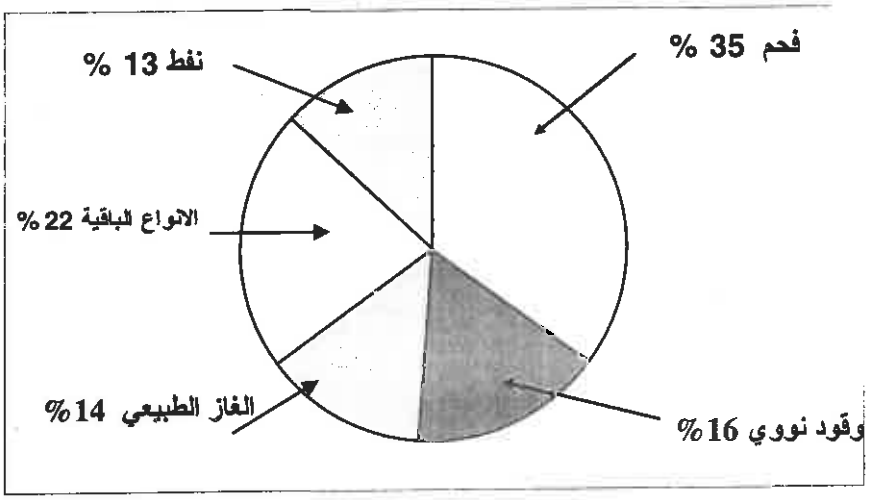




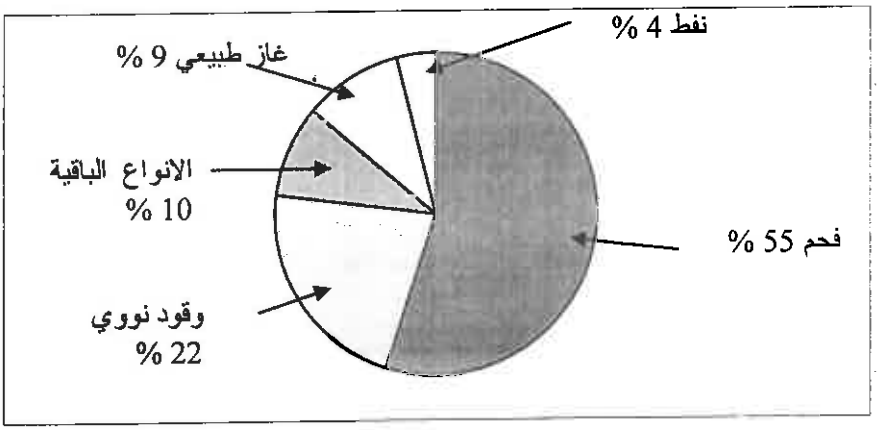
الشكل(5 يوضح النسب المئوية للقدرات المتاحة لمحطات التوليد المختلفة في الجماهيرية الليبية
1995 سنة ١٩٩٥



الشكل (6) مقارنة بين الطاقة الحرارية الناتجة من حرق جرام واحد لأنواع من الوقود

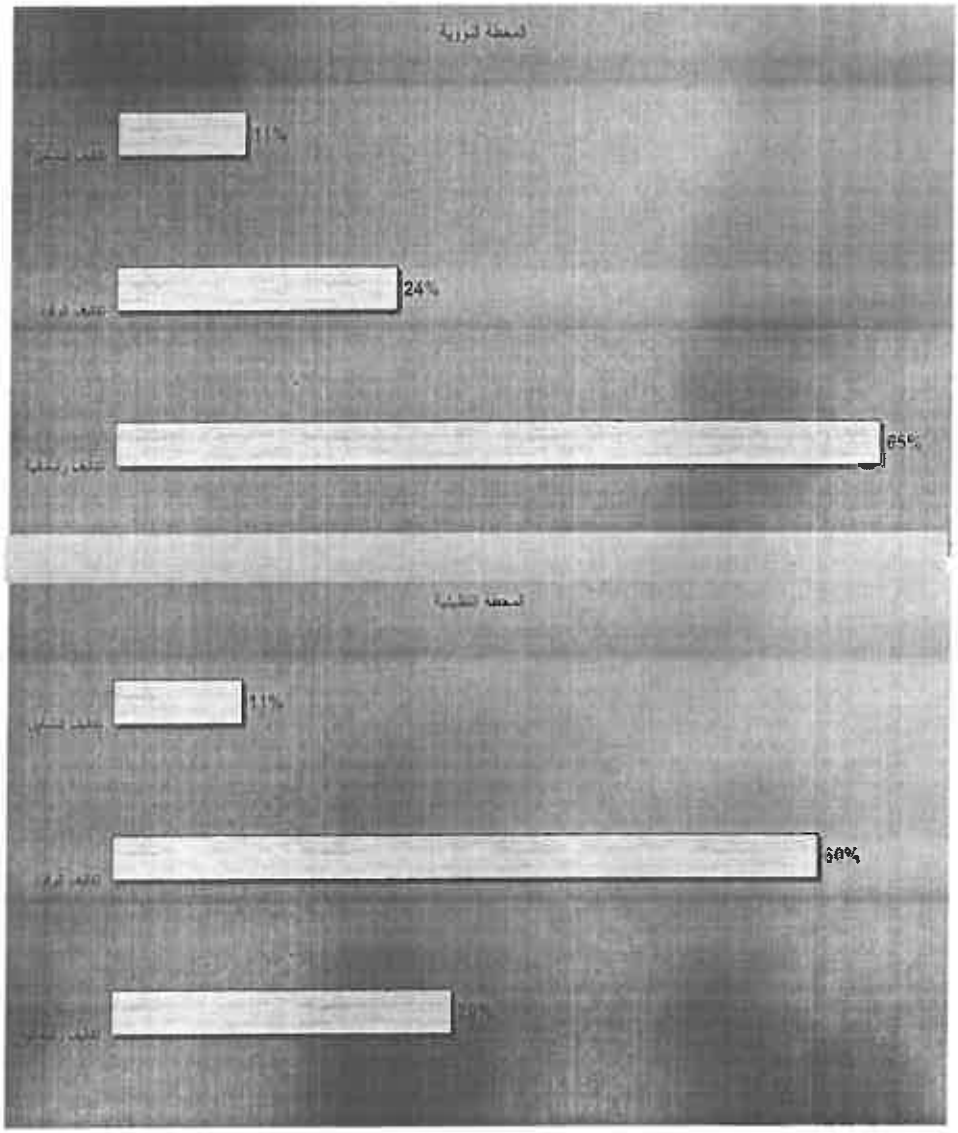


A / اجمالي العالم ما عدا USA لسنة 91 ف = 9.21 بليون Kw.hr

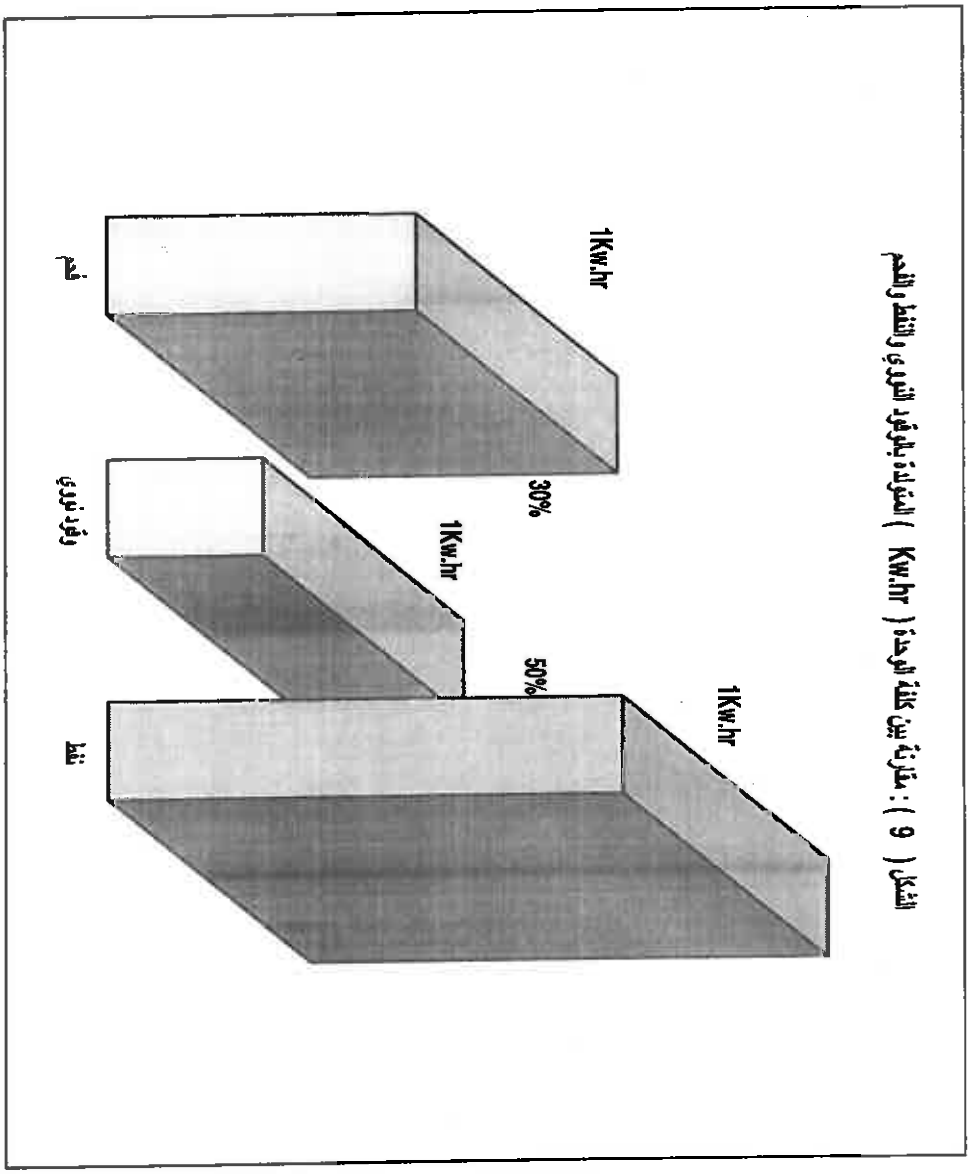


B / اجمالي USA لسنة 91 ف = 2.825 بليون Kw.hr

شكل (7) النسبة المئوية لانواع الوقود المستخدمة في انتاج الطاقة الكهربائية



الشكل (8) مقارنة التكاليف بين المحطة النووية والمحطة التقليدية


الشكل (9): مقارنة بين كلفة الوحدة (Kw.hr) المنتجة بالوقود النووي والنفط والفحم
فحم
1Kw.hr
30%
وقود نووي
1Kw.hr
50%
نفط
1Kw.hr

المراجع

1- الكيمياء الذرية والمشعة / د. أبو القاسم عمر أحميدة / دار الملتقى للنشر / الطبعة الأولى 1994 ف.
2- الذرة / د. حسين محمد اطيمش / دار الشؤون الثقافية العامة ببغداد / الطبعة الأولى 1990 ف .
3- الذرة / د. طالب ناهي الخفاجي / الدار العربية للموسوعات / جامعة بغداد 1992 ف .
4- أسس الفيزياء الإشعاعية / د. محمد فاروق احمد / جامعة الملك سعود / المملكة العربية السعودية / الطبعة الثانية 1998 ف.
5- النظائر المشعة / د. ش فاليه / ترجمة د. سمير ألباز / معهد الإنماء العربي / عن سلسلة كتب التكنولوجيا النووية في البلدان النامية / بيروت – لبنان / الطبعة الأولى 1982 ف.
6- أساسيات الفيزياء / ف. بوش / جامعة دايتون / دار ماكجروهيل للنشر / الطبعة الثانية 1982 ف .
7- الكيمياء الإشعاعية / د. مجيد محمد علي القيسي / مطبعة الجامعة التكنولوجية / الطبعة الثانية 1986ف .
8- الطاقة النووية والمفاعلات النووية لتوليد الطاقة / د. كمال عفت / الطبعة الأولى 1982 ف.
9- معجلات الجسيمات / د. محمد عزت عبد العزيز / معهد الإنماء العربي / عن سلسلة كتب التكنولوجيا النووية في البلدان النامية / بيروت – لبنان / الطبعة الأولى 1982 ف.
10- فيزياء وتقانة المفاعلات / الهيئة العربية للطاقة الذرية / (11 – 16 / 9 / 1993 ف) / تونس .
11- محطات الطاقة الكهربائية / د. محمد جلال الملقي / جامعة دمشق - سوريا / مطبعة خالد بن الوليد 1986 ف.
12- الطاقة النووية / م. عبد الحكيم عامر الطويل / دار الجماهيرية للنشر والتوزيع والإعلان / مصراتة – ليبيا / الطبعة الأولى 1991 ف.
13- الطاقة ومصادرها المختلفة / د. احمد مدحت إسلام / 1988 ف.
14- موقع (hotbot)بالانترنيت / إصدار 2001 ف.
15- بحث : المفاضلة الاقتصادية لأنواع الوقود في محطات توليد الطاقة الكهربائية في الجماهيرية العظمى / الجزء الأول / المعهد العالي للمدربين – زليتن / أ.غزوان نوري 2000 ف .
16- مجلة الشركة العامة للكهرباء / العدد الأول – الكانون (ديسمبر) 1989 ف / العدد الثاني – الفاتح (سبتمبر) 1990 ف / طرابلس – ليبيا.
17- مجلة الطاقة والحياة / العدد الثاني – الكانون (ديسمبر) 1993 ف / العدد الرابع – الربيع (مارس) 1995 ف.

18- التقارير السنوية لدائرة المتابعة والمعلومات والتوثيق بالشـركة العامـة للكهربـاء / طرابلس – ليبيا / للسنوات 1991 ، 1992 ، 1993 ، 1994 ف.

19- Nuclear Energy Technology – Ronald. Allen Knief – Mc Graw Hill Company 1981.

20- Power Plant Technology – copy Wright 1984.

21- Basic Nuclear Engineering – Arthur R. Foster / Robert L. Wright.Jr. 1996. 22- Annul Energy Review By U.S.DOE 1992.