توليد الطاقة الكهربائية و تحلية المياه بالطاقة النووية

في دولة الكويت و دول الخليج العربي

تأليف

الأستاذ الدكتور محمد علي درويش

الدكتورة فاطمة محمد العوضي

المهندس أنور عمر بن عامر

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

توليد الطاقة الكهربائية وتحلية المياه بالطاقة النووية

في دولة الكويت ودول الخليج العربية

تأليف

الأستاذ الدكتور محمد علي درويش

الدكتورة فاطمة محمد العوضي

المهندس أنور عمر بن عامر

برنامج موارد المياه/إدارة البحوث

مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

فهرسة

مكتبة الكويت الوطنية أثناء النشر

٦٢١.٣١٢٩٥٣ درويش ، محمد علي حسن.

توليد الطاقة الكهربائية وتحلية المياه بالطاقة النووية في دولة الكويت ودول الخليج العربية / محمد علي حسن درويش، فاطمة محمد العوضي، أنور عمر بن عامر - ط١.- الكويت: مؤسسة الكويت للتقدم العلمي ، ٢٠١٠

٢٠٨ ص: رسوم، صور؛ ٢٤ سم.

ردمك : ٣-٤٢-٣٣-٩٩٩٦٦-٩٧٨

١.الكهرباء – توليد - الكويت ٢.الكهرباء- توليد – دول الخليج العربية أ.العنوان.

رقم الإيداع ٣٩٤ / ٢٠١٠

ردمك : ٣-٤٢-٣٣-٩٩٩٦٦-٩٧٨

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

حقوق النشر © مؤسسة الكويت للتقدم العلمي 2010

جميع حقوق الطبع محفوظة ولايجوز إعادة طباعة هذا الكتاب أو نقله كلياً أو جزئياً في أي شكل و بأي وسيلة، سواء بطريقة إلكترونية أو آلية، بما في ذلك الاستنساخ الفوتوغرافي أو التسجيل أو استخدام أي نظام من نظم تخزين المعلومات واسترجاعها دون الحصول على إذن خطي من الناشر

ولتقديم طلب الحصول على هذا الإذن أو للاستفسار يرجى الاتصال على العنوان الآتي:

مؤسسة الكويت للتقدم العلمي/ شارع أحمد الجابر/ شرق- مدينة الكويت

ص.ب. 25263 الصفاة 13113- دولة الكويت

البريد الإلكتروني: rd@kfas.org.kw

تليفون: 22425912-965+

فاكس: 22403912-965+

ما يتضمنه هذا الكتاب يعبر عن وجهة نظر المؤلفين ولا يمثل بالضرورة وجهة نظر المؤسسة

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

فهـــرس الكتاب

شكر وتقدير VI

تمهيـــــد للأستاذ الدكتور علي عبدالله الشملان VII

مقدمة IX

الباب الأول: مقدمة حول الطاقة النووية ١

١. **الطاقة النووية** ١

٢. **عملية الانشطار النووي** ٣

٣. **أنواع المفاعلات في محطات الطاقة النووية** ٦

١.٣ مفاعلات الماء الخفيف المضغوط (PWR) ٧

٢.٣ مفاعلات الماء الثقيل المضغوط (PHWR) ٩

٣.٣ مفاعلات الماء المغلي (BWR) ١٢

٤. **الوقود النووي** ١٥

٥. **دورة الوقود النووي** ١٧

١.٥ وصف عام للعناصر الرئيسية لدورة الوقود النووي ١٧

٢.٥ استخراج ومعالجة خام الوقود النووي ١٨

٣.٥ تكرير وتحويل اليورانيوم ١٩

٤.٥ إثـــراء اليورانيوم ٢١

٥.٥ إعـــادة التحويـــل ٢١

٦.٥ صنـــاعـــة الوقـــود ٢١

٧.٥ تشعيـــع الوقود ٢٢

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٦. **التخزين المؤقت للوقود المستهلك** ٢٣
٧. **التخلص من النفايات النووية** ٢٥
٨. **أساسيات الإشعاع** ٢٨
١.٨ أنواع الإشعاع ٢٨
٢.٨ مصادر الإشعاع ٣٠
٣.٨ تأثير الإشعاع ٣٢
قائمة الأشكال ٣٤
قائمة الجداول ٣٥
المـــراجـــع ٣٦

الباب الثاني: إنتاج الطاقة في دولة الكويت ودول مجلس التعاون الخليجي ومحطات الطاقة النووية المقترحة ٣٧
١. **مقدمـــــة** ٣٧
٢. **استهلاك الوقود النفطي بدولة الكويت والحاجة إلى تنوع مصادر الوقود** ٤٥
٣. **محطات الطاقة الكهربائية في الكويت والحاجة إلى محطات إضافية** ٤٦
٤. **حالة محطات تحلية مياه البحر والحاجة إلى محطات جديدة** ٤٩
٥. **محطة الطاقة النووية المقترحة لإنتاج الكهرباء والماء في الكويت** ٥٠
١.٥ مفاعل الماء الخفيف المضغوط (AP600) ٥٤
٢.٥ سمات الأمان في المفاعلات المقترحة AP600 وAP1000 ..... ٦٠
١.٢.٥ تصريف الحرارة المتبقية بعد إيقاف المفاعل ٦١
٢.٢.٥ نظام تبريد قلب المفاعل في الحالات الطارئة ٦٢
٦. **التنافسية الاقتصادية لمحطات الطاقة النووية** ٦٦
١.٦ تكلفة رأس المال ٦٦
٢.٦ التكاليف التشغيلية ٧٠
قائمة الأشكال ٧٧
قائمة الجداول ٧٨
المـــراجـــع ٧٩

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

الباب الثالث: دورة البخار في محطات الطاقة النووية وربطها بوحدات التحلية ٨٠

١. مقدمـــــة ٣٧

٢. محطات الطاقة الكهربائية وتقطير المياه في دولة الكويت ٨١

٣. محطات توليد الطاقة النووية المقترحة والسمات الأساسية لدورة البخار فيها ٨٤

١.٣ فاصل الرذاذ وإعادة التسخين ٨٧

٢.٣ استخدام مسخنات ماء التغذية الاسترجاعية ٩٤

٤. التحليل الحراري لدورة البخار مع مفاعلات الماء الخفيف المضغوط المقترحة لدولة الكويت ٩٦

٥. التحلية باستخدام الطاقة النووية ١٠٠

١.٥ تقنيات التحلية المختلفة ١٠٠

١.١.٥ التبخير الفجائي المتعدد المراحل (MSF) ١٠٠

٢.١.٥ التناضح العكسي (RO) ١٠١

٣.١.٥ الغليان المتعدد التأثير (MEB) ١٠٣

٢.٥ مشاريع التحلية النووية في دول العالم ١٠٤

٣.٥ طرق ربط محطات التحلية المختلفة بمحطات الطاقة النووية ١٠٧

٤.٥ تكاليف التحلية النووية ١١٦

قائمة الأشكال ١١٩

قائمة الجداول ١٢١

المـــراجـــع ١٢٢

الباب الرابع: حادثة تشرنوبيل وإمكانية تكرارها ١٢٣

١. مقدمـــــة ١٢٣

٢. تركيب مفاعل تشرنوبيل وخصائصه ١٢٤

٣. الفروق الأساسية بين مفاعل تشرنوبيل والمفاعلات التجارية التي تعمل بالماء الخفيف المضغوط أو الماء المغلي ١٢٨

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٤. كارثة تشرنوبيل ١٣١

٥. أهم أسباب كارثة تشرنوبيل ١٣٦

٦. حوادث المفاعلات النووية. ١٣٨

٧. الأمان في تصميم المفاعلات لمحطات الطاقة النووية..... ١٤٠

قائمة الصور ١٤٢

قائمة الأشكال ١٤٢

قائمة الجداول ١٤٢

المـــراجـــع ١٤٣

الباب الخامس: الطاقة النووية وقضايا البيئة..... ١٤٤

١. أنواع الغازات المنبعثة من محطات الطاقة التقليدية وآثارها..... ١٤٥

١.١ ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) ١٤٥

٢.١ أكاسيد النيتروجين (NO_x)..... ١٤٥

٣.١ أكاسيد الكربون (CO_x)..... ١٤٦

٢. الاحتباس الحراري والاحترار العالمي ١٤٧

١.٢ الاحتباس الحراري (Greenhouse Effect)..... ١٤٧

٢.٢ الاحترار العالمي (Global Warming) ١٤٨

٣. كمية الغازات المنبعثة من محطات الطاقة الكهربائية وتقطير المياه في الكويت ... ١٥٠

١.٣ حساب كمية الغازات الناتجة من عملية احتراق الوقود لإنتاج (1 kWh) كهرباء ١٥١

٢.٣ حساب كمية الغازات الناتجة من عملية احتراق الوقود لإنتاج متر مكعب من المياه المقطرة ١٥٢

٣.٣ إنتاج الطاقة الكهربائية من محطات الطاقة التقليدية في الكويت ودول الخليج العربية... ١٥٣

٤. المزايا البيئية لاستخدام الطاقة النووية في دولة الكويت..... ١٥٧

١.٤ الحد من الاحترار العالمي (Global Warming) ١٥٧

٢.٤ التقليل من التلوث الناتج من الغازات المنبعثة ١٥٨

٣.٤ تكاليف الأضرار البيئية الناتجة عن المحطات التقليدية..... ١٥٩

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

قائمة الأشكال ١٦١
قائمة الجداول ١٦١
المـــراجـــع ١٦٢

شرح المصطلحات (Glossary) ١٦٤

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

شكـــــــر وتقديـــــــر

يتقدم مؤلفو الكتاب بالشكر الجزيل للأستاذ الدكتور علي عبدالله الشملان مدير عام المؤسسة على دعمه المستمر لأنشطة برنامج موارد المياه في إدارة البحوث وعلى موافقته الكريمة على إصدار هذا الكتاب لما سيضيفه من معرفة في مجال الطاقة النووية باللغة العربية التي يتوق إليها القارئ العربي. كما يتقدم المؤلفون بالشكر والتقدير للدكتور محمود يوسف عبدالرحيم مدير إدارة البحوث لمتابعته ومقترحاته أثناء إنجاز هذا الكتاب والأستاذ الدكتور عدنان الحموي رئيس تحرير مجلة العلوم التي تصدرها مؤسسة الكويت للتقدم العلمي على الجهد المتميز الذي بذله في التدقيق اللغوي لفصول هذا الكتاب. والشكر موصول للأساتذة المحكمين الذين قاموا بالمراجعة العلمية القيمة للكتاب الأستاذ الدكتور عبدالوهاب عبدالرزاق السيد/المستشار العلمي لرئيس هيئة الطاقة الذرية المصرية والأستاذ الدكتور إبراهيم داخلي عبدالرزاق/رئيس هيئة الطاقة الذرية المصرية سابقاً والأستاذ الدكتور علي كرم الدين ضيف/الأستاذ بمركز الأبحاث النووية بهيئة الطاقة الذرية المصرية. كما لا يفوتنا أن نشكر الآنسة نادية المصري التي أنجزت بصبر أعمال الطباعة.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

تمهيـــــد

للأستاذ الدكتور علي عبدالله الشملان

مدير عام مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

ترتبط الطاقة بتقدم الدول فكلما ازدادت الصناعات والنشاطات البشرية وارتفع البناء ازدادت الحاجة إلى الطاقة الكهربائية ومن ثمّ الحاجة إلى الوقود الأحفوري فحماً كان أو نفطاً.

وقد ارتبط إنتاج الكهرباء والماء في دولة الكويت بأعمال البحث والتنقيب عن النفط الخام حيث اعتمدت شركة نفط الكويت آنذاك على استخدام تقنيات إنتاج الكهرباء والماء في أعمال الحفر والتنقيب. كما ارتبط اكتشاف النفط وما صاحبه من رفاهية وتطور سريع في جميع المجالات الاقتصادية والاجتماعية والسكانية، بتبني تكنولوجيا مشتركة لإنتاج الكهرباء والماء تعتمد منذ ذلك الحين على كلٍ من النفط والغاز المستخرج. غير أن الاستخدام المفرط للنفط والغاز على المستوى المحلي والإقليمي والعالمي وما يصاحبه من تصاعد غازات الدفيئة الناتجة من عمليات الاحتراق أدت إلى التأثير السلبي على صحة الإنسان وأيضا على طبقة الأوزون في الجو. وأدى تصاعد غازات الدفيئة إلى ظاهرة تغير المناخ وذوبان الثلوج في المناطق الشمالية من الأرض، مما دعا إلى المناداة على مستوى العالم بالعمل الجاد على خفض كمية المحروقات النفطية (الزيت والغاز) للتقليل من التأثيرات السلبية الناجمة عن استخدامهما في المصانع وعلى الأخص في إنتاج الكهرباء. وثمة دعوة عالمية لتبني مصادر بديلة للطاقة، كالطاقة النووية والطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة الأمواج لإنتاج الطاقة الكهربائية، وذلك للاسهام في الحد من ظاهرة تغير المناخ وتحقيق التحسن البيئي للعالم.

وتعتمد دولة الكويت ودول الخليج العربية اعتماداً كلياً على النفط والغاز المنتج من أراضيها لتشغيل الصناعات النفطية الثقيلة، بالإضافة إلى عمليات تشغيل محطات إنتاج الكهرباء والماء، ونظراً لما يسببه حرق الوقود اللازم في هذه الصناعات من تغير مناخي وتلوث بيئي ناتج من تصاعد كميات من غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وأكاسيد النيتروجين (NO_x) وأكاسيد الكبريت (SO_x) يتناسب مع كمية وطبيعة الوقود المستهلك، فقد أعلن بيان منظمة البلدان المصدرة للنفط (OPEC) الذي عُقد في الرياض في 18

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

نوفمبر 2007 تبرع كل من دولة الكويت ودولة الإمارات العربية المتحدة ودولة قطر بمبلغ 150 مليون دولار كما تبرعت المملكة العربية السعودية (أكبر الدول المصدره للنفط) بمبلغ 300 مليون دولار لتمويل المشاريع التكنولوجية التي تسهم في حل مشكلة تغير المناخ، وذلك لتمويل مشاريع إنتاج "النفط النظيف" عن طريق إزالة ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. كما سيسهم ذلك المبلغ بدعم مشاريع تطوير الطاقة البديلة لحماية البيئة والتصدى لظاهرة تغير المناخ.

ونظراً لأهمية هذا الطرح الجاد على المستوى العالمي وأهمية تبنيه على المستويين الإقليمي والمحلي، فقد قامت مؤسسة الكويت للتقدم العلمي بجهودٍ مميزة في مواكبة الاهتمام العالمي بموضوع الطاقة البديلة والمشاركة في نشر الوعي العلمي بين المختصين والمهتمين في هذا الشأن، حيث أقامت ندوة عالمية بعنوان "نحو الجديد في مجال التحلية وإنتاج الطاقة الكهربائية في الكويت" في الفترة من 9–11 ديسمبر 2007 شارك فيها العديد من المختصين المحليين والعالميين في مجال التحلية والطاقة البديلة، كما أقامت ورشة عمل حول "استخدام الطاقة البديلة في تطبيقات تحلية المياه" بتاريخ 16 نوفمبر 2008.

وعلى صعيد البحث العلمي فقد تبرع صاحب السمو أمير البلاد الشيخ صباح الأحمد الجابر الصباح، رئيس مجلس إدارة مؤسسة الكويت للتقدم العلمي (حفظه الله ورعاه) بمنحة أميرية بقيمة مليون دينار كويتي لمعهد الكويت للأبحاث العلمية لاستغلالها في مشاريع بحثية مرتبطة بمجالات الطاقة المتجددة.

ويأتي هذا الكتاب مكملاً لجهود المؤسسة في نشر علوم وتطبيقات الطاقة النووية لإنتاج الكهرباء والماء في دولة الكويت باللغة العربية وبخاصة بين المختصين والعاملين في مجال إنتاج الكهرباء والماء لتطبيق هذه التقانة وفق القوانين والمعايير الدولية في دولة الكويت بإذن الله.

ونأمل أن يوفر هذا الكتاب المعلومات الكافية حول استخدام الطاقة النووية والقضايا المرتبطة بها في إنتاج الكهرباء وتحلية المياه بدولة الكويت والعالمين العربي والإسلامي، وأن يكون مرجعاً عربياً لصانعي القرار والمسؤولين المهتمين بقطاع الطاقة وتحلية المياه بالإضافة إلى الباحثين والعاملين في هذين المجالين.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

مقدمـــــة

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

لجأت بعض دول العالم إلى التوسع في استخدام الطاقة النووية لإنتاج الكهرباء وتحلية مياه البحر نتيجة ارتفاع أسعار النفط (زيت البترول والغاز الطبيعي وسنطلق عليهما في هذا الكتاب اسم **الوقود النفطي**) بالإضافة إلى احتمال تضاؤل موارده. وقد شجعت الزيادة في استهلاك الوقود النفطي (وبالتالي إرتفاع أسعاره) دولا كثيرة بما فيها الدول المصدرة للبترول للبحث عن بدائل أرخص للوقود النفطي لتوليد الكهرباء وتحلية المياه حيث يقلل الوقود المستهلك داخل هذه الدول من مخزونها أو يقلل من دخلها (نتيجة عدم بيعه) كما أن غازات الدفيئة الناتجة (Green House Gases) من حرق الوقود الأحفوري (الفحم وزيت البترول والغاز الطبيعي) يؤدي إلى الاحترار العالمي مما يؤثر سلباً على البيئة.

وتستهلك المحطات المشتركة لتوليد الطاقة الكهربائية وتحلية المياه (وسنطلق عليها اسم **المحطات المشتركة**) كميات هائلة من الوقود النفطي ولا يمكن الاستمرار في استخدام هذا الوقود إلى ما لا نهاية حيث إن مخزونه محدود ويتناقص باستمرار لذا يجري البحث عن وقود (أو طاقة) له صفه الإستدامة (أو متجددة) مثل الطاقة الشمسية (Solar Energy) وطاقة الرياح (Wind Energy) وطاقة الأمواج (Wave Energy) وطاقة المد والجزر (Tidal Energy) والطاقة الأرضية الحرارية (Geothermal Energy) على أن نسبة (حصة) إنتاج الطاقة الكهربائية من تلك الطاقات المتجددة ضئيل (لا يتعدى 1%) ولا يتوقع زيادة هذه الحصة كثيراً خلال العقدين أو الثلاثة القادمة وذلك لارتفاع تكلفة إنتاج الكهرباء منها.

وتمثل الطاقة النووية حالياً البديل الاقتصادي الممكن والوحيد لطاقة الوقود الأحفوري (الفحم والنفط) لتوليد الطاقة الكهربائية وتحلية مياه البحر بكميات كبيرة، غير إن استخدام الطاقة النووية يثير قلقاً لدى الكثيرين وتساؤلات حول الآتي:

- مدى الأمان في استخدام الطاقة النووية لإنتاج الكهرباء (محطات الطاقة النووية).
- ارتفاع رأس المال اللآزم لإنشاء محطات الطاقة النووية.
- التأثير الإشعاعي على الجو المحيط بالمحطات وعلى العاملين بها على المديين القصير والبعيد.

ويجب ألاّ يُفهم التساؤل حول إمكانية استخدام محطات الطاقة النووية تشكيكاً بأهميتها، حيث إنها قد تكون الخيار الوحيد المتاح. أما التساؤل الحقيقي فيجب أن يكون حول كيف ومتى يصبح استخدام الطاقة النووية آمناً بصورة جذرية وبتكلفة منخفضة، ويمكن تطبيقها في الدول المتقدمة أو في الدول النامية

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

وعندها يمكن أن تصبح الطاقة النووية من الطرق الاقتصادية والمستدامة لإنتاج الطاقة الكهربائية وتحلية المياه خاصة إذا ما تم حل المشكلات المتعلقة بها بوجه عام.

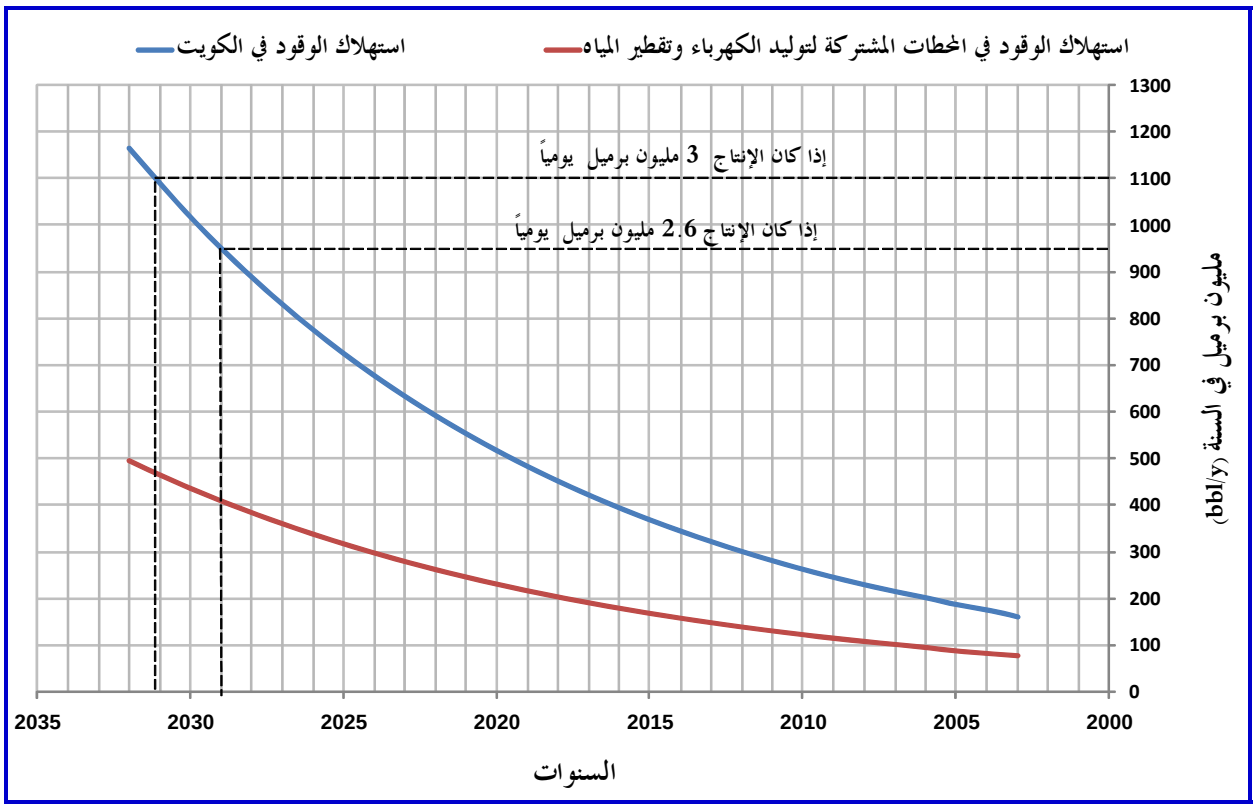
وتعتبر الطاقة النووية إحدى بدائل الوقود الأحفوري مثل الفحم أو الوقود النفطي (زيت الوقود والغاز الطبيعي) في إنتاج الطاقة الكهربائية. ويعتمد كثير من الدول على محطات الطاقة النووية لتلبية نسب مختلفة من حاجتها إلى الطاقة، كما أن هناك خططاً لبناء عدد من المفاعلات المختلفة في كثير من دول العالم.

ومن الأسباب التي يسوقها مؤيدو أو أنصار توليد الطاقة الكهربائية باستخدام محطات الطاقة النووية الآتي:

- يتم إنتاج الطاقة الكهربائية دون انبعاث ملوثات للبيئة مثل ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين والتي تنبعث من احتراق الوقود الأحفوري مثل الفحم أو الوقود النفطي (الزيت والغاز الطبيعي) في المحطات التقليدية.
- تعمل المحطات النووية بصفة مستمرة بعامل قُدْرَة (capacity factor) مرتفع يصل إلى 90%.
- يوفر استخدام الطاقة النووية الحفاظ على كميات هائلة من زيت الوقود والغاز الطبيعي لاستخدامات وصناعات أخرى أو دخلاً مالياً من بيعه (بالنسبة لدول الخليج العربي المنتجة للبترول).
- انخفاض سعر إنتاج الطاقة الكهربائية (لكل ميجاوات ساعة، MWh) من المحطات النووية مقارنة بالمحطات التقليدية، وعليه فستنخفض تكلفة المياه المنتجة بواسطة عمليات التحلية.
- يمثل اليورانيوم والثوريوم مصدر طاقة متوفر بدرجة كبيرة كما يمكن معالجة الوقود النووي المستهلك لإعادة استخدامه وبالتالي يمثل طاقة مستدامة تقريباً.
- أدى التقدم الكبير في تصميم وإنشاء المحطات النووية إلى انخفاض تكلفة رأس المال المطلوب والمدة المطلوبة لإقامة تلك المحطات كما زادت الخبرة في إدارة وتشغيل محطات الطاقة النووية غير أن المشكلة التي تواجه استخدام الطاقة النووية هي التخلص من النفايات النووية.

ومما يؤيد نهج استخدام الطاقة النووية الزيادة المطرده الحاصلة في استهلاك الوقود التقليدي (زيت الوقود والغاز الطبيعي) في الكويت وخاصة في المحطات المشتركة لتوليد الطاقة الكهربائية وتحلية مياه البحر، فقد بلغ استهلاك الوقود في عام 2003 ما يقرب من 161.15 مليون برميل مكافئ، وازداد إلى 214.88 مليون برميل مكافئ عام 2007 أي بنسبة مئوية قدرها 7.3% ولو استمرت الزيادة بالمعدل نفسه فسيصل الاستهلاك إلى أكثر من 952 مليون برميل مكافئ سنوياً عام 2029 وإذا كان الانتاج 2.6 مليون برميل يومياً فإنه خلال 20 عاماً يمكن أن تستهلك الكويت إنتاجها كله من البترول لو استمر معدل الإنتاج على ما هو عليه. كما ستستهلك المحطات المشتركة نصف هذه الكمية خلال عشرين عاماً.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 1: استهلاك الوقود في المحطات المشتركة لتوليد الكهرباء وتحلية الماء خلال الأعوام 2003-2007، والتوقعات المستقبلية لهذا الإنتاج.

يقدم هذا الكتاب فكرة عن أنواع المفاعلات وعملية الانشطار النووي المنتجة للطاقة الحرارية اللاّزمة لتوليد البخار في محطات الطاقة النووية والإشعاعات الناتجة من هذه العملية، ثم ستجري مناقشة ملاءمة ظروف دولة الكويت لبناء محطات طاقة نووية لإنتاج الطاقة الكهربائية وتحلية مياه البحر، كما ستجري مناقشة الفرق بين دورة البخار المستخدمة في محطات الطاقة النووية ومحطات الطاقة التقليدية العاملة بالكويت وكيفية ربطهما بوحدات التحلية، ويلي ذلك مناقشة الأمان في محطات الطاقة النووية وأسباب التخوف لدى الجمهور الذي نشأ بعد كارثة تشرنوبيل النووية وبيان استحالة حدوثها مرة أخرى بمحطات الطاقة النووية التجارية. ويختم الكتاب بعلاقة الطاقة النووية ببعض القضايا البيئية المهمة.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

الباب الأول

مقدمة حول الطاقة النووية

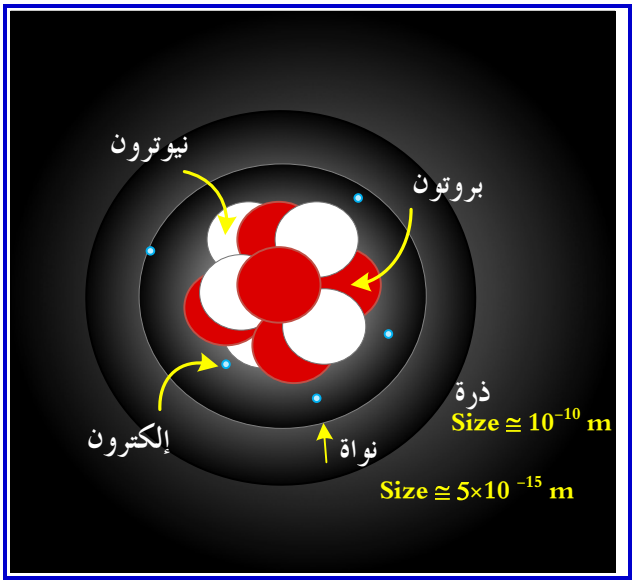
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

١. الطاقة النووية

تنطلق الطاقة النووية أو الطاقة الذرية عند حدوث تغير في نوى (جمع نواة nucleus) الذرات (جمع ذرة atom)، وتحتوي الذرة على نواة تدور حولها إلكترونات (electrons) ويوجد في النواة بروتونات (protons) ونيوترونات (neutrons) يمثل وزنهما معظم وزن الذرة (أكثر من 99.9% من وزن الذرة مع أن حجمها أقل من 1000/1 من حجم الذرة)، وتتولد طاقة عند حدوث إنشطار (أو إنقسام) (fission) في الذرات الكبيرة الوزن مثل ذرات اليورانيوم التي تنقسم إلى جزيئين أو أكثر. وينتج من ذلك مواد جديدة وانطلاق للطاقة، ويلاحظ أن مجموع وزن النوى الناتجة بعد الانشطار أقل من وزن النواة المنقسمة بسبب تحول الوزن المفقود إلى طاقة ومن المعروف أن الذرة تتكون من:

١. بروتونات تحمل شحنات موجبة ونيوترونات لا تحمل شحنات ومن ثمّ تكون شحنة النواة موجبة.
٢. إلكترونات تحمل شحنات سالبة وتدور حول النواة (انظر الشكل 1).



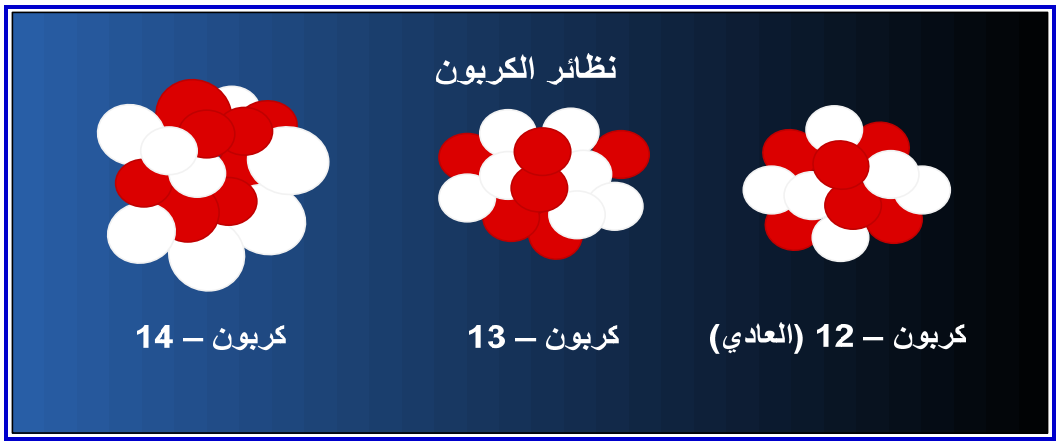
شكل 1: تركيب ذرة من نواة تحتوي نيوترونات وبروتونات تدور حولها إلكترونات [1].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ويُبقي دوران الإلكترونات في مداراتها حول النواة قوة الجذب بين شحنات الإلكترونات السالبة والسارية في مداراتها والشحنات الكهربائية الموجبة في النواة. أما داخل النواة فترتبط النيوترونات والبروتونات بقوة ارتباط نووية كبيرة يؤدي تفكك ارتباطها إلى تولد طاقة كبيرة عندما تنشطر النواة. ويسمى عدد البروتونات في الذرة الرقم الذري (atomic number) وهو يحدد الخاصية الكيميائية للذرة أما الوزن الذري (atomic weight) فهو مجموع كتلتي البروتونات والنيوترونات.

وعند تساوى عدد البروتونات في كل نواة لذرتين مختلفتين واختلاف عدد النيوترونات في كل منهما، فإن كل ذرة منهما تسمى نظيراً للذرة الأخرى (isotope). ويوجد في الطبيعة عدة مواد كيميائية يكون لها نظير أو أكثر؛ ومثال ذلك ذرة البورون (boron) لها نظيرين: النظير الأول تحتوى نواته على 5 بروتونات و5 نيوترونات ويكتب B-10 بينما تحتوي نواة النظير الآخر على 5 بروتونات و6 نيوترونات ويكتب B-11. وكما هو موضح في الشكلين 2-أ و2-ب، فإن لكل من الهيدروجين والكربون أكثر من نظير له في الطبيعة.

شكل 2–أ: نظائر الهيدروجين.



شكل 2–ب: نظائر الكربون.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

وتحتوي ذرة جميع نظائر اليورانيوم (14 نظير) على 92 بروتوناً في النواة وتتشابه كيميائياً ولكنها تختلف في عدد النيوترونات الموجودة في نواة كل ذرة وتسمى هذه الأنواع نظائر اليورانيوم. ومعظم اليورانيوم الموجود في الطبيعة (حوالي 99.3%) هو يورانيوم-238 (U-238) ويسمى يورانيوم طبيعي والذي يحتوي على كمية قليلة (حوالي 0.7%) من يورانيوم-235 (U-235) ويمثل العدد 235 أو 238 مجموع عدد النيوترونات مضافاً إليها عدد البروتونات الموجودة في كل ذرة، ولدى اليورانيوم-235 (U-235) قابلية أكبر لامتصاص النيوترونات، وبالتالي احتمال أكبر لحدوث الانشطار النووي به مقارنة باليورانيوم-238 (U-238) الذي يصعب انشطاره (نسبة انشطاره أقل من 3% في مفاعلات الماء الخفيف التجارية).

٢. عملية الانشطار النووي

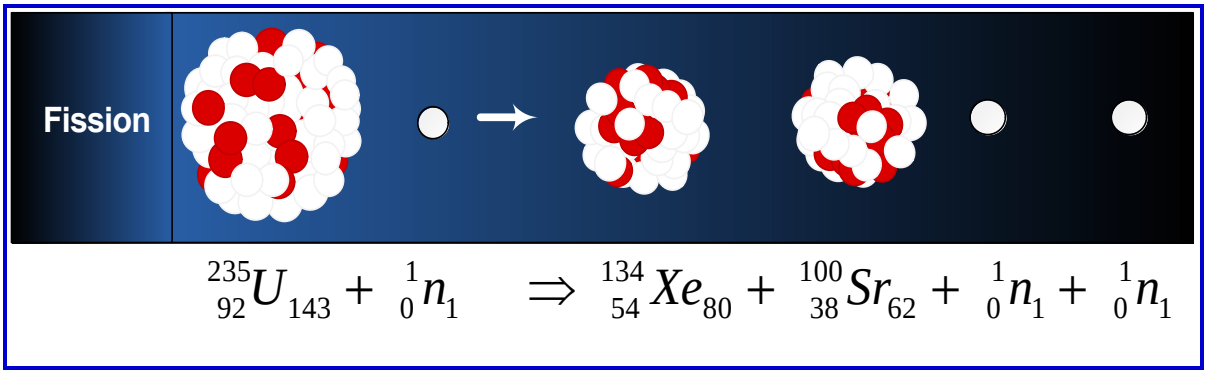
تنقسم الذرة في عملية الانشطار النووي إلى شطرين أو أكثر تسمى النويدات (nuclides) بالإضافة إلى انطلاق جسيمات مثل النيوترونات والإلكترونات. ولا يُحدِث الانشطار النووي أي تغير في عدد النيوترونات أو البروتونات؛ فمجموع كل من النيوترونات والبروتونات متساويان قبل وبعد التفاعل ويمثل الشكل 3-أ عملية الانشطار النووي لنظير اليورانيوم-235 (U-235) التي تبدأ عندما تصطدم نواة اليورانيوم-235 (U-235) مع نيوترون فتمتصه ويصبح الناتج نظير اليورانيوم-236 ولكن النواة تحافظ على بروتوناتها الـــ 92 أي تبقى يورانيوم، ويؤدي إضافة نيوترون واحد إلى جعل النواة غير مستقرة وتبدأ فوراً بالانشطار إلى شطرين مثل الاسترونشيوم-100 (Sr-100) (strontium-100) والزينون-134 (Xe-134) (xenon-134) بالإضافة إلى عدد 2 نيوترون ويمكن تمثيل ذلك كالتالي:

$$\text{U-235} + \text{n} \longrightarrow \text{Xe-134} + \text{Sr-100} + 2\text{n} + \text{E}$$

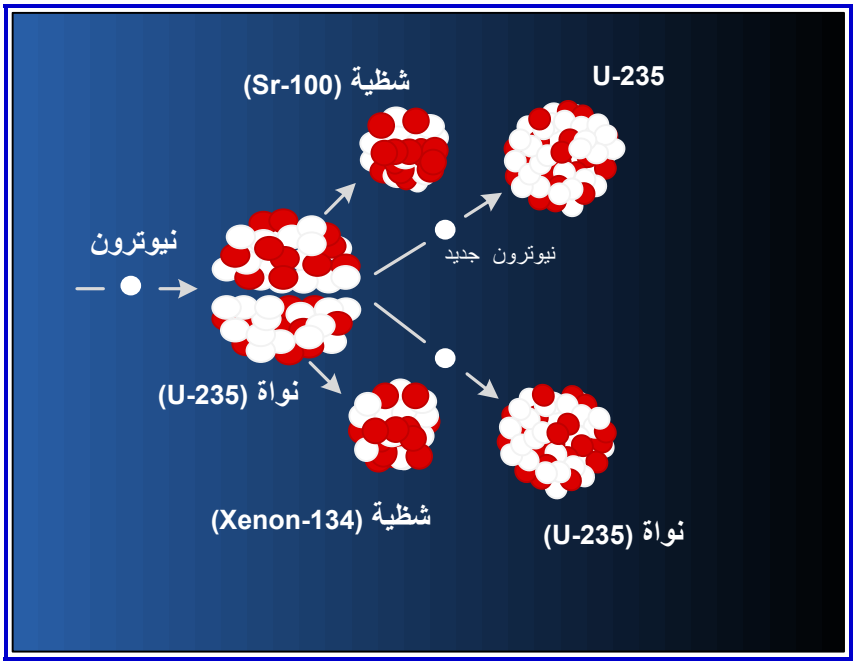
كما يلاحظ أن النيوترونات الناتجة من الانشطار السابق تصطدم بذرات يورانيوم-235 أخرى فيتكرر الانشطاركما يوضح الشكل 3-ب. ويمكن أن يؤدي الانشطار إلى إنتاج مواد أخرى تسمى شظايا (fission fragment) مثل الكريبتون (krypton) والباريوم (barium) كما يبين الشكل 4.

ويرافق عملية الإنشطار النووي داخل المفاعل إطلاق كمية كبيرة من الطاقة؛ مثل طاقة حركة النويدات والنيوترونات الناتجة، كما ينتج من اصطدام الجسيمات مع بعضها انتقال الطاقة إلى جسيمات أخرى وزيادة درجة حرارة مكونات المفاعل. والزيادة في الطاقة الحركية تساوي ما يُفقد في الكتلة مضروباً في مربع سرعة الضوء.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

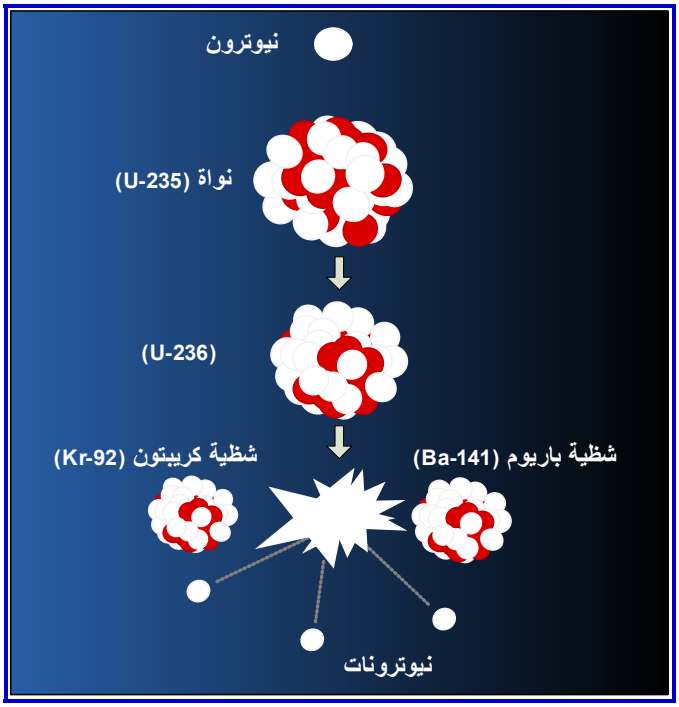


شكل 3–أ: عملية الانشطار النووي لنظير اليورانيوم U-235 [1].



شكل 3–ب: تسلسل الانشطار النووي لنظير اليورانيوم U-235 الذي يعطي استرونشيوم وزينون ونيوترونات تعمل على انشطار نظائر جديدة لليورانيوم–235 (U-235).

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



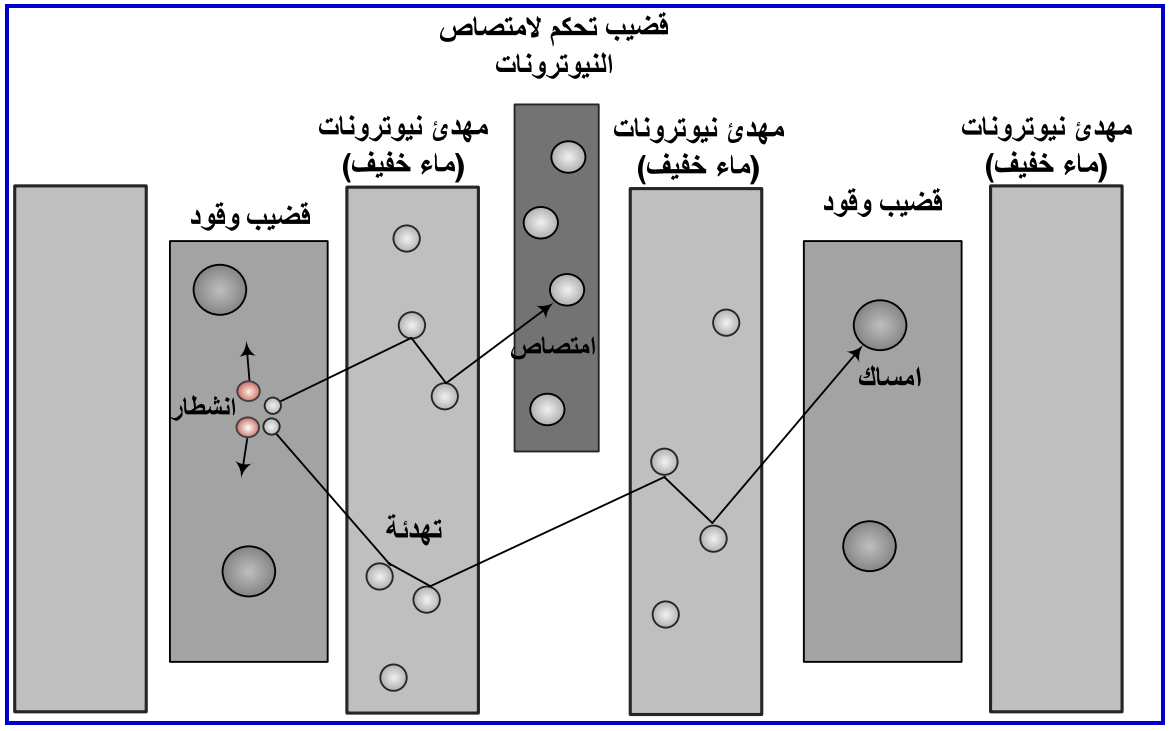
شكل 4: انشطار النظير (U-235) نتيجة امتصاص نيوترون لينتج باريوم –141 (Ba-141) وكريبتون–92 (Kr-92) وثلاثة نيوترونات.

ويستخدم نظير اليورانيوم–235 (U-235) لبدء سلسلة الانشطار النووي، فعند إنقسام ذرة يورانيوم–235 (U-235) إلى ذرتين ونيوترونين وطاقة (شكل 3–ب)، تقوم النيوترونات المنطلقة بتقسيم (أو شطر) ذرات يورانيوم–235 أخرى والتي بدورها تطلق نيوترونات تشطر ذرات يورانيوم–235 أخرى وهكذا. وإذا استمر هذا التفاعل المتسلسل (chain reaction) تحت السيطرة تنتج الطاقة النووية. ويحدث هذا التفاعل المتسلسل نفسه في القنابل الذرية ولكن بدون سيطرة [2].

وليتم امتصاص نيوترون بواسطة ذرة يورانيوم–235 (U-235) كي يحدث الانشطار يجب إبطاء النيوترونات بوسيط مهدئ يسمى (moderator) أو مثبط، حيث تصطدم النيوترونات بذرات الوسيط المهدئ وتنقل إليها جزءاً من طاقتها الحركية فتبطئ النيوترونات لتتمكن نويات اليورانيوم–235 من الإمساك بها. (شكل 5) ويستخدم في بعض المفاعلات الماء العادي (يسمى الماء الخفيف) كوسيط مهدئ ومبرد للوقود (أي ممتص للحرارة الناتجة من التفاعل النووي) وتسمى مفاعلات الماء الخفيف (light water reactor)، ويستخدم في مفاعلات أخرى الماء الثقيل أكسيد الديوتيريوم (deuterium oxide) كوسيط مهدئ والماء الثقيل (heavy water) نفسه كمبرد للوقود (ولكن في دورة أخرى) وتسمى مفاعلات الماء الثقيل (heavy water reactor). وتتم السيطرة على عملية الانشطار عادة

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

بواسطة مهدئات للنيوترونات ليزيد الانشطار أو عن طريق مواد ماصة لتلك النيوترونات كالبورون (boron) ليقل الانشطار. ولتستمر عملية الانشطار المتسلسل في المفاعلات يجب أن تكون هناك كمية كافية من المواد القابلة للانشطار، وتسمى أقل كمية مطلوبة لاستدامة الانشطار بالكتلة الحرجة (critical mass)، وتعتمد الكتلة الحرجة على نوع المفاعل وظروفه، وإذا ما تم تحميل المفاعل بالكمية المطلوبة للكتلة الحرجة، فإن جزءاً من الوقود سوف يستعمل وتقل كمية الوقود عن الكمية المطلوبة للكتلة الحرجة ويتوقف التفاعل. ولتجنب ذلك يجري تحميل المفاعل بكمية وقود إضافية لاستمرار عملية التفاعل المتسلسل، لمدة 24 شهراً مثلا، دون تحميل وقود (refueling).



شكل 5: ترتيب الوقود وقضبان التحكم ومهدئ النيوترونات (الماء الخفيف) في مفاعلات الماء الخفيف، وكيفية امتصاص النيوترونات [3].

٣. أنواع المفاعلات في محطات الطاقة النووية

تتشـــابه محطات الطاقة البخارية النووية مع محطـــات الطاقة البخارية التي تستخدم الوقـــود الأحفوري (fossil fuel) (الفحم والزيت والغاز الطبيعي) في أن كل منهما تنتج بخاراً يدير توربيناً بخارياً، (steam turbine) وهذا بدوره يدير مولداً كهربائياً ينتج الطاقة الكهربائية. ويخرج البخار بعد تمدده في التوربين البخاري إلى مكثف (condenser) حيث يتحول إلى سائل ثم يُضخ إلى مولد البخار

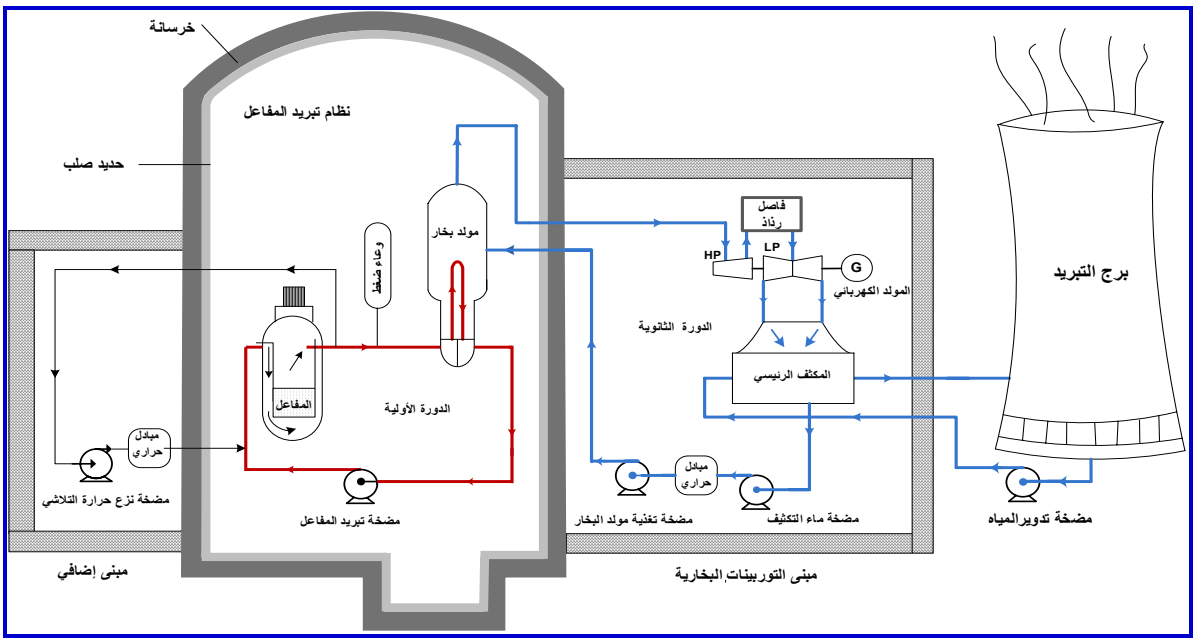
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

(steam generator) كماء تغذية، ويتم تسخينه قبل دخوله إلى مولد البخار في مسخنات التغذية (feed water heaters) بواسطة بخار يجري سحبه من التوربين. والفرق الأساسي بين المحطة النووية والمحطة التقليدية هو المصدر الذي يُستخدم في تحويل ماء التغذية إلى بخار يزود به التوربين، ففي حين يأتي المصدر الحراري من احتراق الوقود النفطي في المحطات العادية، تتولد الحرارة في المحطات النووية نتيجة انشطار نوى اليورانيوم–235 (U-235) داخل مفاعل، وتسمى هذه العملية انشطار نووي، وقد يتحول ماء التغذية إلى بخار داخل المفاعل نفسه وعندها يسمى مفاعل ماء مغلي (boiling water reactor)، أو يجري تسخين ماء تحت ضغط مرتفع (ليمنع غليان الماء في المفاعل) ويدور في دورة مغلقة ثم ينقل هذا الماء إلى مولد بخار منفصل فينقل حرارته إلى ماء التغذية ويحوله إلى بخار (في دورة ثانية لا تختلط بدورة الماء المضغوط) وعندها يسمى مفاعل الماء المضغوط (pressurized water reactor).

١.٣ مفاعلات الماء الخفيف المضغوط (PWR)

يبين الشكل 6 رسم توضيحي لمحطة طاقة نووية تعمل بمفاعل ماء خفيف (عادي) مضغوط (pressurized light water reactor) حيث يجري سريان ماء خفيف تحت ضغط مرتفع (حوالي 15-20 MPa لدرجة لا يتم معها غليان هذا الماء) في المفاعل لامتصاص حرارة الانشطار في دورة أولية primary (loop)، ويخرج بعدها من المفاعل عند درجة حرارة مرتفعة (حوالي 300 درجة مئوية) ويدخل إلى مولد بخاري لينقل حرارته المكتسبة من المفاعل إلى دورة ماء ثانوية (secondary loop) خارج أنابيب الدورة الأولى، ثم يعود ماء الدورة الأولى إلى المفاعل بعد أن يفقد حرارته، وتتكرر هذه الدورة. ويلاحظ أنه إذا حدث غليان لماء الدورة الأولى (وهو أمر نادر)، فإن الماء يفقد كثيراً من خاصيته كوسيط مهدئ للنيوترونات، وبالتالي يتم الحفاظ على ارتفاع ضغط ماء الدورة الأولى بواسطة وعاء ضاغط (pressurizer) لتحاشي حدوث هذا الغليان.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 6: رسم توضيحي لمحطة طاقة نووية تعمل بمفاعل الماء الخفيف المضغوط [4].

أما ماء الدورة الثانية، فيسمح له بالغليان بعد انتقال الحرارة إليه (عبر أنابيب دورة الماء الأولى من دون الاختلاط معها) في المولد البخاري ثم يتجه البخار المتولد إلى التوربين البخاري فيديره، وبدوره يدير هذا التوربين المولد الكهربائي لينتج طاقة كهربائية، ويخرج البخار بعد تمدده من التوربين إلى المكثف حيث يتحول إلى سائل ثم يُعاد ضخه إلى المولد البخاري لإعادة الغليان وهكذا.

ويجري التحكم في قدرة المفاعل أثناء تشغيله بتغيير معدل سريان البخار المطلوب إلى التوربين البخاري، فعندما يقل الحمل الكهربائي المطلوب من المولد الكهربائي تزيد سرعة التوربين وتبدأ أجهزة التحكم بإجراء إغلاق جزئي لصمام البخار المركب على التوربين فيقل سريان البخار، وبذلك ترتفع درجة حرارته في المولد البخاري وكذلك ماء تبريد المفاعل وهذا يقلل التفاعل الانشطاري بمجرد ارتفاع درجة الحرارة، وكما يمكن للمشغل أن يُنْزِل قضبان التحكم (control rods) المسماة (الأعمدة الرمادية) لامتصاص النيوترونات وتقليل التفاعل (انشطارالوقود) وبالتالي تقليل درجة حرارة ماء تبريد الوقود حسب احتياجات الحمل ومع أن إحدى طرق خفض قدرة المفاعل تتم بإضافة البورون لامتصاص النيوترونات، فإنه يمكن الاستغناء عن هذه الطريقة (في الأحوال العادية) والاكتفاء بالأعمدة الرمادية لتجنب معالجة آلاف الجالونات بالبورون لتغيير تركيزه.

وفي هذا النوع من المفاعلات يعمل الماء الخفيف (العادي) كعامل مهدئ للنيوترونات وفي الوقت نفسه كمبرد لقلب المفاعل (core) وهو النموذج المقترح استخدامه لمحطة الطاقة النووية في دولة الكويت ودول

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

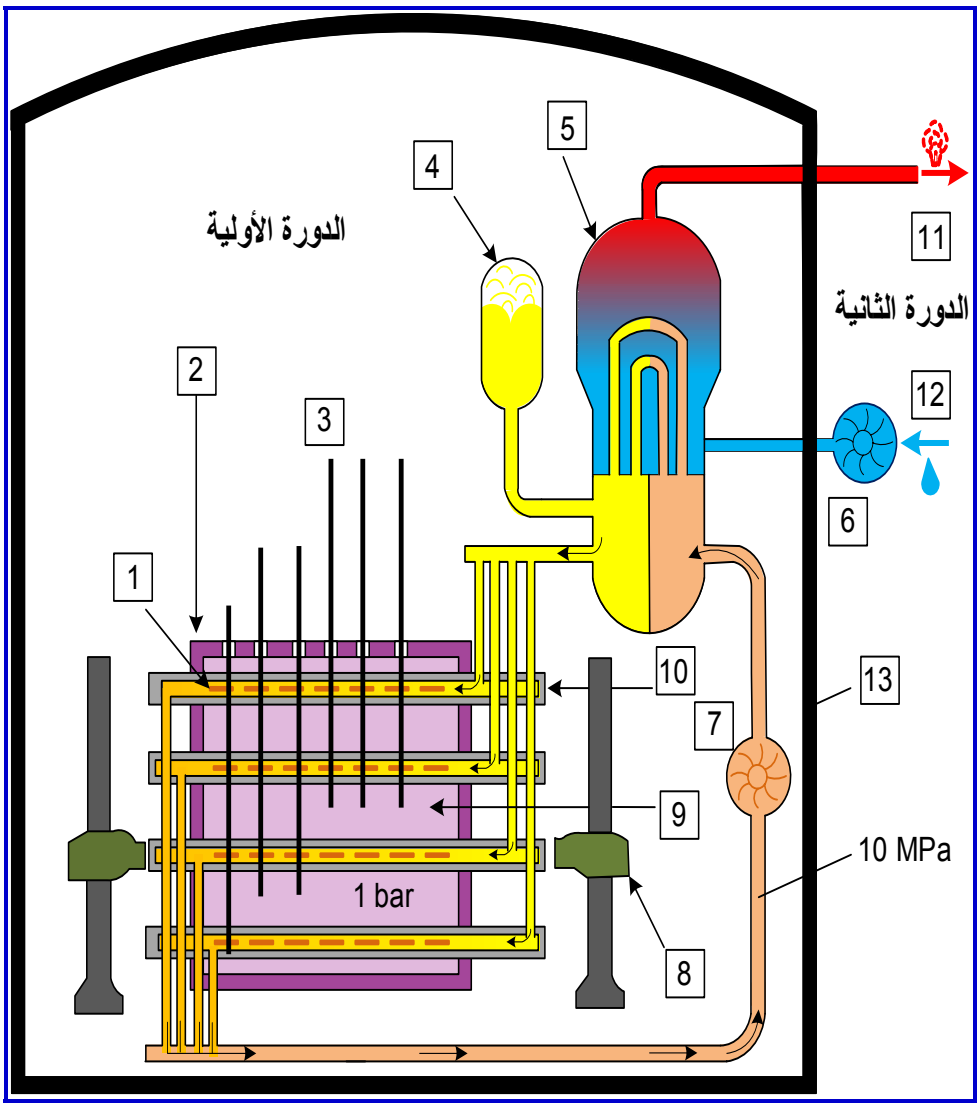
الخليج العربية، وستجري مناقشة هذا النوع من المفاعلات بشيء من التفصيل في الباب الثاني والباب الثالث.

٢.٣ مفاعلات الماء الثقيل المضغوط (PHWR)

يعرض الشكل 7–أ رسماً توضيحياً لمحطة طاقة نووية تعمل بالماء الثقيل المضغوط. وتشبه مفاعلات الماء الثقيل المضغوط (Pressurized Heavy Water Reactor) مثيلاتها من مفاعلات الماء الخفيف المضغوط بإستثناء أن الدورة الأولى لتبريد المفاعل يمر بها ماء ثقيل يسري تحت ضغط مرتفع يعادل 10 ميجاباسكال (MPa) عبر قنوات أسطوانية أفقية (أنابيب ضغط pressure tubes مصنعة من سبيكة الزركونيوم–نيوبيوم) تحتوي على حزم الوقود النووي (شكل 7–ب) والتي تتكون من أقراص ثاني أكسيد اليورانيوم الطبيعي ceramic natural UO_2 pellets، والذي يحتوي على حوالي 99.3% بالوزن من U-238، وحوالي 0.7% من U-235، حيث يعمل هذا الماء الثقيل ذو الضغط العالي على امتصاص الحرارة الناتجة من الانشطار.

وتكون هذه القنوات مغمورة في خزان كبير(calandria) يسري عبره ماء ثقيل أيضاً في دورة منفصلة ومفتوحة، وبذلك يكون ضغطه مساوياً الضغط الجوي تقريباً 1 بار (Bar) حيث يعمل هنا كوسيط مهدئ (moderator) ويجري تبريد هذا الوسيط المهدئ في مبادلات حرارية خارج الخزان. (لا تظهر عملية تبريد الوسيط المهدئ في شكل 7–أ للتبسيط)

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 7-أ: رسم توضيحي لمفاعل الماء الثقيل المضغوط (كاندو) [5].

1 حزمة وقود.	6 مضخة الماء الخفيف.	11 البخار الذاهب إلى توربين بخاري.
2 قلب المفاعل.	7 مضخة الماء الثقيل.	12 الماء العائد من التوربين.
3 قضبان تحكم.	8 ماكينة تزويد الوقود.	13 مبنى خرساني لاحتواء المفاعل ومولد البخار ووعاء الضغط.
4 وعاء ضغط الماء الثقيل.	9 الماء الثقيل مهدئ النيوترونات.	
5 مولد البخار.	10 أنابيب ضغط.	

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

وتعد مفاعلات الكاندو (CANDU) أحد أشهر المفاعلات التجارية التي تعمل بالماء الثقيل المضغوط، وفيها يخرج ماء تبريد الدورة الأولى من قلب المفاعل عند درجة حرارة قريبة من 300 درجة مئوية بعد امتصاص ما يقرب من 95% من الحرارة الناتجة من الانشطار النووي ليدخل مولد البخار وينقل كمية الحرارة التي تم امتصاصها من المفاعل إلى الدورة الثانوية (والتي تستخدم ماء عادي أي خفيف يسمح له بالغليان) ثم يعود الماء الثقيل من مولد البخار إلى المفاعل (بالدائرة الأولية) عند درجة حرارة تقارب 260 درجة مئوية. أما الدورة الأولية فهي دورة مغلقة تعمل عند ضغط 10 ميجاباسكال (MPa) ويتم الاحتفاظ بهذا الضغط بواسطة وعاء ضاغط (pressurizer) متصلة بالدورة الأولية. أما البخار الناتج من الدورة الثانوية فيتجه من مولد البخار إلى توربين بخاري ليتمدد فيه وينتج شغلاً، ويقوم التوربين بإدارة المولد الكهربائي فينتقل البخار بعد تمدده في التوربين إلى المكثف لكي يتكثف ويعود إلى مولد البخار كما في حالة مفاعلات الماء الخفيف المضغوط.

شكل 7–ب: صورة حزم وقود مفاعل كاندو [5].
(طول حزمة الوقود النووي 50سم وقطرها 10سم).

وتتشابه مفاعلات الماء الثقيل المضغوط والمفاعلات التي تستعمل الماء الخفيف المضغوط باستثناء مايلي:

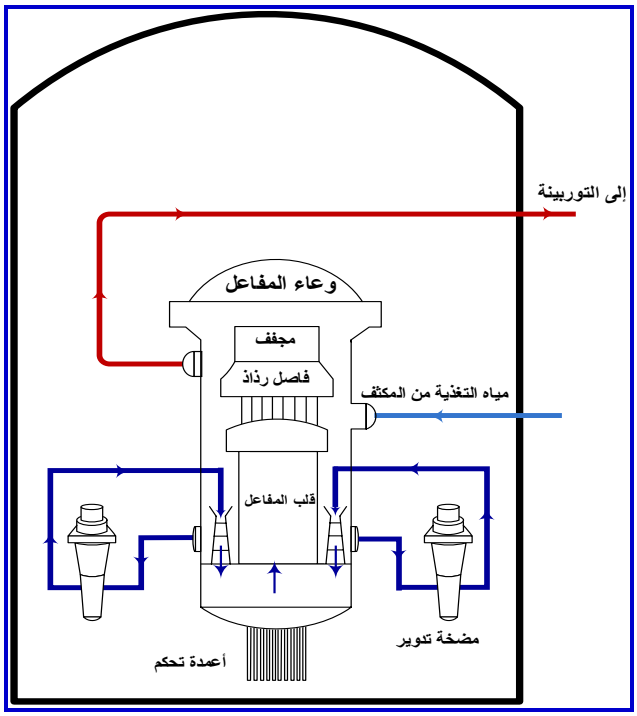
١. يُستعمل الماء الثقيل كمبرد للوقود النووي ويعمل تحت ضغط مرتفع (10 MPa).
٢. يُستعمل الماء الثقيل كمهدئ للنيوترونات (عند ضغط يقارب الضغط الجوي)، ويلاحظ أن دورتي مبرد المفاعل ومهدئ النيوترونات منفصلتان تماماً.
٣. يُمكِّن استعمال الماء الثقيل من استخدام اليورانيوم–238 (U-238) الطبيعي كوقود.
٤. يقوم الماء الثقيل (مهدئ النيوترونات) أثناء مروره في حوض المفاعل بامتصاص ما يقرب من 5% من الحرارة الناتجة من المفاعل أثناء التشغيل، لذا يتم تبريده بواسطة مبادلين حراريين.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٣.٣ مفاعلات الماء المغلي (BWR)

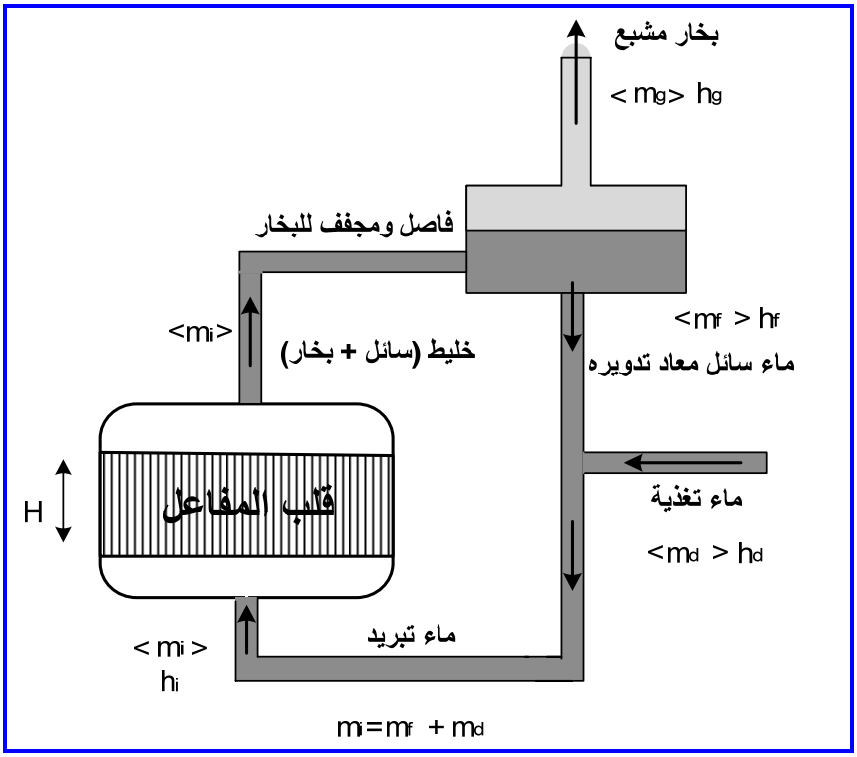
يعرض الشكل 8-أ رسماً توضيحياً لمحطة نووية تعمل بمفاعل الماء المغلي (boiling water reactor) وفي هذا النوع من المفاعلات يجري الاستغناء عن مولد البخار، إذ يغلى الماء مباشرة في أعلى المفاعل ويتجه البخار من المفاعل إلى التوربين البخاري ويتمدد فيه ثم يخرج منه إلى المكثف فيتكثف ويعود إلى المفاعل مباشرة لتغذيته.

ويبين الشكل 8-ب دورةَ ماء التغذية في هذا المفاعل حيث يدخل هذا الماء إلى وعاء المفاعل (reactor vessel) عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة التشبع (saturated temperature) ثم يختلط بماء سائل عند درجة حرارة التشبع ويعاد تدويره في المفاعل ويتم تسخين الخليط (mixture) عند مروره على قلب المفاعل عبر قنوات تبريد قلب المفاعل من الأسفل إلى الأعلى بواسطة الحرارة الناجمة عن الانشطار النووي. ويحدث الغليان في قنوات التبريد عند نهاية قلب المفاعل العلوي ويخرج خليط البخار والسائل المشبع إلى الحيز العلوي للمفاعل ثم ينفصل السائل عن البخار ويتوجه البخار إلى التوربين البخاري بعد فصل رذاذ السائل منه، ليصبح بخاراً مشبعاً. أما السائل المشبع (المنفصل عن خليط السائل والبخار) فيعاد تدويره في المفاعل، ويختلط بالسائل الداخل إلى المفاعل عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة الغليان والعائد من دورة البخار أولاً ثم يسري الخليط إلى قنوات تبريد المفاعل وهكذا.



شكل 8-أ: رسم توضيحي لمحطة نووية تعمل بمفاعل الماء المغلي [11].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 8-ب: دورة إعادة دوران ماء التغذية في مفاعل الماء المغلي [12].

ومما سبق ذكره يتبين أن هناك فروقاً رئيسية بين مفاعلات الماء المغلي ومفاعلات الماء الخفيف المضغوط، كما هو مبين في جدول1، وفيما يلي بيان بعض خواص مفاعلات الماء المغلي:

أ. لا حاجة إلى مولد بخاري منفصل حيث يجري غليان الماء داخل المفاعل نفسه وتكون حالة البخار الناتج من المفاعل عند ضغط 7 ميجاباسكال (MPa) ودرجة حرارة تبلغ 288 درجة مئوية.

ب. يتم التحكم في ضغط المفاعل بواسطة صمامات دخول البخار إلى التوربين وصمامات تصريف البخار من دون المرور على التوربين.

ج. يتم إدخال قضبان التحكم في عملية الانشطار من أسفل المفاعل إلى قلبه (أي من الأسفل إلى الأعلى) وكل قضيب تحكم يتحرك بين أربعة حزم من أنابيب الوقود.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

د. يجري التحكم في قدرة المفاعل، أي في كمية الحرارة الناتجة بواسطة قضبان التحكم، وكذلك بتغيير سريان الماء المعاد تدويره ليمر عبر قلب المفاعل. ففي حين يجري تغيير طاقة المفاعل بمعدل 2% من الطاقة الكلية كل ثانية بواسطة قضبان التحكم، يجري أيضا تغيير معدل سريان الماء المعاد تدويره والذي يقوم بدوره بتغيير كثافة هذا الماء (المتكون عند مروره في قلب المفاعل من خليط سائل وبخار) ومن ثم تتغير قدرته كمهدئ (moderator) للنيوترونات ويتم ضبط معدل السريان بواسطة مضخة متغيرة السرعة (كمضخات المفاعل الداخلية) بحيث يمكن تغيير طاقة المفاعل بمعدل 30% من طاقته الكلية كل دقيقة.

هـ. يمر البخار بعد خروجه من المفاعل إلى التوربين البخاري عبر أربعة أنابيب بخار مجهزه بأبواق (nozzles) لتحد من كمية سريان البخار. فعند حدوث كسر في خط البخار بعد الأبواق (وهو أمر نادر) تحد هذه الأبواق من سريان البخار من وعاء ضغط المفاعل ليبقى دائما أقل من ضغط السريان المعتاد وعند ضغط 7.07 ميجاباسكال (MPa).

جدول (1) الفروق الرئيسية بين مفاعلات الماء المغلي ومفاعلات الماء المضغوط.

نوع المفاعل	مفاعل الماء المغلي	مفاعل الماء الخفيف المضغوط	مفاعل الماء الثقيل المضغوط
الاستخدام	إنتاج الكهرباء	إنتاج الكهرباء وتشغيل السفن	إنتاج الكهرباء والبلوتونيوم
نوع وسيط التبريد	ماء عادي	ماء عادي	ماء ثقيل (أكسيد الديوتوريوم)
وسط مهدئ	ماء عادي	ماء عادي	ماء ثقيل
نوع الوقود	ثاني أكسيد اليورانيوم	ثاني أكسيد اليورانيوم	ثاني أكسيد اليورانيوم
مستوى الإثراء	قليل الإثراء	قليل الإثراء	من دون إثراء (يورانيوم طبيعي)
ملاحظات	يتولد البخار في المفاعل ثم يذهب مباشرة إلى التوربين	يتولد البخار خارج المفاعل في دورة ثانوية	يسمى كاندو وتستخدم في كندا ودول أخرى مثل الهند والباكستان وكوريا الجنوبية ورومانيا والصين

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

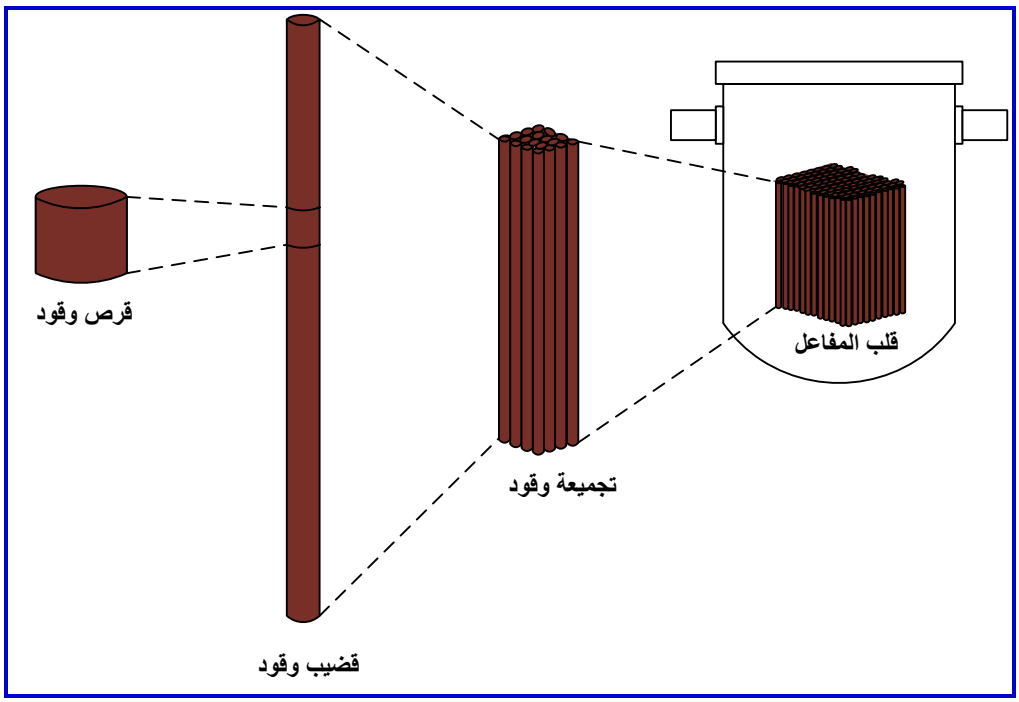
٤. الوقود النووي

يستخدم الوقود المثري من اليورانيوم الطبيعي (U-238) (الذي لا يزيد نسبة اليورانيوم (U-235) فيه عن 0.7%) ويتم في عملية الإثراء (enrichment) رفع نسبة اليورانيوم (U-235) من 0.7% إلى نسبة تتراوح ما بين 3% و5% بالوزن للاستعمال في مفاعلات الماء الخفيف المضغوط أو الماء المغلي. أما في مفاعلات الماء الثقيل المضغوط فإنه يتم استخدام اليورانيوم الطبيعي (المحتوي على 0.7% U-235 أو أكثر قليلاً).

وتستخدم مفاعلات الماء الخفيف المضغوط أكسيد اليورانيوم على شكل إسطوانات صغيرة (أقراص) (pellets) طول كل منها 12 مم وقطرها 9 مم كما هو مبين في الشكل 9، وتبلغ درجة انصهارها 2860 درجة مئوية ويتم إدخالها في أنابيب تغليف (cladding tubes) رقيقة مقاومة للتآكل، وهي مصنعة من سبائك الزركونيوم ويبلغ طول كل منها 3.6 م ويمكنها تحمل درجة حرارة تبلغ 1150 درجة مئوية من دون أن تتلف وتسمى قضبان الوقود، ويجري ملؤها بغاز الهيليوم. يجمع عدد من قضبان الوقود (fuel rods) لتمثل تجميعة وقود (fuel assembly)، وتشكل هذه التجميعات قلب المفاعل (انظر الشكل 10). ومن أهم عوامل الأمان ألا تحتوي تجميعة الوقود على مواد قابلة للانشطار تلقائياً بحيث يحدث تسلسل ذاتي الاستدامة (أو حرجاً) وهو من الأمور الخطيرة التي تؤدي إلى صهر الوقود النووي نتيجة لانبعاث كميات كبيرة من الحرارة والإشعاعات.

شكل 9: صورة أقراص الوقود وقضيب الوقود المستخدم في إحدى مفاعلات الماء الخفيف المضغوط [6]

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 10: تسلسل تكوين قلب المفاعل [7].

ومن الجدير بالذكر أن كيلوجرام واحد من اليورانيوم (U-235) يعطي كمية من الحرارة التي تعطيها 2900 طن فحم أو 2120 متر مكعب زيت وقود، أي أن كل كيلوجرام من اليورانيوم (U-235) يعطي كمية حرارة تساوي 83×10^3 جيجاجول (GJ) ويمكنها توليد طاقة كهربائية قدرها 7.6 مليون كيلووات ساعة (MkWh)، إذا كانت كفاءة المحطة 33%.

ويحتوي قلب مفاعل الماء الخفيف المضغوط والمعروف تجارياً (AP600)، على 66.9 طن يورانيوم كوقود، وتصل نسبة وزن نظير اليورانيوم–235 في أول شحنه بقلب المفاعل من 0.7 إلى 1.9%، وقد تصل هذه النسبة إلى 4.8% عند إعادة التحميل بالوقود (refueling cycle). كما تصل دورة الوقود بالمفاعل إلى حوالي 24 شهر (أي لا يتم تغيير الوقود إلا كل عامين)، ويصل معدل كمية الحرارة المنتجة من كل متر طولي من حزمة الوقود إلى 13.5 كيلوات/متر (kW/m). كما يصل متوسط الطاقة المنتجة من الوقود (وتسمى كثافة طاقة الوقود) إلى 28.89 كيلوات لكل كيلوجرام يورانيوم (kW/kgU). ويصل متوسط طاقة قلب المفاعل بالنسبة إلى الحجم 78.82 كيلوات/لتر (kW/l) ومتوسط تدفق الحرارة (heat flux) بالنسبة إلى مساحة الوقود 2.6 كيلوات/متر مربع. وتبلغ طاقة الوقود المحترق 55000 ميجاوات يوم/طن وقود (MWD/T).

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٥. دورة الوقود النووي (Nuclear Fuel Cycle)

١.٥ وصف عام للعناصر الرئيسية لدورة الوقود النووي

دورة الوقود النووي هي مجموعة من العمليات والأنشطة المطلوبة من أجل تصنيع الوقود النووي وتشعيع (حرق) الوقود النووي في المفاعلات للحصول على الطاقة ومعالجة الوقود النووي أو تخزينه بصفة مؤقتة أو دائمة بعد إتمام حرقه وإخراجه من المفاعل. وتنطوي دورة الوقود النووي على ثلاثة عناصر رئيسة، وهي الطرف الأمامي لدورة الوقود النووي Front end، وعملية تشعيع الوقود في المفاعل، والطرف الخلفي Back end لدورة الوقود النووي [13].

ويشمل الطرف الأمامي لدورة الوقود النووي الأنشطة التالية:

- عمليات استكشاف واستخلاص خامات اليورانيوم، وعمليات الطحن والمعالجة الكيميائية (Milling) للخام للحصول على ركازة اليورانيوم (Uranium Ore Concentrate, UOC) والمعروف باسم الكعكة الصفراء (Yellow Cake).
- عمليات التحويل (Conversion) من ركازة اليورانيوم إلى غاز سادس فلوريد اليورانيوم (UF_6).
- عمليات الإثراء النظائري (Enrichment) لغاز سادس أكسيد اليورانيوم للوصول إلى درجة الإثراء المطلوبة من النظير U-235 (وهي حوالي 2-4%) لمفاعلات الماء الخفيف (LWRs) والمفاعلات الغازية المتقدمة (AGRs)
- عمليات تصنيع وقود المفاعلات (Fuel fabrication) ويشمل ذلك:
  - إعادة تحويل غاز سادس فلوريد اليورانيوم الذي تم إثراؤه إلى ثاني أكسيد اليورانيوم أو أي صورة أخرى من أكاسيد اليورانيوم.
  - كبس مسحوق ثاني أكسيد اليورانيوم على شكل أقراص.
  - تصنيع قضبان الوقود النووي من أقراص ثاني أكسيد اليورانيوم المغلفة في أنابيب رقيقة من سبيكة الزركلوي (سبائك الزركونيوم).
  - تجميع قضبان الوقود النووي على شكل تجميعات الوقود (Fuel Assemblies) أو حزم الوقود (Fuel Bundles) الصالحة للإدخال في المفاعل.
- عملية التشعيع Irradiation

يتم إدخال تجميعات الوقود أو حزم الوقود إلى المفاعل النووي، حيث تتم عمليات الانشطار

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

النووي، وتوليد الطاقة النووية وتمكث شحنة الوقود في المفاعل فترات تتراوح بين سنة وثـــلاث سنوات.

وينطوي الطرف الخلفي لدورة الوقود النووي على:

- التخـــزين المؤقـــت للوقـــود المســـتهلك (Spent Fuel) في مـــوقع المفـــاعل (At Reactor, AR) أو بعيـــداً عن موقع المفاعل (Away From Reactor, AFR).
- إعادة معالجة الوقود المستهلك لاسترجاع البلوتونيوم واليورانيوم.
- تخزين البلوتونيوم واليورانيوم المسترجع.
- تهيئة الوقود المستهلك والنفايات للتخزين بعيد المدى أو التخلص الدائم.
- التخلص الدائم من الوقود المستهلك.

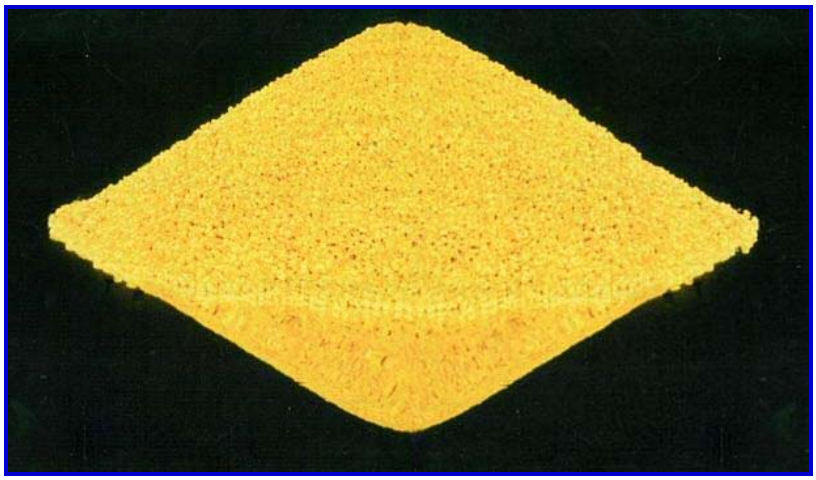
٢.٥ استخراج ومعالجة خام الوقود النووي

يتم استخراج اليورانيوم من المناجم التقليدية والمحتوية على خامات اليورانيوم المعدنية المعروفة. وقد تكون هذه معادن أولية (primary Minerals) مثل اليورانينيت (Uraninite) أو البيتشبلند (Pitchblende) وهـــي أكاسيد اليورانيوم حيث يوجد اليورانيوم في الحالة رباعية التكافؤ، أو المعادن الثانوية مثـــل الكارنوتيـــت (Carnotite) وغيرها حيث يكون اليورانيوم سداسي التكافؤ. وعادة ما تكون نسبة اليورانيوم في الخـــام المستخرج من المنجم في المدى 0.1 إلى 0.5% وقد تزيد هذه النسبة أو تقل كثيراً عن ذلك تبعاً لنوع الخام (شكل 11).

شكل 11: صورة لصخر اليورانيوم وبه ترسبات اليورانيوم [8].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

وتجري عمليات تجهيز الخام التي تشمل التكسير (Crushing) إلى أحجام صغيرة، ثم الطحن على مراحل للحصول على الحجم الحبيبي المناسب، ثم تجري بعد ذلك معالجة الخام بالمحاليل المناسبة لتحويله إلى مركبات ذائبة في هذه المحاليل. وقد تستخدم عمليات النض (Leaching)، بالأحماض لاستخلاص اليورانيوم من الخام، ويمكن استخدم القلويات في هذه العملية إلا أن النض بالحمض (Acid Leaching) هو الأكثر شيوعاً. ويتم ترسيب اليورانيوم من هذه المحاليل على هيئة ركازة اليورانيوم (UOC) أي الكعكة الصفراء (Yellow Cake) كما هو مبين في شكل 12 وهو ثنائي يورانات الأمونيوم (Ammonium Di-Urinate, ADU) أو يورانات الصوديوم (Sodium Uranate). وتحتوي هذه الركازة على حوالي 70-90% من اليورانيوم (مقدراً بأكسيد اليورانيوم U_3O_8).



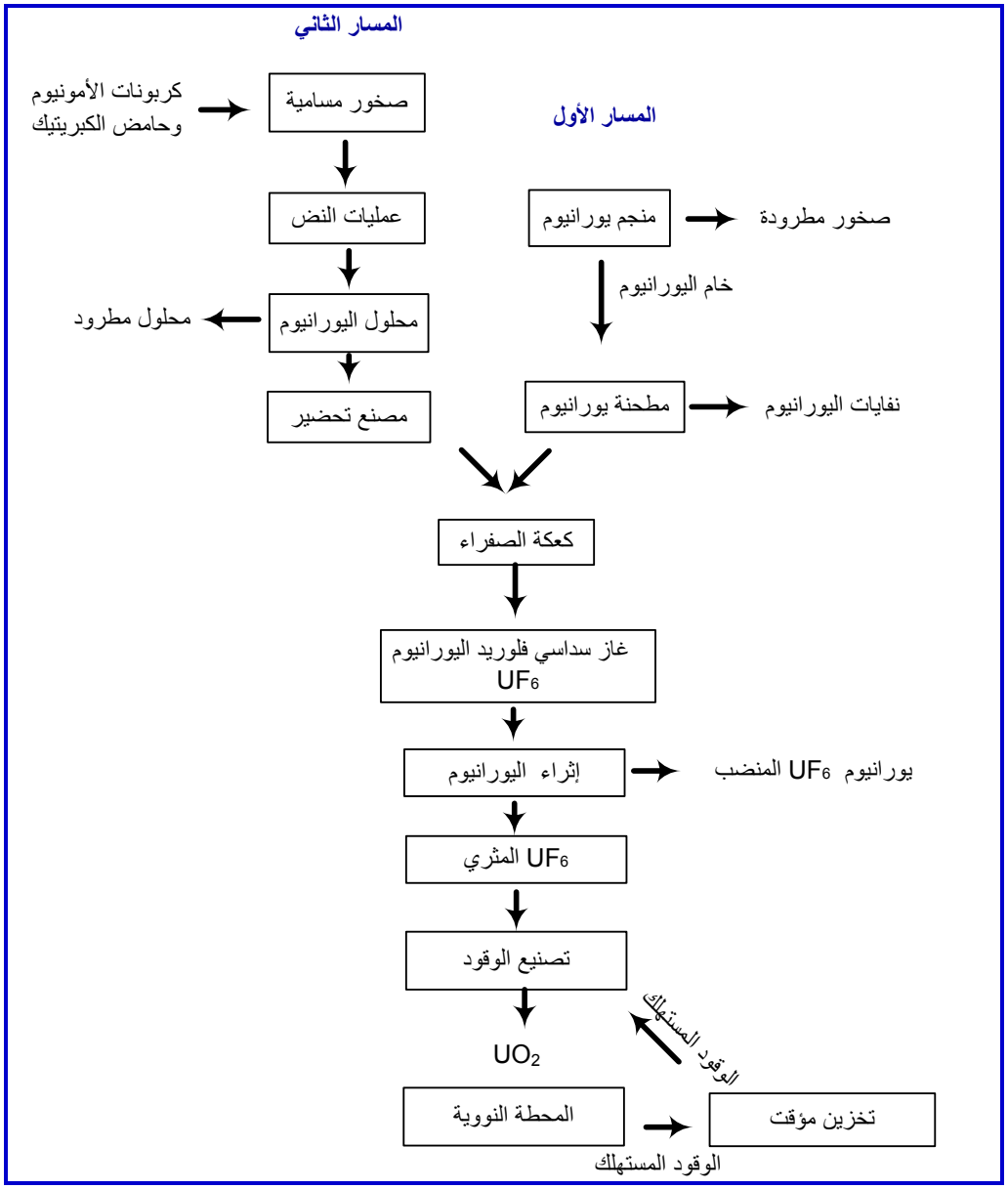
شكل 12: صورة مسحوق خام اليورانيوم–U_3O_8 المسمى بالكعكة الصفراء [8]

٣.٥ تكرير وتحويل اليورانيوم Refining and Conversion

ويتم في هذه المرحلة تكرير ركازة اليورانيوم أو (الكعكة الصفراء) ذات النقاوة التجارية (Commercial Grade) للحصول على اليورانيوم ذي النقاوة النووية (Nuclear Grade)، أي اليورانيوم الخالي من الشوائب، وخاصة الشوائب ذات مقطع الامتصاص النيوتروني العالي. ويتم التكرير بإذابة الكعكة الصفراء في حمض النيتريك، ثم استخلاص اليورانيوم بالمذيب العضوي، ويلي ذلك إعادة ترسيبه في صورة ثنائي يورانات الأمونيوم (ADU) ذات النقاوة النووية. ثم تتم عمليات كلسنة (Calcinations) يورونات الأمونيوم بالتسخين في أفران خاصة عند درجات الحرارة العالية للحصول على ثالث أكسيد اليورانيوم UO_3. ثم يختزل الأخير للحصول على ثاني أكسيد اليورانيوم UO_2. (انظر شكل 13).

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ويستخدم ثاني أكسيد اليورانيوم الطبيعي في تحضير أقراص الوقود (Fuel Pellets) المستخدم في مفاعلات الماء الثقيل المضغوط (Pressurized Heavy Water Reactors, PHWRs) التي تعمل بوقود اليورانيوم الطبيعي (NU)، أما مفاعلات الماء الخفيف (Light Water Reactor, LWRs) فإنها تعمل بوقود اليورانيوم المثري في المدى 2-4% من النظير (235). وينبغي لذلك تحويل ثاني أكسيد اليورانيوم إلى سادس فلوريد اليورانيوم (UF_6) وهو مركب غازي يصلح لتغذية عمليات الإثراء.



شكل 13: دورة الوقود النووي.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٤.٥ إثراء اليورانيوم Uranium Enrichment

وهذه من أهم العمليات في دورة الوقود النووي، وهي ضرورية لإنتاج الوقود المستخدم في مفاعلات الماء الخفيف LWRs، وكذلك المفاعلات الغازية المتقدمة AGRs. وتعتمد عمليات إثراء اليورانيوم على تقنيات متقدمة وبالغة التعقيد. ولا تزال هذه التقنيات حكراً على الدول الكبرى المتقدمة مثل الولايات المتحدة، وروسيا، والاتحاد الأوروبي والصين. إلا أن دولاً أخرى استطاعت في نهاية القرن الماضي الحصول على هذه التقنيات واستيعابها وتوطينها وتطويرها، كما هو الحال في باكستان.

ويحتوي اليورانيوم الموجود في الطبيعة Natural Uranium على النظير ^{238}U (حوالي 99.3%)، والنظير ^{235}U (حوالي 0.7%). وكميات متناهية الصغر من النظير ^{234}U.

وهناك عدة طرق تستخدم في إثراء اليورانيوم إلا أن التقنيات شائعة الاستخدام على المستوى التجاري عالمياً تتمثل في الإثراء بالانتشار الغازي والإثراء بالطرد المركزي.

٥.٥ إعادة التحويل Reconversion

ويتم خلال هذه المرحلة تحويل اليورانيوم المثري إلى أكسيد اليورانيوم الصالح للاستخدام كوقود نووي. ومن المعروف أن الناتج النهائي من عملية الإثراء هو غاز سادس فلوريد اليورانيوم UF_6 المثري بالنسبة المطلوبة (2-4%) والعادم (Tails) في هذه المرحلة هو سادس فوريد اليورانيوم (المنضب في اليورانيوم بنسبة في المدى 0.25 -0.3%). ويمكن استخدام الأكسيد المنضب في تصنيع وقود الأكسيد المخلوط (MOX) لاستخدامه في مفاعلات الماء الخفيف المفاعلات الولود السريعة (FBRs).

٦.٥ صناعة الوقود Fuel Fabrication

لا تختلف خطوات صناعة الوقود النووي كثيراً باختلاف نوع المفاعل. فإن الوقود اللازم لمفاعلات الماء الخفيف (LWRs) وكذلك لمفاعلات الماء الثقيل يصنع من أقراص خزفية من ثاني أكسيد اليورانيوم يكون اليورانيوم في الحالة الأولى على درجة معينة من الإثراء بينما يكون في الحالة الثانية من نوع اليورانيوم الطبيعي.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

على أن هناك بعض المفاعلات تعمل باليورانيوم الفلزي (مثل المفاعلات المبردة بالغاز والتي يغلف وقودها بسبائك المغنيسيوم والمعروفة بمفاعلات الماجنوكس). وهناك مفاعلات أخرى يستخدم فيها وقود من أكاسيد البلوتونيوم مخلوطاً مع أكاسيد اليورانيوم (MOX).

وتبدأ خطوات صناعة الوقود – سواء كان ذلك من اليورانيوم المثري أو اليورانيوم الطبيعي – بإعداد مساحيق ثاني أكسيد اليورانيوم بالمواصفات المطلوبة، وكبسها على البارد إلى أقراص تعرف بالأقراص الخضراء (Green Pellets) التي يتم بعد ذلك تلبيدها (Sintering) عند درجات الحرارة (حوالي ١٧٠٠°م) طبقاً لنظام حراري دقيق ينطوي على معدلات تسخين بطيئة، ونقع (Soaking) عند درجات الحرارة المقررة للتلبيد، ثم التبريد البطئ. ويتم بعد ذلك تجليخ (Grinding) هذه الأقراص الخزفية (UO_2 Ceramic Pellets) للوصول بها للأبعاد المنصوص عليها في المواصفات. ويلي ذلك إجراء عمليات غسيل وتجفيف الأقراص، ثم تعبئتها (Stacking) في أنابيب التغليف، والتي عادة ما تكون مصنوعة من سبائك الزركونيوم. ويتم بعد ذلك إغلاق طرفي الأنبوب المملوء بالأقراص وذلك بلحام الطرفين بسدادات طرفية (End Plugs) من نفس مادة الأنبوب. ثم يتم تجميع قضبان الوقود (Fuel Rods) في تجميعات الوقود (Fuel Assemblies)، التي قد تكون على شكل حزم أسطوانية (Bundles) كما هو الحال في مفاعلات الكاندو (CANDU) أو مربعة (Square Assemblies) كما هو الحال في مفاعلات الماء الخفيف.

وتخضع جميع عمليات صناعة الوقود النووي إلى معايير صارمة لرقابة وتوكيد الجودة. وتتعلق هذه المعايير بمواصفات المواد والمعدات والنظم وأساليب التشغيل وتأهيل الأفراد القائمين على هذه الصناعة، [14].

٧.٥ تشعيع الوقود Irradiation

يتم تحميل الوقود النووي في المفاعل وتشعيعه، أي أنه تتم عمليات الانشطار النووي الذي يتولد عنه الطاقة الحرارية التي تستخدم في توليد الكهرباء. والمعيار الرئيسي لتقدير سلوك الوقود النووي هو درجة احتراق الوقود (Fuel Burn up) التي يمكن الوصول إليها، أي التي يمكن أن يتحملها الوقود. وهي كمية الطاقة الحرارية الممكن تولدها من وحدة الكتلة من اليورانيوم. ويعبر عن ذلك بوحدات الميجاوات حراري يوم/لكل كجم يورانيوم ($MW_{(t)}d/kg\ U$). والقيمة المتوسطة الحالية لدرجات احتراق الوقود هي حوالي 45 ميجاوات (حراري) يوم/كجم يورانيوم في مفاعلات الماء الخفيف المضغوط (LWRs)، وحوالي 35 ميجاوات (حراري) يوم/كجم يوارنيوم من مفاعلات الماء المغلي (BWRs). أما مفاعلات الكاندو

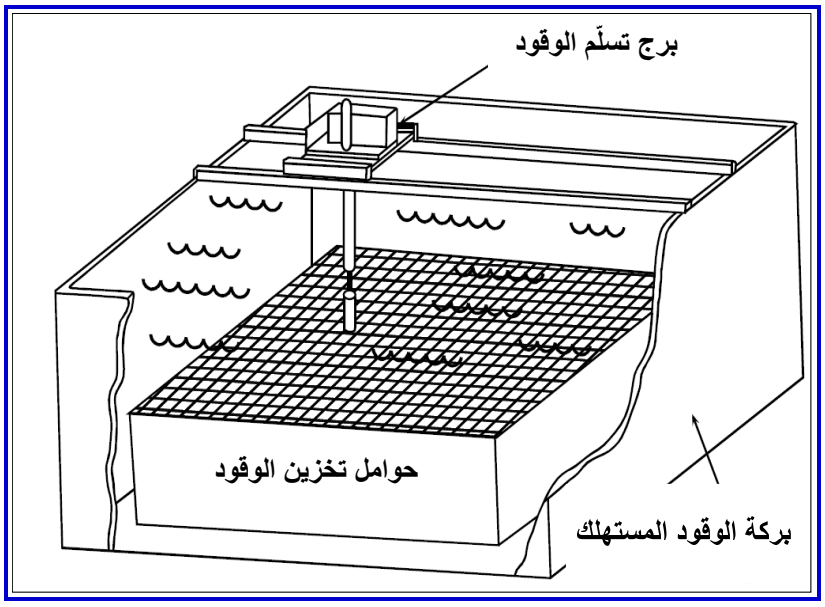
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

CANDU التي تعمل باليورانيوم الطبيعي والمبردة والمهدأة بالماء الثقيل، فتبلغ قيمة درجة الاحتـــراق فيهـــا حوالي 7 ميجاوات (حراري) يوم/كجم يورانيوم. وتتواصل أعمال البحث والتطوير للارتفاع بدرجـــة احتراق الوقود. وكلما زادت درجة إثراء الوقود كلما أمكن الوصول إلى درجات احتراق أعلى. ومـــن المعروف أنه في الوقت الحالي يمكن الحصـــول على تراخيص لتشغيل مفاعلات الماء الخفيـــف المضـــغوط بالوقود المثري حتى 5% U^{235}، وعلى معدلات احتراق حتى 60 ميجاوات (حراري) يوم/كجم يورانيوم.

٦. التخزين المؤقت للوقود المستهلك

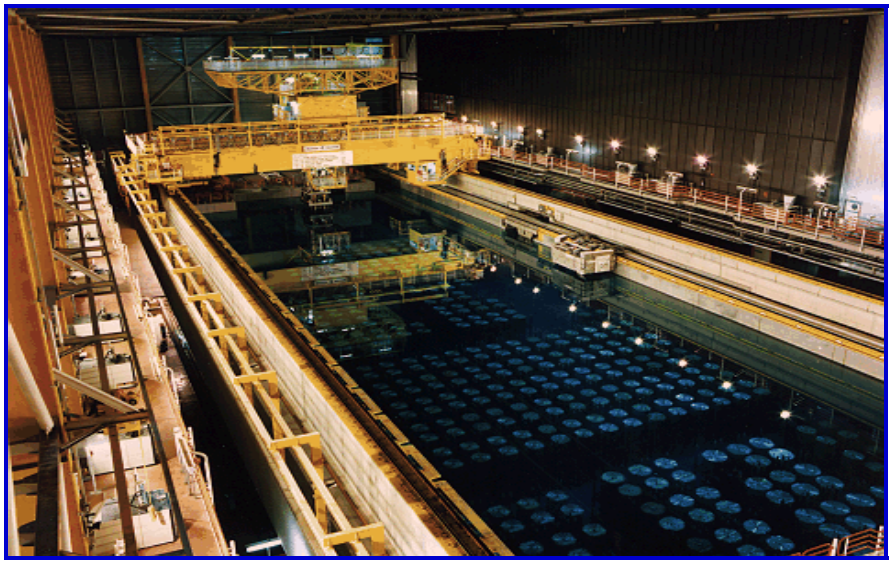
تخزين الوقود قبل استعماله على أرففٍ بها مادة ماصة للنيوترونات ليبقى تحت حالة الدرجة الحرجة أما الوقود المحترق/المستهلك (spent fuel) والمزال من المفاعل فهو شديد الإشعاعية ومولد للحرارة لذا يتم تخزينه في بركة مائية في الموقع لتقليل درجة حرارة الوقود ودرجة الإشعاع، حيث يعمل ماء البركة كحاجز يمنع تسرب الإشعاع كما ينقل الحرارة بعد امتصاصها إلى الجو (انظر الشكل 14-أ وب). ويمكن تبريد الوقود بالهواء كما يمكن تخزينه لمدة طويلة بحيث يسهل التعامل معه بعد خفض قوته الإشعاعية.

ويلاحظ أن هذا التخزين مرحلي قبل نقله إلى خزانات في مكان دائم للتخلص منه، كما هو مبين في الشكل 15 ويزيد تخزين الوقود بموقع المفاعل من المخاطر على مكونات المحطة والبيئة المحيطة بها. وفي كاليفورنيا يحظر الاقتراب من المحطات النووية بسبب تخزين الوقود فيها.

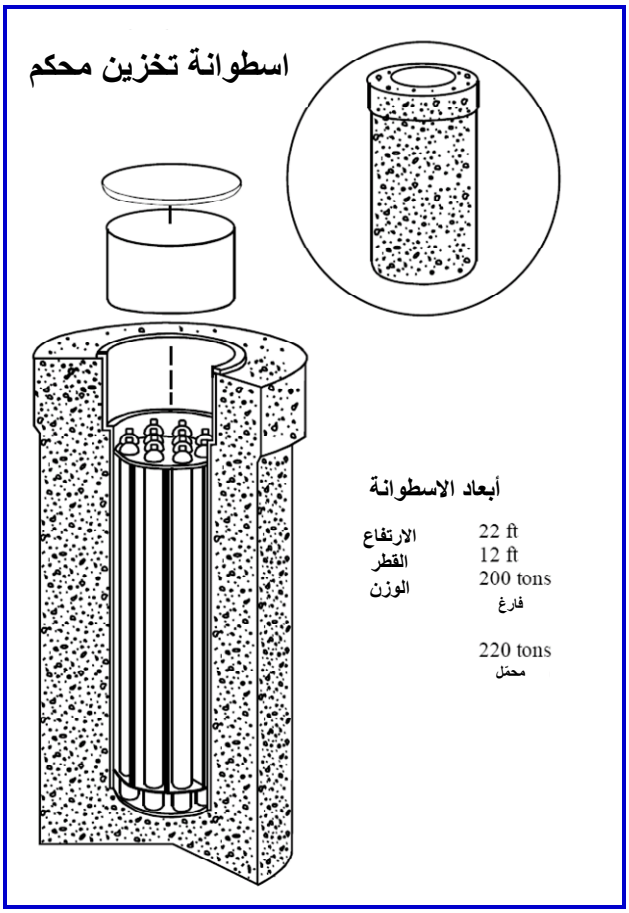


شكل 14-أ: رسم توضيحي لبركة الوقود المستهلك (spent fuel pool) [9].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 14-ب: صورة بركة الوقود المستهلك في محطة المعالجة في بريطانيا [10].



شكل 15: قوارير (أو حاويات) تحتوي على تجميعات قضبان الوقود (casks) [9].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٧. التخلص من النفايات النووية

تحتوي تجميعات الوقود في المفاعل على أكاسيد اليورانيوم المثري بنسبة 3-4% من اليورانيوم–235، لذا فإنها تطلق نيوترونات عند التشعيع وتبدأ في التفاعل والانشطار المتسلسل ممّا يولد طاقة هائلة نتيجة انشطار اليورانيوم، كما تنتج مواد جديدة شديدة الإشعاع مثل البلوتونيوم–239، وتمتص تلك المواد كثير من النيوترونات (التي تسمى نيوترونات سامة لأنها تؤدي إلى تقليل عملية الانشطار النووي) ويمكن أن يزيد مستوى تركيز هذه النيوترونات مع الوقت لدرجة توقف عملية الانشطار المتسلسل تماماً (خلال عامين أو ثلاثة) حتى إن كانت قضبان التحكم مرفوعة، وعندها (بل قبل حدوث ذلك) يجب استبدال الوقود المستهلك بوقود جديد، مع الأخذ في الاعتبار أن الوقود المستهلك يحتوي كمية من اليورانيوم–235 وكمية من البلوتونيوم–239 المتكون، وهما مادتان قابلتان للانشطار. وكمثال على ذلك إذا كان وزن الوقود المستخدم أصلاً في المفاعل 1000 ألف كيلوجرام يورانيوم مخصب به 3.3% من اليورانيوم (U-235) (أي أن به 967 كيلوجرام من يورانيوم–238 و33 كيلوجرام يورانيوم– 235) وبعد استعمال هذا الوقود مدة ثلاث سنوات يصبح وقوداً مستهلكاً ينبغي تغييره، ويتكون مثلا من 8 كيلوجرام من (U-235) و8.9 كيلوجرام من البلوتونيم–239 و943 كيلوجرام من يورانيوم (U-238) مع مواد مشعة أخرى. وعند رفع ربطات الوقود المستهلك من المفاعل تكون شديدة السخونة وشديدة الإشعاع فتوضع في بركة ماء (بها محلول حامض البوريك) ومصنعة من الخرسانة ومبطنة بألواح من الصلب ويقوم الماء المحتوي على حمض البوريك بتبريد الوقود كما يحمي من الإشعاع الذي ينتج من انطلاق النيوترونات من الوقود المستهلك وببقاء الوقود المستهلك في بركة الماء في موقع المفاعل يقل إشعاعه ويبرد. ويعتبر هذا الإجراء نوعاً من التخزين المؤقت. وهناك احتمالات للتصرف في الوقود المستهلك بعد ذلك منها:

الاحتمال الأول

إعادة معالجة الوقود (fuel reprocessing) المستهلك لاستخلاص اليورانيوم (U-235) والبلوتونيوم (U–239) وتنقيتهم لإعادة استعمالهم كوقود للمفاعلات، وهو إجراء شديد التعقيد والتكلفة ولا تقوم به سوى دول قليلة مثل فرنسا وروسيا وبريطانيا واليابان. وقد كان العمل بهذا الإجراء ممنوعاً في الولايات المتحدة خوفاً من استخدام البلوتونيوم في تصنيع القنابل.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

الاحتمال الثاني

التعامل مع الوقود المستهلك كنفايات مشعة (disposed fuel) يجب التخلص منها. وهناك عدة طرق للتخلص من هذه النفايات:

١. تركه في التخزين المؤقت في بركة الماء قرب موقع المفاعل.

٢. دفنه في قاع المحيط.

٣. نقله ودفنه في الجليد القطبي.

٤. تخزينة بصفة دائمة في مغارات تحت الأرض.

وقد أجمع العلماء على أن التخزين الدائم في باطن الأرض هو الحل الأمثل مع الأخذ في الاعتبار العوامل التالية بالنسبة إلى موقع التخزين:

١. ألاّ يكون معرضاً لأخطار جيولوجية مثل الزلازل والبراكين والانهيارات الأرضية.

٢. ألا يكون معرضاً لأخطار الفيضانات والحرائق.

٣. ألا يكون معرضاً لتسرب مياه الرشح إليه من الأنهار أو البحيرات.

٤. أن يكون مناسباً من الناحية الهيدرولوجية (مستوى الأمطار/تجمع المياه/عمق المياه).

٥. ألا يكون في منطقة بها ثروات (مناجم/نفط) أومن المحتمل استغلالها مستقبلاً.

٦. أن يكون في منطقة يسهل الوصول إليها.

٧. أن يكون في منطقة قليلة الكثافة السكانية وألاّ يكون له قيمة تاريخية أو ثقافية.

ويجري التخزين في باطن الأرض مع الاحتفاظ بالنفايات النووية في الحالة الصلبة والجافة ومحمية بغلاف يمنع انتشار الإشعاع منها حتى لا تسبب ضرراً للسكان القريبين منها أو للجو المحيط بها، أما التخزين فوق سطح الأرض فيجب أن يكون مؤقتاً.

هذا وتخطط الولايات المتحدة الأمريكية أن تجهز مدفناً للنفايات النووية (أساساً الوقود المستهلك) في منطقة تسمى جبل (YUCCA) وهي منطقة شديدة الجفاف في ولاية نيفادا حتى تقل احتمالات تسرب المياه، مما قد يؤدي إلى صدأ حاويات الوقود المستهلك. وتبعد تلك المنطقة 1600 كيلومتر عن أقرب مدينة وهي مدينة لاس فيجاس. وسيتم دفن النفايات النووية على بعد 500 متر تحت سطح الأرض.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ويجري تخزين النفايات أو تعليبها في بعض الأحيان أو صبِّها في مواد عازلة مثل الخزف أو الزجاج لعزلها عن البيئة المحيطة بها قبل دفنها.

وتكمن مشكلة التخلص من الوقود المستهلك حالياً أنه لم يعد هناك متسع، في برك تبريد الوقود المستهلك الملحقة بمواقع المحطات النووية بعد سنوات طويلة من تشغيل هذه المحطات، ولذلك باشرت بعض المحطات في تخزين الوقود المستهلك الأقدم على أرض جافة ضمن حاويات (CASKS) ضخمة تحتوي كل منها على ما يقرب من 10 طن من النفايات. ويكفي الوقود المستخرج سنوياً في محطة قدرتها 1000 ميجاوات لملء حاويتين وبتكلفة تبلغ نحو مليون دولار أمريكي لكل حاوية.

وعند مقارنة تكلفة التخلص من نواتج احتراق الوقود النووي مع نواتج احتراق زيت الوقود في محطات عادية تُنتج كمية الطاقة الكهربائية نفسها التي تنتجها محطة نووية قدرتها 1000 ميجاوات سنوياً وبمعامل قدرة 90% والتي تساوي 7884 مليون كيلووات ساعة، فسوف نجد أن ذلك يستلزم حرق وقود بطاقة قدرها 86.0 مليون جيجاجول إذا كانت كفاءة المحطة 0.33، أي نحو 15.1 مليون برميل أو 2 مليون طن زيت وقود.

وإذا كانت نسبة الكربون في الزيت 87%، فإن احتراق هذا الوقود ينتج 6.38 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون؛ وإذا طبقت ضريبة الكربون وقدرها على الأقل 110$ سنوياً لكل طن من ثاني أكسيد الكربون، فستصل هذه الضريبة إلى 702 مليون دولار.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٨. أساسيات الإشعاع

ذكرنا فيما سبق أن ذرة أي عنصر تتكون من:

أ) نواة بها بروتونات تحمل شحنات موجبة ونيوترونات لا تحمل شحنات.

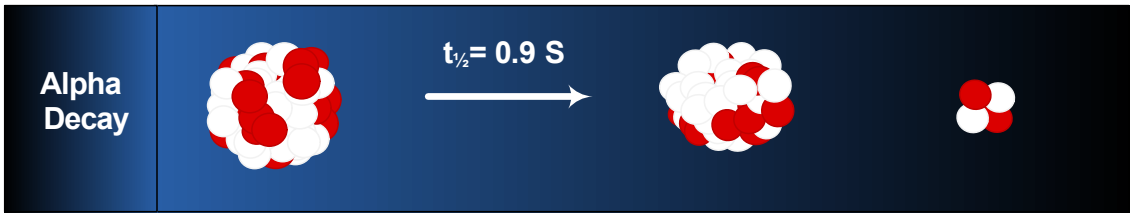
ب) إلكترونات تحمل شحنات سالبة وتدور في مدارها حول النواة.

وتحدد الإلكترونات الخواص الكيميائية للعنصر ويحدد عدد البروتونات نوع العنصر (جميع نظائر اليورانيوم لها 92 بروتون)، كما يحدد عدد النيوترونات اتزان النواة. ومعظم العناصر في الكون متزنة ويحقق العدد الصحيح من النيوترونات والبروتونات هذا الاتزان، في حين يحدث عدم اتزان في حالات قليلة عندما تكون في النواة أعداد كبيرة من البروتونات والنيوترونات أو فيها طاقة كبيرة، مما يؤدي إلى عدم اتزان النواة، وتسمى العناصر في هذه الحالة غير متزنة أو عناصر مشعه. ويُحاول العنصر تحقيق الاتزان من خلال ما يسمى الاضمحلال الإشعاعي (decay)، أو باختصار الإشعاع، حيث يطلق العنصر عندئذ أحد البروتونات أو النيوترونات أو جزء من الطاقة الزائدة ويكون لهما القدرة على تغيير ذرات أخرى. وتسمى هذه العملية "تأين إشعاعي" (radioactive ionization)، حيث تتحول فيها الذرة من حالة تعادل كهربي إلى حالة تكون للذرة شحنة كهربائية، ويُنتج التأين الإشعاعي (أي الإشعاع الذي له طاقة عالية وكافية للتفاعل مع مادة أخرى) أيونات يمكنها طرد إلكترون من الذرة. ويوجد في محطات الطاقة النووية أربعة أنواع من الإشعاع هي أشعة ألفا وبيتا وجاما ونيوترونات.

١.٨ أنواع الإشعاع

إشعاع ألفا: يتكون إشعاع ألفا من جسيمات، فيها 2 بروتون و2 نيوترون أي نواة هيليوم، وبالتالي لها شحنة كهربائية موجبة تنطلق أثناء الاضمحلال الإشعاعي (decay) من نوى غير متزنة في الوقود النووي أو داخل قضبان الوقود نتيجة الانشطار النووي. ويسهل إيقاف إشعاع ألفا بسهولة إذ لا يمكن لها النفاذ من خلال صحيفة من الورق أو خلال طبقة الجلد الخارجية. وعادة ما تبقى النوى المسببة لإشعاع ألفا داخل قضبان الوقود أو في غلاف الوقود. ويأتي الخوف من إشعاع ألفا عند دخول المواد التي تطلقها إلى الجسم بالاستنشاق أو البلع. ويبين شكل 16 عملية انطلاق إشعاع ألفا ^4He نتيجة لخفض نظير يسمى سيبورجيم−263 [(*Sg*-263) Seaborgium] فيتغير الرقم الذري من 106 إلى 104 ويعطي عنصر يسمى رذرفورديم−259 [(*Rf*-259) Rutherfordium].

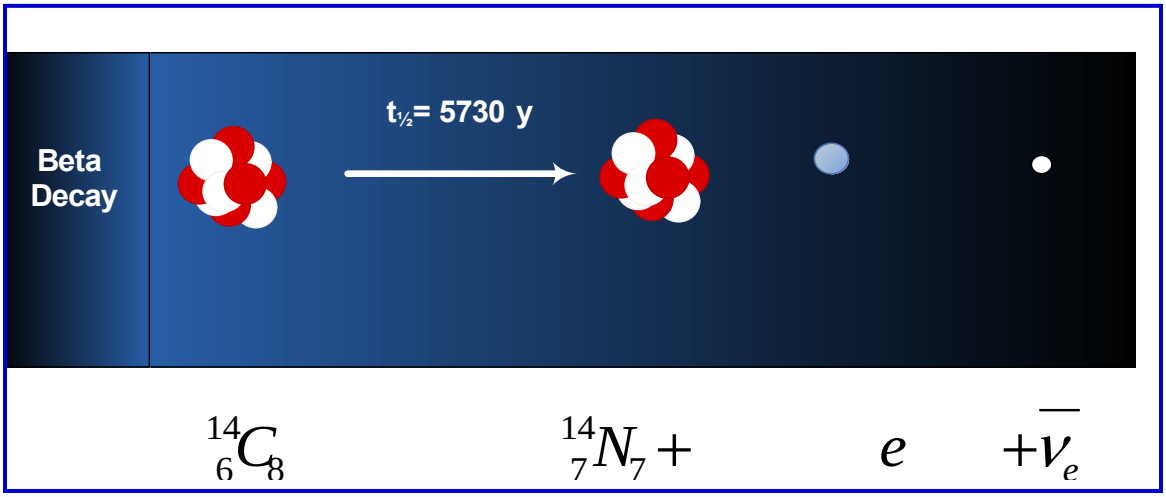
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



$$^{263}_{106}Sg_{157} \qquad ^{259}_{104}Rf_{155} + \ ^{4}_{2}He_{2}$$

شكل 16: انطلاق إشعاع ألفا من نواة كبيرة مثل عنصر سيبورجيم−263 [*Sg*-263) Seaborgium)] وينتج عنها عنصر يسمى رذرفورديم−259 [*Rf*-259) Rutherfordium)] [1].

إشعاع بيتا: يحمل إشعاع بيتا وزن وشحنة الإلكترونات السالبة التي تَصْدُر نتيجة انشطار الوقود، على الرغم من صغر وزن هذا الاشعاع (2000/1 من وزن النيوترون) وشحنته (السالبة) إلا أنه يسهل إيقافه ويمكن منع نفاذه بصحائف بلاستيك أو بملابس ثقيلة أو حتى بدهان كثيف. وإشعاع بيتا لا يسري في محطات الطاقة النووية لأكثر من 60 إلى 90 سنتيمتر فقط. ويخشى دخول المواد المطلقة لإشعاع بيتا إلى جسم الإنسان بالاستنشاق أو البلع. ويبين الشكل 17 عملية انطلاق إشعاع بيتا من نظير الكربون غير المستقر إلى نظير نيتروجين. ويمكن لإشعاع بيتا اختراق مسافة ضيئلة من جسد الإنسان ولكنه أقل خطورة من إشعاع جاما ويمكنه أن يؤثر في الإنسان بتأثير مماثل للتعرض إلى أشعة الشمس الحارقة.



$$^{14}_{6}C_{8} \qquad ^{14}_{7}N_{7} + \qquad e \qquad + \overline{\nu}_{e}$$

شكل 17: انطلاق إشعاع بيتا من نظير الكربون غير المستقر ^{14}C ليصبح نظير نتروجين ^{14}N [1].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

إشعاع جاما: هو إشعاع لا يحمل أي شحنة ولا يتكون من جسيمات مثل إشعاع ألفا أو إشعاع بيتا، ولكنها عبارة عن موجات للطاقة العالية تسري بسرعة الضوء وتماثل أشعة إكس وتنشأ من عملية الانشطار النووي وتنبعث كذلك من بعض النظائر المشعة مثل نظير الكوبالت (Co-61)، ولعدم وجود وزن أو شحنة كهربائية لإشعاع جاما، فإن هذه الموجات تنطلق لمسافات طويلة، لذا يلزم استخدام مواد شديدة الكثافة وكبيرة السماكة كالرصاص أو الحديد (shield) لمنع نفاذها. وإشعاع جاما كثيراً ما يوجد في محطات الطاقة النووية، لذا يتبين مدى خطورة التعرض الخارجي لهذا الاشعاع، مما يضطر العاملين بهذه المحطات إلى وضع شارة لمراقبة تعرضهم لإشعاع جاما [1].

النيوترون: هو جسيم إشعاعي ينطلق من الذرة خلال عملية انشطار الوقود في قلب المفاعل وتنطلق النيوترونات لمسافات طويلة دون توقف وذلك لعدم وجود شحنة كهربائية بها. وتتواجد النيوترونات في المبنى الحاوي للمفاعل وفي الأماكن العازلة له. وتمثل المواد المحتوية على هيدروجين مانعاً فاعلا لنفاذ النيوترون. وليس ثمة ما يخشى من النيوترونات عند توقف عملية الانشطار، وإنما عند التعرض الخارجي للإشعاع الناتج منها. ويبين الشكل 18 القدرة النفاذية للإشعاعات ألفا وبيتا وجاما لإختراق بعض المواد.

٢.٨ مصادر الإشعاع

ينحصر وجود المواد المشعة (أي التي تخرج منها الإشعاعات) داخل تجميعات الوقود النووي ويمكن أن ينتقل جزء منها إلى قنوات تبريد الوقود، وبالتالي إلى وعاء الضغط الذي يحتوي قلب المفاعل. ويحدث التلوث الإشعاعي عند وجود مواد مشعة تؤدي إلى نشاط إشعاعي في أماكن لا يُرغب في تواجد هذا الإشعاع فيها (مثلا على الأسطح أو ضمن مواد صلبة أو سائلة أو غازية).

ولقياس كمية الإشعاع الذي يتم التعرض له واحتمال تأثيره على صحة الإنسان تم إستحداث وحدة للقياس تسمى جراي (gray) لقياس الجرعة التي تمتصها خلايا الجسم ويمثل واحد جراي (1 gray) استقبال طاقة قدرها 1 جول لكل كيلوجرام من الخلايا. ونظراً لأن النيوترونات وإشعاع بيتا يمكنها إحداث أضرار تفوق تلك التي يحدثها 1 جراي من إشعاع جاما. فقد تم استحداث وحدة أخرى لقياس الإشعاع تسمى سيڤرت (sievert) تأخذ في الحسبان التأثير البيولوجي لعدة أنواع من الإشعاعات. فمثلاً، يساوي التأثير البيولوجي لـــ 1 جراي من إشعاع بيتا أو جاما 1 سيڤرت، في حين أن تأثير 1 جراي من إشعاع ألفا يساوي 20 سيڤرت. أما التأثير البيولوجي لواحد جراي من النيوترونات فيساوي 10 سيڤرت. ولأن 1 سيڤرت له قيمة كبيرة، تقاس الجرعات الإشعاعية التي يتعرض لها الإنسان بوحدات ميللي سيڤرت (1/1000سيڤرت). فالإنسان العادي يتعرض لإشعاع من الخلفية الإشعاعية الطبيعية (background

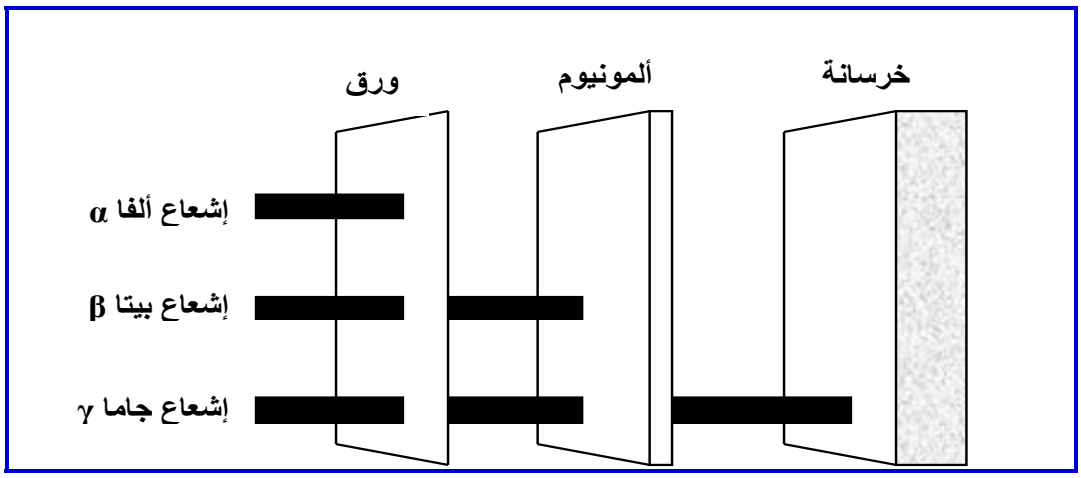
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

radiation) أي من البيئة العادية قدره تقريباً 2.4 ميللي سيڤرت في العام الواحد (msv/y)، والحد الأقصى المسموح التعرض له للعاملين في المحطات النووية هو 20 ميللي سيڤرت/عام (msv/y)؛ ولكن يبقى التعرض الحقيقي أقل من هذا المستوى. وبالمقارنة، يتعرض عامة الناس لجرعة مقدارها 0.0002 ميللي سيڤرت/عام من المحطات النووية أي أقل من 1% مما يتعرضوا له من الخلفية الاشعاعية الطبيعية (background radiation). وهناك وحدات أخرى شائعة لقياس الإشعاع لازالت متداولة مثل راد (rad) ورِم (rem) ويربطهما بوحدات سيڤرت وجراي الآتي:

1 جراي = 100 راد و1 سيڤرت = 100 رِم.

ورِم (rem) هي اختصار لمصطلح مكافئ رونتجن رجل (Roentgen equivalent man) وتعتبر من مؤشرات التأثير البيولوجي الذي يسببه الاشعاع على الجسم، وعادة ما تستخدم وحدة 1000/1 من رِم وتسمى ميلليرِم (milli rem) وواحدة رِم تساوي 100/1 سيڤرت وواحد سيڤرت تساوي طاقة 1 جول/كجم؛ أما راد (rad) فهي وحدة لقياس الجرعة الممتصة وتعادل 1 جول/كجم. والجرعة (dose) هي كمية الإشعاع التي يتلقاها الفرد المعرض لها وتسمى أحيانا الجرعة المكافئة. ومعدل الجرعة هو كمية الجرعة في وحدة زمن (عادة ما تكون ساعة) فإذا تعرض الإنسان إلى معدل جرعة إشعاع قدرها 50 ميلليرِم (milli rem) لمدة ساعتين، فإنه يكون قد تلقى جرعة قدرها 100 ميلليرِم وقد يتلقى الفرد الإشعاع من مصدر خارج جسمه وعندها يقال أنه تلقى جرعة خارجية (كما هو الحال للعاملين بالمحطات النووية). وتؤثر مدة تعرض الفرد للإشعاع على الجرعة التي يتلقاها. وتسمى "جرعة الإشعاع الخارجية" الجرعة المكافئة العميقة (deep dose equivalent)، وقد يتلقى الفرد جرعة إشعاع داخلية أي من داخل الجسم (بالإضافة إلى الجرعة الخارجية) إذا استنشق أو بلع مادة مشعة. وتسمى الجرعة الداخلية جرعة مكافئة داخلية. ويسمى مجموع كميتي الاشعاع الداخلي والخارجي اللذين يتعرض لهما الفرد "جرعة مكافئة كلية فردية" والمعروف أن 5,000 ميلليرِم هو الحد الأقصى للجرعة المكافئة الفردية خلال عام كامل.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 18: قدرة نفاذ إشعاعات ألفا وبيتا وجاما.

٣.٨ تأثير الإشعاع

هناك نوعان من التعرض للإشعاع، أحدهما تعرض مزمن والثاني تعرض حاد. ففي التعرض المزمن يتلقى الفرد كميات ضئيلة من الإشعاع لفترة طويلة من الوقت (مثلا 4 رم (Rem) سنوياً ولمدة عشر سنوات). ويبلغ متوسط الإشعاع الذي يتعرض له عامل في محطة طاقة نووية 170 ميلليرِم سنوياً ولا يؤدي التعرض للإشعاع المزمن إلى تغيير فوري في جسم الإنسان، لأنه قادر على إصلاح التلف الذي يحدث للأنسجة. ومن الممكن أن يظهر تأثير الإشعاع خلال عدة سنوات بعد التعرض له. ولا شك أن التعرض للإشعاع فيه نوع من المخاطرة، إذ يمكن أن يؤدي إلى السرطان وإعتام عدسة العين (Cataract) وتشوه الأجنة. ومن العوامل التي تحد من تأثير الإشعاعات على جسم الإنسان: نوع هذه الإشعاعات وطاقتها ونوع الخلية التي يقع عليها الإشعاع وحالتها. ويلاحظ أن للإشعاعات تأثيراً أكبر في الأجنة (أي الخلايا التي في طور الإنشاء) والسيدات الحوامل.

ويتعرض العاملون في صيانة المحطات النووية تعرضاً مزمناً للإشعاعات. ويحدث التعرض الشديد للإشعاع عندما يتعرض المرء إلى جرعة كبيرة من الإشعاع خلال فترة قصيرة، مما قد يحدث أثراً فور هذا التعرض، إضافة إلى تأثيرات قد تحدث خلال فترات متأخرة. وتشمل التأثيرات الفورية التي تمت ملاحظتها الآتي:

- إذا تعرض الشخص إلى نسبة 50-100 رِم (rem) خلال فترة قصيرة يحدث تغير بسيط في عدد كرات الدم البيضاء، ونسبة قليلة من الأفراد المعرضين للإشعاع قد يصيبها الغثيان.
- إذا تعرض إنسان إلى نسبة 100 إلى 200 رِم (rem) خلال فترة قصيرة، فإنه يعاني غثياناً خلال

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ثلاث ساعات من هذا التعرض للإشعاعات وتغير في الدم يدوم فترة طويلة. ويبدو أن الفرد لا يشعر بما تعرض له خلال عدة أسابيع.

- إذا تعرضت مجموعة من الناس إلى 450 رِم (rem)، يتوقع وفاة 50% منهم خلال شهر، إلا إذا تلقوا عناية طبية خاصة.
- إن معظم الناس الذين يتعرضون من 200 إلى 600 رِم (rem) يعانون غثياناً خلال ثلاث ساعات وفقداً للشعر خلال أسبوعين وتغيراً شديد في الدم ونزيفاً وعدوى. ويصل احتمال حدوث الوفاة نتيجة ذلك التعرض إلى 80% خلال شهرين إذا لم يلق المصاب علاجاً طبياً مكثفاً وإذا عاش، فإنه يحتاج لفترة نقاهه طويلة.
- إن الشخص الذي يتعرض من 800 إلى 1000 رِم (rem) غالباً ما يلقى حتفه.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

قائمة الأشكال

شكل 1: تركيب ذرة من نواة تحتوي نيوترونات وبروتونات تدور حولها إلكترونات ١

شكل 2-أ: نظائر الهيدروجين ٢

شكل 2-ب: نظائر الكربون ٢

شكل 3-أ: عملية الانشطار النووي لنظير اليورانيوم U-235 ..... ٤

شكل 3-ب: تسلسل الانشطار النووي لنظير اليورانيوم U-235 الذي يعطي استرونشيوم وزينون ونيوترونات تعمل على انشطار نظائر جديدة لليورانيوم U-235 ..... ٤

شكل 4: انشطار النظير (U-235) نتيجة امتصاص نيوترون لينتج باريوم Ba-141 وكريبتون (Kr-92) وثلاثة نيوترونات ٥

شكل 5: ترتيب الوقود وقضبان التحكم ومهدئ النيوترونات (الماء الخفيف) في مفاعلات الماء الخفيف، وكيفية امتصاص النيوترونات ٦

شكل 6: رسم توضيحي لمحطة طاقة نووية تعمل بمفاعل الماء الخفيف المضغوط ٨

شكل 7-أ: رسم توضيحي لمفاعل الماء الثقيل المضغوط (كاندو) ١٠

شكل 7-ب: صورة حزم وقود مفاعل كاندو ١١

شكل 8-أ: رسم توضيحي لمحطة نووية تعمل بمفاعل الماء المغلي ١٢

شكل 8-ب: دورة إعادة دوران ماء التغذية في مفاعل الماء المغلي ١٣

شكل 9: صورة أقراص الوقود وقضيب الوقود المستخدم في إحدى مفاعلات الماء الخفيف المضغوط ١٥

شكل 10: تسلسل تكوين قلب المفاعل ١٦

شكل 11: صورة لصخر اليورانيوم وبه ترسبات اليورانيوم ١٨

شكل 12: صورة مسحوق خام اليورانيوم- U_3O_8 الخام المسمى بالكعكة الصفراء ١٩

شكل 13: دورة الوقود النووي ٢٠

شكل 14-أ: رسم توضيحي لبركة الوقود المستهلك ٢٣

شكل 14-ب: صورة بركة الوقود المستهلك في محطة المعالجة في بريطانيا ٢٤

شكل 15: قوارير (أو حاويات) تحتوي على تجميعات قضبان الوقود (casks) ٢٤

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

شكل 16: انطلاق إشعاع ألفا من نواة كبيرة مثل عنصر سيبورجيم–263 [(*Sg*-263) Seaborgium] وينتج عنها عنصر يسمى رذرفوردیم–259 [(*Rf*-259) Rutherfordium]..... ٢٩

شكل 17: انطلاق إشعاع بيتا من نظير الكربون غير المستقر ^{14}C ليصبح نظير النتروجين ^{14}N..... ٢٩

شكل 18: قدرة نفاذ إشعاعات ألفا وبيتا وجاما ٣٢

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

قـــائمة الجداول

جدول (1): الفروق الرئيسية بين مفاعلات الماء المغلي ومفاعلات الماء المضغوط ١٤

المراجـــــع

1. ABC's of Nuclear Science, http://www.lbl.gov/abc/Basic.html.
2. Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Nuclear_fission.svg.
3. Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Thermal_reactor_diagram.png.
4. Reactor Concepts Manual Pressurized Water Reactor Systems, USNRC Technical Training Center 4-1 0603, http://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/teachers/04.pdf.
5. Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/CANDU_reactor.
6. Wikipedia, the free encyclopedia, http://commons.wikimedia.org/wiki/index.html?curid=202902
7. Information on Millstone Power Station, Waterford, Connecticut, S http://www.ct.gov/demhs/lib/demhs/rept/media_manual_08-09.pdf.
8. Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fuel_cycle.
9. Reactor Concepts Manual, Radioactive Waste Management, USNRC Technical Training Center, http://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/teachers/10.pdf.
10. http://www.uic.com.au/graphics/storpondthorp.gif.
11. http://www.global-greenhouse-warming.com/nuclear-boiling-water-reactors.html.
12. Boiling water reactor simulator with active safety systems. User manual, IAEA 2009.
13. Nuclear Fuel Cycle Information System, a Directory of Nuclear Fuel Cycle Facilities", IAEA -TECDOC- 1613, 2009 Ed., April 2009.
14. Guidebook on Quality Control of Water Reactor Fuel", Technical Report Series No. 221, IAEA Vienna, 1983.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

الباب الثاني

إنتـــاج الطاقــة في دولة الكويـت

ودول مجلـس التعاون الخليجي

ومحطات الطاقة النووية المقترحة

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

١. مقدمـــة

تعتمد دولة الكويت ودول مجلس التعاون الخليجي على الوقود الأحفوري (زيت الوقود والغاز الطبيعي) لتوفير احتياجاتها من الطاقة التي تشمل توليد الطاقة الكهربائية وتحلية مياه البحر ووسائل المواصلات وصناعات البترول والاستخدامات الصناعية والمنزلية المختلفة. ويتزايد الطلب على هذا المصدر غير المتجدد للطاقة باستمرار بسبب زيادة كل من عدد السكان ومستوى المعيشة.

وتبين الجداول (1–أ) إلى (1–ج) الزيادة في عدد السكان واستهلاك الطاقة الكهربائية والوقود في بعض دول مجلس التعاون الخليجي (الكويت والسعودية والإمارات) ومصر بين عامي 2001 و2006 والزيادة المتوقعة في عدد السكان واستهلاك الطاقة المتوقع عام 2016 إذا استمر معدل الزيادة على ما هو عليه حالياً.

جدول (1–أ) عدد السكان في عينة من دول الخليج العربية ومصر (بالمليون)، [1]

الدولـــــة	الكويـــت	الإمـــارات	السعوديـــــة	مصـــر
عدد السكان عام 2001	2.243	3.488	20.976	64.652
عدد السكان عام 2006	3.051	4.150	23.647	71.348
الزيادة في خمس سنوات %	36	19	12.7	10.4
عدد السكان المتوقع في 2016	5.65	5.87	30.05	86.89

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

جدول (1–ب) الاستهلاك السنوي من الطاقة الكهربائية (GWh جيجاوات ساعة) واستهلاك الفرد (كيلووات ساعة/عام) في بعض دول الخليج العربية ومصر، [1]

الدولـــــة	الكويـــت	الإمـــارات	السعوديـــــة	مصـــر
الاستهلاك السنوي عام 2001	31,536	43,172	133,674	77,839
الاستهلاك السنوي عام 2006	41,277	66,768	181,434	108,332
استهلاك الفرد في عام 2006	13,529	16,089	7,673	1,518
الزيادة في خمس سنوات %	30.9	54.7	35.7	39.2
الاستهلاك المتوقع عام 2016	70,715	159,698	334,243	209,834

جدول (1–ج) استهلاك الطاقة (مليون برميل زيت مكافئ/ يوم) في عامي 2001 و2006، والاستهلاك المتوقع عام 2016، [1]

الدولـــــة	الكويـــت	الإمـــارات	السعوديـــــة	مصـــر
الاستهلاك عام 2001				
مليون برميل مكافئ/يوم	0.327	0.654	1.786	0.982
مليون برميل مكافئ/عام	119.4	238.9	652.3	358.7
الاستهلاك في 2006				
مليون برميل مكافئ/يوم	0.45	0.924	2.53	1.199
مليون برميل مكافئ/عام	164.4	337.5	924.1	437.9
إنتاج الوقود الكلي مليون برميل مكافئ/يوم	2.96	3.95	11.8	1.687
الزيادة في خمس سنوات %	37.6	41.3	41.7	22.1
استهلاك الطاقة المتوقع في 2016 وتكلفة الوقود إذا كان سعر البرميل $75				
مليون برميل مكافئ/يوم	0.852	1.844	5.077	1.787
مليون برميل مكافئ/عام	311.3	673.7	1854.3	652.9
تكلفة استهلاك الوقود عام 2016 بالمليار دولار	23.348	50.528	139.1	48.97

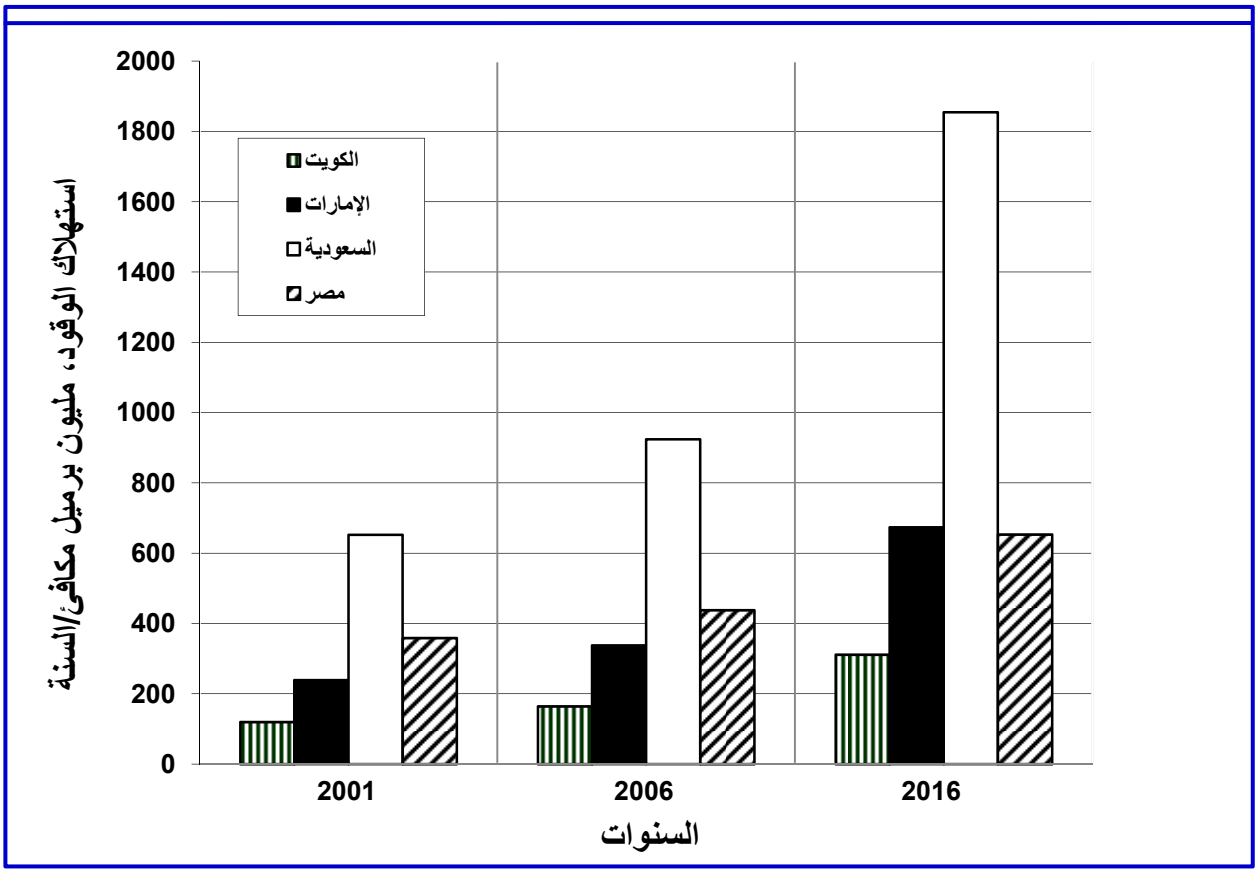
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

جدول (1–د) إنتاج الطاقة بالمليون برميل زيت مكافئ يومياً (barrel of oil equivalent) (م ب ي) في بعض دول الخليج العربية ومصر، [1]

عـــــام	2001	2002	2003	2004	2005	2006
الكويت	2.181	1.969	2.360	2.561	2.888	2.962
الإمارات	3.225	3.307	3.933	3.698	3.746	3.948
السعودية	9.765	8.986	10.774	11.342	11.907	11.801
مصر	1.328	1.353	1.412	1.416	1.456	1.687

يوضح الشكل (1–أ) أن الوقود المستهلك في دول الخليج الثلاث يكاد يتضاعف كل عشر سنوات كما يوضح الجدول (١–د) أن متوسط إنتاج هذه الدول من الوقود يومياً عام 2006 هو: 3 (م ب ي) في الكويت و4 (م ب ي) في الإمارات و11.8 (م ب ي) في السعودية. ويبين الشكل (1–ب) انتاج الطاقة الكهربائية في هذه الدول، وإذا استمر الانتاج على ما هو عليه حالياً، فإن هذا الانتاج يمكن أن يستهلك محلياً بالكامل خلال الثلاثين عاماً القادمة إذا استمرت معدلات الزيادة نفسها في الاستهلاك. أما في مصر فيمكن أن يُستهلك الوقود المنتج بالكامل خلال عشر سنوات فقط. وهذا بالتأكيد يستلزم البحث عن مصادر بديلة للطاقة.

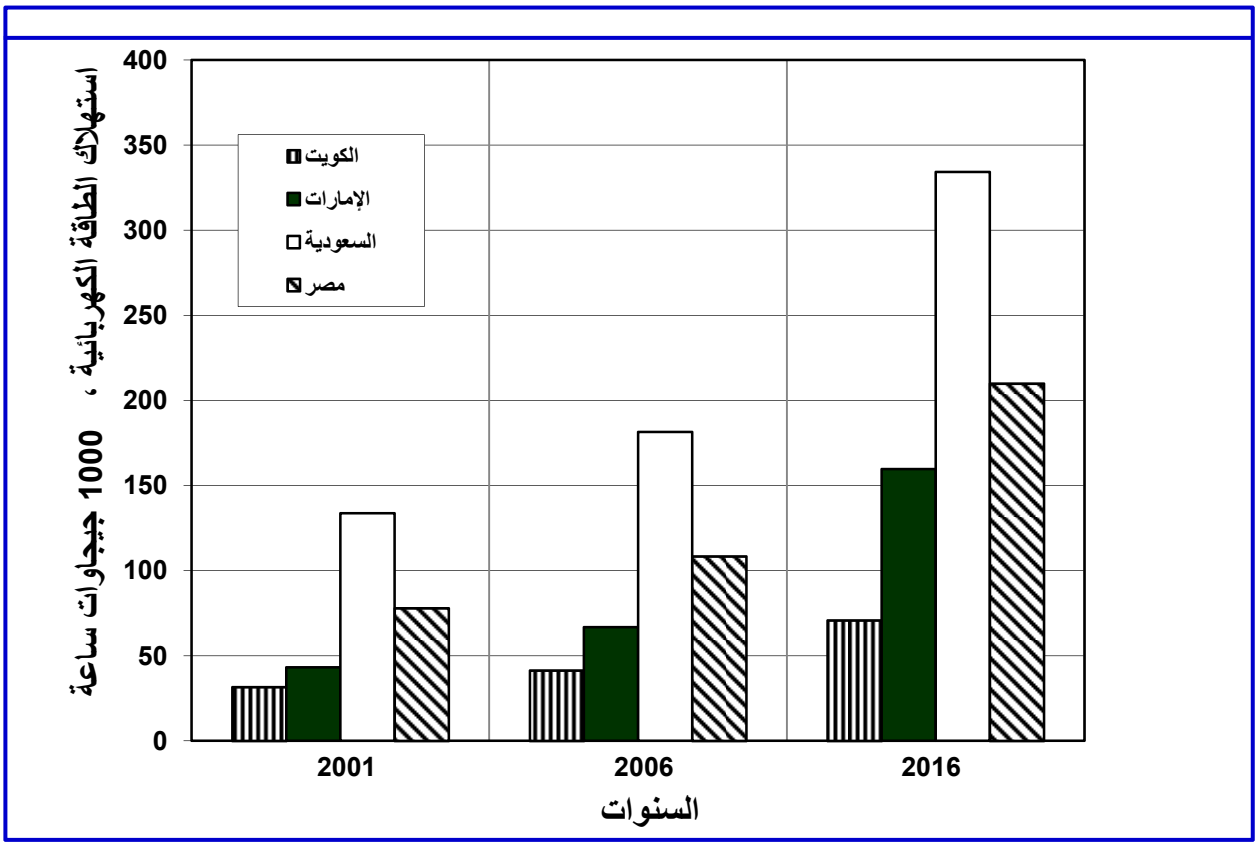
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل (1-أ): استهلاك الوقود (مليون برميل مكافئ/السنة) في الكويت والسعودية والإمارات ومصر.

ويوفي العالم 86% من احتياجاته من الطاقة باستخدام الوقود الأحفوري (الفحم والوقود النفطي) كما يبين جدول 2. ويبدو أن هذا الوقود لن يوفي الطلب عليه بشكل مستدام إلى مالا نهاية حيث أن المخزون العالمي محدود وغير متجدد وهذا يفسر القلق العالمي من عدم إمكانية الحصول عليه مستقبلاً مما يفسر التذبذب والزيادة في أسعاره.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



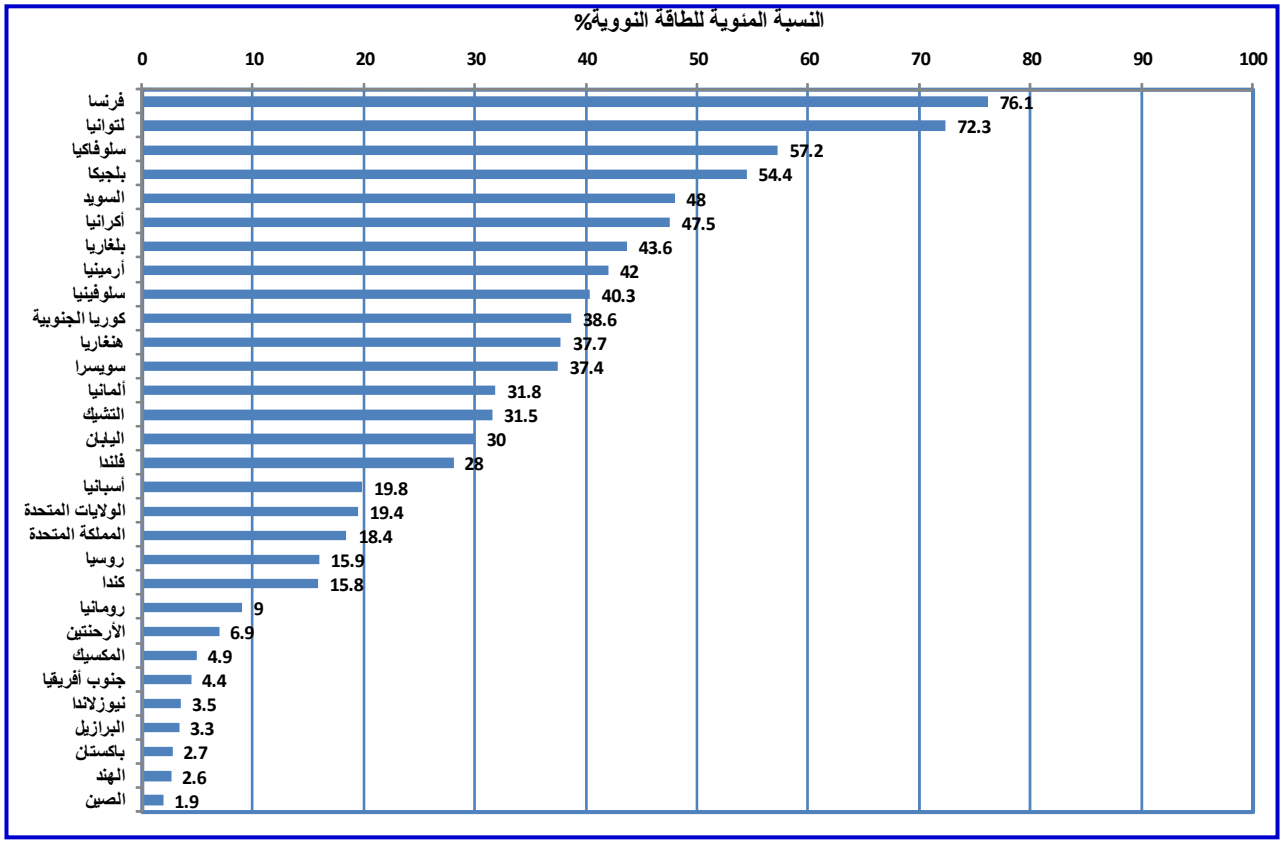
شكل 1-ب: استهلاك الطاقة الكهربائية في الكويت والسعودية والإمارات ومصر.

جدول (2) نسب الوقود المستهلك في إنتاج الطاقة الكهربائية على مستوى العالم، [2]

الوقـــود	النسبـــة المئويـــة	الاتجـــاه الحالـــي
النفط	39	يستمر بناء محطات إضافية حالياً.
الفحم	25	يستمر بناء محطات إضافية حالياً.
الغاز	22	تعتبر الدورة المركبة أرخص محطات الوقود الأحفوري
سدود مائية	7	يستمر بناء السدود ما أمكن
نووية	6	في حالة ركود، وتجدد الاهتمام بها يَعِد بزيادة كبيرة فيها بالدول النامية
متجددة	1	تزيد تدريجياً مع انخفاض أسعار انتاجها

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ويسبب احتراق هذا الوقود انبعاث غازات الدفيئة التي تؤدي إلى مشكلات بيئية جسيمة؛ ولهذا يبحث العالم جاهداً عن طاقات بديله متجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة الأمواج وطاقة المد والجزر والطاقة الأرضية الحرارية؛ ولكن نسبة استخدام هذه الطاقات المتجددة في إنتاج الكهرباء ما تزال ضئيلة (أقل من 1%) واحتمال تطورها ومنافستها اقتصادياً خلال العقدين أو الثلاثة القادمة أمر مشكوك فيه. وعلى الرغم من الجهود الكبيرة التي بذلتها مصر في إدخال الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، إلاّ أن محطات الطاقة الشمسية لم تتجاوز 30 ميجاوات ومحطات الرياح لم تتجاوز 230 ميجاوات بينما ستصل طاقة محطات الطاقة في مصر إلى 36 جيجاوات (GW) خلال العشرة أعوام القادمة. وهذا يجعل الطاقة النووية حالياً هي الخيار البديل للوقود النفطي عند إنشاء محطات طاقة ذات أحمال كبيرة، ويؤكد ذلك أن نسبة الطاقة النووية في إنتاج الكهرباء تبلغ 77% في فرنسا و72% في ليتوانيا (حتى نهاية 2009) ونسب مرتفعه أخرى في دول أوروبا الشرقية. أما في الولايات المتحدة الأمريكية، فتبلغ هذه النسبة 20%؛ وقد ازدادت هذه النسب في السنوات الأخيرة في اليابان وكوريا وباكستان، كما يبين شكل 2.



شكل 2: نسب إنتاج محطات الطاقة النووية في بعض بلاد العالم، [3].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ويثير استخدام الطاقة النووية لإنتاج الكهرباء والماء قلقاً وتساؤلات عديدة حول مدى الأمان في هذا الاستخدام؛ بالإضافة إلى ارتفاع تكلفة إقامة محطاتها، وخطورة الإشعاعات النووية على العاملين فيها وعلى البيئة المحيطة بها. ونظراً لأن الطاقة النووية قد تكون في معظم الحالات، الخيار الوحيد المتاح للتزود بالطاقة الكهربائية بصورة مستدامة، لذا يجب أن ينصبَّ التساؤل بشأن استخدام محطات الطاقة النووية حول متى وكيف تصبح هذه المحطات آمنة تماماً ومنافسة اقتصادياً لمحطات الوقود الأحفوري، وكذلك كيف يمكن تطبيقها، وحلُّ مشكلاتها العالقة في دول لها مراحل مختلفة من التقدم في هذا المضمار.

وقد تثير إقامة محطات طاقة نووية بدول مجلس التعاون الخليجي مقاومة شعبية وسياسية للأسباب التالية:

١. إن لدى هذه الدول مخزوناً كافياً من الوقود الأحفوري لتلبية احتياجاتها من الطاقة.
٢. هناك مخاوف من تكرار حوادث نووية كارثية مثل ما حدث في تشرنوبيل بأوكرانيا وثري مايل أيلاند بالولايات المتحدة.
٣. وجود مشكلات لازالت قائمة (ولم يتم حلها) مثل التخلص من النفايات النووية كالوقود النووي المستهلك، والمخاطر الملازمة لتفكيك محطات الطاقة النووية المنتهية صلاحيتها، والتلوث الإشعاعي في حالة وقوعه.
٤. ارتفاع تكلفة إقامة محطات الطاقة النووية وتكلفة تشغيلها.
٥. نقص الخبرة في تكنولوجيا الوقود النووي لدى الأفراد العاملين فيها.
٦. يَفْرض إقامة محطات طاقة نووية على الدولة المستوردة أن تعتمد على الدولة الموردة لضمان توريد الوقود النووي من قبل الدولة الموردة طوال عمر المحطة.
٧. تمكين الدولة الموردة لمحطة طاقة نووية من التفتيش على هذه المحطة لضمان عدم استخدام الوقود المستهلك بطريقة غير مشروعه.
٨. ضرورة تأهيل العاملين بالمحطة وتدريبهم في الدولة الموردة لتشغيل المحطة وصيانتها بطريقة آمنة وهذا التدريب يجب ألاّ يقتصر على العاملين والمهندسين بل يجب أيضا أن يشمل الفنيين، وهو أمر مكلف لكثرة عدد المتدربين وطول مدة التدريب.

ويميز محطات الطاقة النووية ارتفاع تكلفة رأسمالها وانخفاض تكلفة الوقود النووي. غير أن التطورات الحديثة أدت إلى تخفيض تكلفة رأس المال بدرجة كبيرة نتيجة التوحيد القياسي لأجزاء كثيرة من مكونات تلك المحطات وتقليل مدة الانشاء وقد تم حديثاً إنشاء عدة محطات في الوقت المحدد لها وبالتكلفة المقدرة لها سلفاً.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

كما قلت أسعار المحطات النووية بتصميم محطات ذات قدرات صغيرة ومتوسطة. وبينت أحد تقارير الوكالة الدولية للطاقة الذرية أن تكلفة محطة طاقة نووية سعة 600 MW ميجاوات طاقة كهربائية ومرتبطة بمحطة تحلية قدرتها 50,000 متر مكعب/ اليوم (m^3/d) تصل إلى ألف وثلاثمائة مليون دولار (وهو رقم أقل من الواقع كما سنبين في نهاية هذا الباب) وأن تكلفة محطة التحلية تصل إلى خمسين مليون دولار (أي تقل 4% عن التكاليف الكلية للمحطة). وقد صدر أيضا تقرير عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية مبني على عدة دراسات، يوضح أن محطات الطاقة النووية التي تعمل للوفاء بالحمل الأساسي هي أكثر اقتصاداً من المحطات التقليدية، حتى قبل حدوث الارتفاع الكبير في أسعار النفط.

وهناك شروط أساسية ينبغي توافرها لكي تقرر أية دولة اختيار المحطات النووية لتوليد الكهرباء (وتحلية المياه في حالة الحاجة إليها) منها:

١. أن توفر هذه المحطات ميزه اقتصادية واضحة مقارنه بالمحطات التقليدية أي أن يكون سعر إنتاج وحدة الكهرباء (كيلووات ساعة) وسعر إنتاج المتر المكعب من ماء التحلية أقل من أسعار إنتاجهما من المحطات التقليدية.
٢. هناك حاجة حقيقية إلى إنتاج المحطة من الكهرباء (ومن مياه التحلية) مع العلم بأن سعة المحطات التجارية النووية كبيرة (عادة أكثر من 600 ميجاوات).
٣. وجود شبكة كهربائية كبيرة يمكن لها أن تستوعب الإنتاج الكبير لمحطة الطاقة النووية.
٤. أن تتعهد الحكومة بضمان تشغيل آمن للمحطات النووية وأن تتعهد باستكمال دورة الوقود حسب الاتفاق مع الدولة الموردة ووكالة الطاقة الذرية الدولية، وتقر التشريعات اللازمة لذلك.
٥. أن يكون لدى الدولة العناصر البشرية والقاعدة الصناعية اللازمة لإنشاء المحطة وتشغيلها.

لذا يجب تشكيل لجنة حكومية للتأكد من الشروط السابقة لتقوم بدراسة مستفيضة توصي (أو لا توصي) بعدها باختيار المحطة النووية وتختار دورة الوقود المناسبة لها وتقترح موقع مناسب للمحطة. ويناقش هذا الباب المقترحات الأولية اللازمة للتأكد من استعداد الكويت لإقامة محطة طاقة نووية، [4].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٢. استهلاك الوقود النفطي في دولة الكويت والحاجة إلى تنوع مصادر الوقود

تستهلك الكويت كميات هائلة من الوقود النفطي (زيت البترول والغاز الطبيعي) ويزداد معدل الاستهلاك باستمرار وقد جاء في تقرير وزارة الكهرباء والماء عام 2006 [5] أن الاستهلاك الكلي للوقود بلغ ما يكافئ 150 مليون برميل سنوياً (م ب س) في عام 2005، أي 0.411 مليون برميل يومياً (م ب ي). كما أورد المرجع [1] أن هذا الاستهلاك اليومي زاد عام 2006 إلى 0.45 (م ب ي) وأن الاستهلاك عام 2005 قد زاد بنسبة 76% عما كان عليه عام 1995 (85 مليون برميل سنويا =0.234 مليون برميل يومياً) وكانت نسب الوقود المستهلك عام 2004 كالآتي:

- محطات الطاقة الكهربائية وتحلية المياه التي تُشَغِّلها وزارة الكهرباء والماء (54%).
- قطاع الصناعات النفطية (28%).
- قطاع النقل (17%).
- قطاع السكن (1%).

ويبين جدول رقم 3 استهلاك الوقود في قطاعات مختلفة في دولة الكويت من عام 1995 إلى عام 2005

جدول (3) استهلاك الوقود في قطاعات مختلفة في دولة الكويت، بوحدات ألف برميل سنوياً [5]

عـــام	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
قطاع الكهرباء	42,94	46,77	49,00	55,12	58,04	60,25	63,90	68,13	70,66	75,68	81,68
قطاع البترول	25,18	24,09	27,14	30,41	32,52	29,45	32,39	33,70	38,43	44,05	41,35
قطاع النقل	16,00	16,69	17,42	17,78	18,11	18,18	18,95	20,17	21,97	23,70	25,38
المنـــــازل	1,10	1,11	1,15	1,14	1,17	1,18	1,21	1,28	1,32	1,34	1,55
المجمـــــوع	85,23	88,67	94,72	104,46	109,84	109,07	116,47	123,29	132,40	144,78	149,97

وتجدر الإشارة إلى أن استهلاك الوقود في محطات الكهرباء والماء قد ازداد بنسبة 90% من عام 1995 إلى عام 2005. وإذا استمر معدل الاستهلاك بهذا المعدل في محطات الكهرباء والماء، فسيبلغ هذا الاستهلاك: 155.2، 295، 560.3 مليون برميل في الأعوام: 2015، 2025، 2035 على التوالي؛ ومن ثم فإن هذه المحطات ستستهلك في عام 2035 أكثر من نصف كمية البترول المنتج والبالغ ثلاثة ملايين برميل يومياً. وفي عام 2015، ستبلغ تكلفة الوقود المستخدم في تلك المحطات 11.64 مليار دولار إذا كان سعر البترول حينئذٍ 75 دولار للبرميل. ويلاحظ أن الاستهلاك اليومي للوقود عام 2006 كان 0.45 مليون برميل، وقد بلغت نسبة زيت الوقود فيه 80% ونسبة الغاز الطبيعي 20%.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ويتضح مما سبق أن التحول إلى استخدام الطاقة النووية لإنتاج الكهرباء والماء، سيوفر على الكويت نصف ما تستهلكه من النفط خلال ثلاثة عقود كما يلاحظ أن استخدام زيت الوقود في محطات الطاقة عملية مكلفة، إضافة إلى أن لهذا الزيت استخدامات أفضل لسهولة نقله، وينطبق هذا الرأي على المملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة وجمهورية مصر العربية. ويعرض الجدول (1–ج) الذي سبقت الإشارة إليه استهلاك هذه الدول من الوقود عامي 2001 و2006 وكذلك الاستهلاك المتوقع عام 2016 إذا استمر معدل الزيادة في الاستهلاك على حاله؛ كما يبين هذا الجدول تكلفة استهلاك الوقود بالمليار دولار في عام 2016.

٣. محطات الطاقة الكهربائية في الكويت والحاجة إلى محطات إضافية

تعمل في دولة الكويت خمس محطات طاقة أساسية وهي محطة الدوحة الشرقية والدوحة الغربية والصبية و الشعيبة الجنوبية والزور الجنوبية، وقد بلغ مجموع قُدرة هذه المحطات مجتمعه 9 جيجاوات عام 2004 وزادت قدرة هذه المحطات إلى 10.7 جيجاوات عام 2006؛ ومن المتوقع أن تصبح قدرتها مجتمعه 13.1 جيجاوات في نهاية عام 2008 وذلك بعد إضافة توربينات غازية تعمل بالدورة البسيطة لمواجهة الأحمال القصوى في فصل الصيف (انظر الجدولين (4–أ) و(4–ب).

جدول (4–أ) وحدات التوربينات البخارية والغازية في محطات الطاقة بدولة الكويت حتى عام 2005، [6]

اسم المحطة	قدرة التوربينات البخارية	عام التشغيل	قدرة التوربينات الغازية	عام التشغيل
الشعيبة الشمالية	5 turbine × 70 MW	1968-1965	2 turbine × 25 MW	1968-1965*
الشعيبة الجنوبية	6 turbine × 134MW	1974-1970	-	-
الدوحة الشرقية	7 turbine × 150 MW	1979-1977	6 turbine × 18 MW	1981
الدوحة الغربية	8 turbine × 300 MW	1984-1983	-	-
الزور الجنوبية	8 turbine × 300 MW	1989-1987	4 turbine × 27.75 MW	1989-1987
الصبية	8 turbine × 300 MW	2000-1998	-	-

* تم تدمير هذه المحطة أثناء الغزو العراقي.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

جدول (4–ب) وحدات التوربينات الغازية المضافة أو قيد الإنشاء في محطات الطاقة بدولة الكويت بعد عام 2005 [6].

الموقـــــع	عدد الوحدات	طاقة الوحدة/ميجاوات	الطاقة الكلية/ميجاوات	تاريخ التشغيل
الزور الجنوبية	8	125	1000	مارس 2005
الشويخ	6	42	252	يوليو 2007
الصبية	4	80	320	أغسطس 2007
الصبية	6	45	270	أغسطس 2007
الدوحة الغربية	5	40	200	يوليو 2007
الشعيبة الشمالية	3	220	660	
الزور الجنوبية	8	125	1000	
المجمـــــوع	**40**	-	**3702**	

ويبلغ معدل استهلاك الكهرباء في دولة الكويت 13,500كيلوات ساعة/للفرد في سنوياً وهو من أعلى المعدلات العالمية وذلك للأسباب التالية:

١. الاستخدام المكثف لمكيفات الهواء، حيث يبلغ استهلاكها أكثر من 75% من الطاقة الكهربائية عند الأحمال القصوى.

٢. الاعتماد شبه الكلي على تحلية مياه البحر لتلبية احتياجات المياه العذبة وبخاصة للاستعمال المنزلي.

٣. الدعم الكبير من قبل الحكومة لأسعار الطاقة الكهربائية ومياه الشرب.

ومن المتوقع زيادة الطلب على الكهرباء مستقبلاً بمعدل 7–9% سنوياً (قياساً بالأعوام السابقة) وهذا يتطلب إضافة محطات طاقة جديدة لرفع طاقة المحطات الحالية. ويعرض (الجدول– 5) الأحمال القصوى عامي 2001 و2006 والأحمال المتوقعة عام 2016 إذا استمر معدل النمو بالمقدار نفسه. وعادة ما تقدر قدرة المحطات الكهربائية العاملة بمقدار 1.25 من الأحمال القصوى. وقد تم حساب قدرة المحطات المطلوبة لعام 2016 بناءً على ذلك؛ كما يعرض (الجدول– 5) الزيادة المطلوبة في قدرة هذه المحطات بحلول عام 2016 وهي على الترتيب: 7.5، 26.7، و9.2، 16 جيجاوات في: دولة الكويت، السعودية، الإمارات، مصر.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

جدول (5) الحمل الأقصى والطاقة المركبة المطلوبة بالجيجاوات.[1]

الدول	الكويـــت	الإمـــارات	السعوديـــة	مصـــر
الحمل الأقصى عام 2001 (جيجاوات)	7.06	8.04	23.58	12.38
الحمل الأقصى عام 2006 (جيجاوات)	9.00	12.00	31.71	17.30
الزيادة في خمس سنوات (%)	27	49.1	26	28
الحمل الأقصى المتوقع عام 2016	14.61	21	50.04	28.55
الطاقة المركبة عام 2006	10.76	17.28	35.805	19.767
القدرة المطلوبة عام 2016	18.27	26.51	62.55	35.69
القدرة الإضافية المطلوبة	7.50	9.23	26.67	15.90

وتحقق الزيادة المطلوبة في قدرات محطات الطاقة أحد الشروط المطلوبة لبناء المحطات النووية (تلبية للحاجة إلى قدرات إضافية كبيرة) في الدول الأربع المذكورة أعلاه، على أن الشرط الأول لهذه الإضافة هو قدرة المحطات النووية على المنافسة اقتصادياً مع أنواع المحطات المعهودة (التي تستخدم الوقود النفطي) وهو ما ستجري مناقشته لاحقاً.

ومن الأمور المهمة التي يجب مراعاتها عند اختيار المحطة النووية تحديدالموقع الملائم وقدرة المحطة والمدة الزمنية اللازمة لإنشائها وملاءمتها لسعة واتزان الشبكة الكهربائية. وكذلك تحديد البنية التحتية اللازمة لبناء المحطة وسعة ونوع المحطات النووية الآمنة والمتاحة تجارياً.

أما من ناحية قدرة أو سعة (capacity) المحطة النووية المقترحة، يلاحظ أن قدرة معظم التوربينات البخارية العاملة بمحطات الطاقة في الكويت هي 300 ميجاوات للتوربين الواحد، غير أنه من المخطط له بناء محطة الزور الشمالية التي ستحتوي على خمسة توربينات بخارية قدرة كل منها 500 ميجاوات. لذا يجب ألا يزيد حجم توربين محطة الطاقة النووية كثيراً عن 500 ميجاوات. ويمكن اختيار الوحدة النووية التي يرمز إليها بـــ AP600 كمثال على الاختيار المناسب والتي تصل قدرة توربينها البخاري 600 ميجاوات كهربائي وقدرة مفاعلها النووي 1933 ميجاوات طاقة حرارية. ويعمل بالماء الخفيف المضغوط وتناسب قدرة توربينه (600 ميجاوات) قدرة محطات الطاقة الأخرى مجتمعة والتي من المتوقع أن تصبح 16.8 جيجاوات (GW) عام 2016. ومن المعروف أن تشييد المحطة النووية يستغرق من 5 إلى 6 أعوام.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ومجموع قدرات محطات الطاقة سيبلغ في عام 2016 على الترتيب: 62.55، 35.69، 26.51 جيجاوات في: السعودية، مصر، الإمارات. لذا فإنه من الممكن لهذه الدول اختيار المحطة النووية المعروفة باسم AP1000 وسعة التوربين البخاري الخاص بها 1000 ميجاوات كهربائي وقدرة مفاعلها النووي نحو 3000 ميجاوات طاقة حرارية ويعمل بالماء الخفيف المضغوط.

٤. حالة محطات تحلية مياه البحر والحاجة إلى محطات جديدة

تعتزم وزارة الكهرباء والماء بالكويت زيادة قدرة محطات تحلية مياه البحر المقامة حالياً من 1.5 إلى 3 مليون متر مكعب يومياً وذلك بحلول عام 2012. وتعتبر طريقة التبخير الفجائي متعدد المراحل (multi stage flash - MSF) هي الطريقة الوحيدة المستخدمة لتحلية المياه بالكويت باستثناء محطة تحت الإنشاء قدرتها 30 مليون جالون إمبراطوري يومياً (0.13 مليون متر مكعب يوميا) ستقام في محطة الشويخ تعمل على تحلية مياه البحر بطريقة التناضح العكسي (seawater reverse osmosis-SWRO). ومن المعروف أن طريقة التبخير الفجائي متعدد المراحل تستهلك كميات كبيرة من الطاقة (260 ميجاوات طاقة حرارية لكل متر مكعب من المياه و4 كيلووات.ساعة لكل متر مكعب طاقة ميكانيكية أو كهربائية لإدارة مضخات المحطة). وتقدر كمية الطاقة المستهلكة بهذه الطريقة بدلالة المكافئ الميكانيكي للطاقة بحوالي عشرين كيلووات ساعة/مترمكعب ($20\ kWh/m^3$) عندما يتم تزويد محطة التحلية ببخار مسحوب من توربين بخاري؛ أما عند توصيل البخار إلى محطة التحلية من غلاية مباشرة، فيبلغ الاستهلاك بدلالة المكافئ الميكانيكي للطاقة بأربعين كيلووات ساعة/مترمكعب ($40\ kWh/m^3$). ويلاحظ أن الطاقة الميكانيكية المستهلكة في محطات التناضح العكسي تتراوح ما بين 4 و6 كيلووات ساعة/ مترمكعب. وتحقق الحاجة إلى سعة إضافية في محطات التحلية بمقدار $1.5\ Mm^3/d$ مليون متر مكعب يومياً خلال ست سنوات، أحد الشروط المطلوبة للتحلية النووية (أي ربط محطات تحلية مياه البحر بمحطة طاقة نووية).

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٥. محطة الطاقة النووية المقترحة لإنتاج الكهرباء والماء في الكويت

لقد خلصت عدة دراسات حديثة حول استخدام الطاقة النووية في تشغيل محطات الطاقة وتقطير المياه إلى تفضيل استخدام مفاعلات الماء الخفيف (light water) الذي يستعمل كمبرد (coolant) ومهدئ (moderator) لتهدئة النيوترونات مقارنة باستخدام الماء الثقيل (heavy water) الذي يحتوي على ديوتيريم (deuterium) كمبرد ومهدئ. ولأن معظم محطات الطاقة النووية تستعمل مفاعلات الماء الخفيف، فقد أصبحت هذه المفاعلات مجربة ومفهومة. كما تكونت خبرات كبيرة في تصميم وتشغيل هذه المفاعلات والتي أسهمت في تطويرها وجعلها أكثر أماناً، وبالأخص مفاعلات الماء المضغوط (pressurized water reactors-PWR) مقارنة بمفاعلات الماء المغلي (boiling water reactors - BWR). ويوضح (جدول-6) والشكلان 3 و4 أن عدد مفاعلات الماء الخفيف المضغوط في العالم حتى يونيو 2010 هو 266 مفاعلاً من بين 438 مفاعلاً في حالة تشغيل من جميع الأنواع. وهناك 50 مفاعلاً من هذا النوع قيد الإنشاء من مجموع 58 مفاعلاً قيد الإنشاء من جميع الأنواع، انظر المرجعين [3] و[4]. وتستخدم مفاعلات الماء الخفيف وقود اليورانيوم بدرجة إثراء حتى حوالي 5% ويتم إنتاجه في البلاد المتقدمة (أعضاء النادي النووي).

أما مفاعلات الماء الثقيل والتي تستخدم وقود اليورانيوم الطبيعي، فإن عددها قليل: 18 مفاعلاً في كندا و17 مفاعلاً في الهند وواحد في الباكستان و4 مفاعلات في كوريا الجنوبية ومفاعلين في كلٍ من الصين ورومانيا كما هو مبين في الجدول 7. ولهذا تقترح هذه الدراسة أن يتم اختيار مفاعل نووي يعمل بالماء الخفيف المضغوط ورمزه AP600 وقدرة توربينه البخاري الخاص به 600 ميجاوات (MW) للعمل بدولة الكويت ومفاعل آخر AP1000 قدرة توربينه 1000 ميجاوات (MW) للعمل بالسعودية ومصر والإمارات.

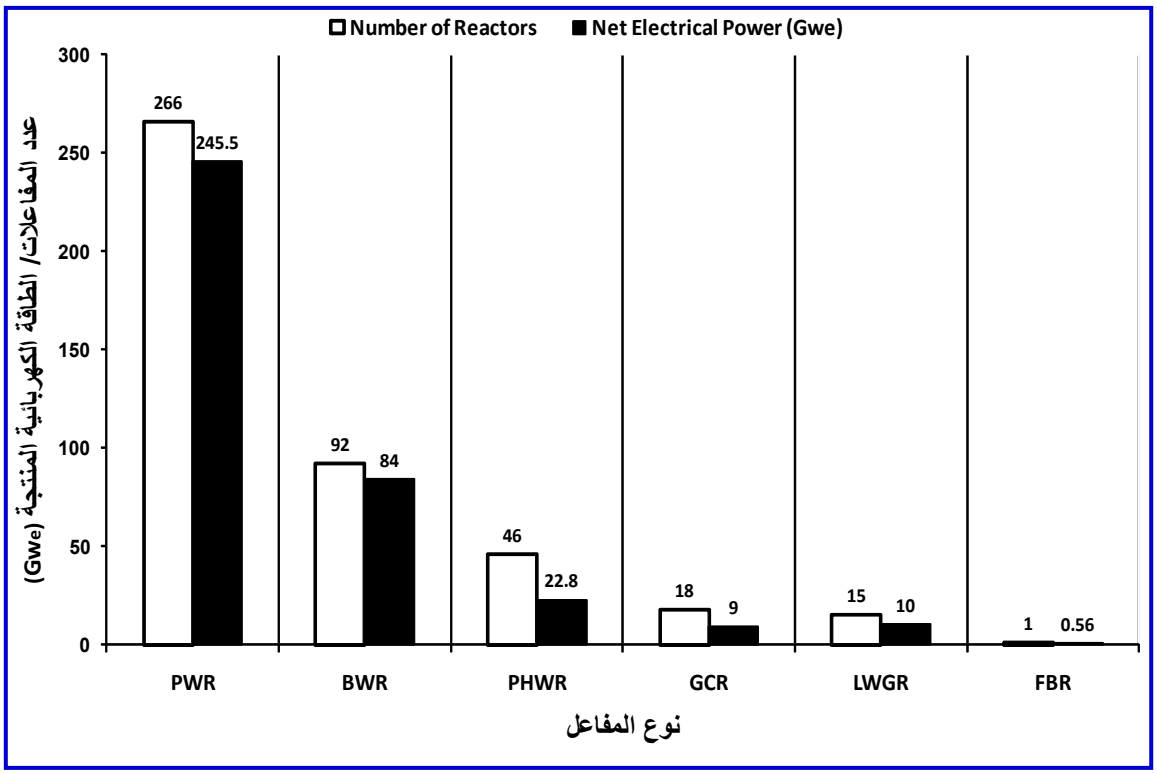
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

جدول (6) محطات الطاقة النووية المقترحة والتي هي قيد الإنشاء وتستخدم مفاعلات الماء الخفيف المضغوط واليورانيوم المثري [7].

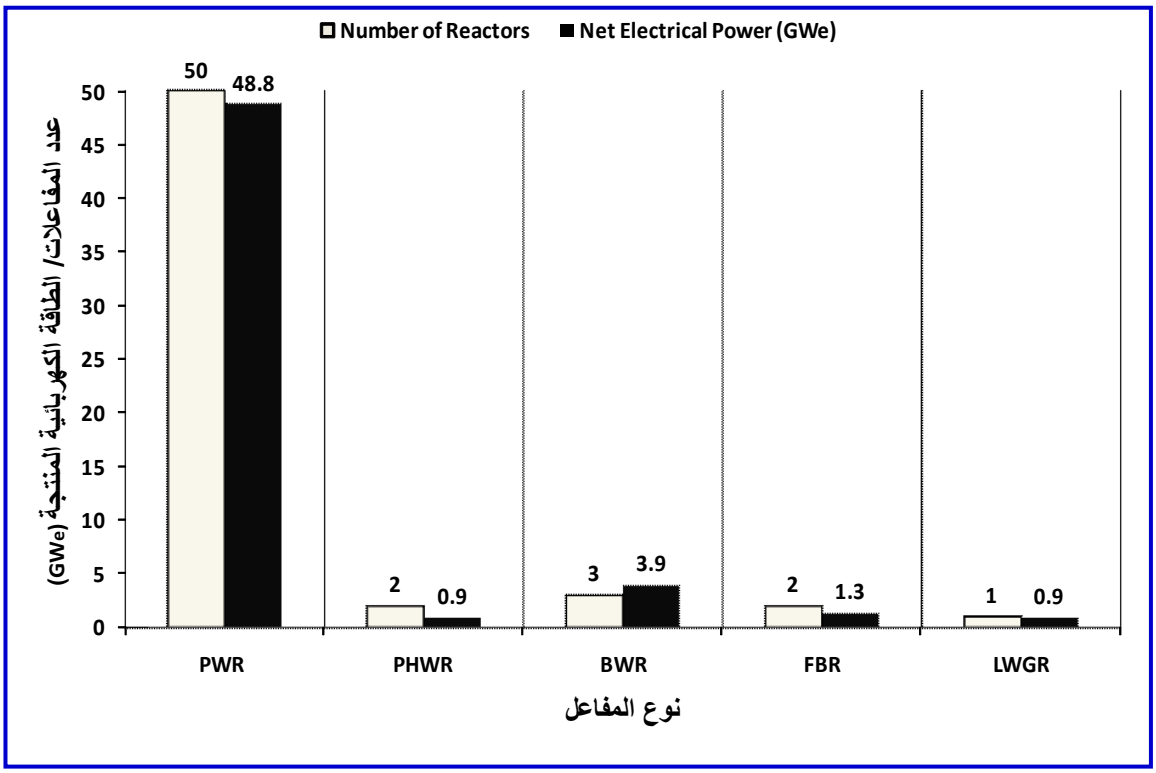
الدولة	الأرجنتين	مصـــــر	تونـــس	كوريـــا الجنوبية	روسيـــا
نوع المفاعل	CAREM	AP1000	AP600	SMART	RITM 200
الطاقة الأسمية، ميجاوات	125	951	610	100	55
رأس المال، دولار/كيلووات	1500	2000	2194	1855	3450
الكفاءة، %	29	33	33	30.3	25
مدة الإنشاء، سنوات	5	5	4	3	NA
تكلفة إنتاج الكهرباء، دولار/كيلوات ساعة	0.038	0.045	0.035	0.033	0.0408
عمر المحطة، سنوات	40	40	40	40	NA

(*) 100/1 من الدولار الأمريكي.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 3: عدد وأنواع محطات الطاقة النووية العاملة وإنتاجها من الطاقة الكهربائية.



شكل 4: عدد وأنواع محطات الطاقة النووية قيد الإنشاء وإنتاجها من الطاقة الكهربائية.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

جدول (7) أنواع المفاعلات والطاقة الكهربائية الموصلة للشبكة الكهربائية عام 2010، [3]

Total		FBR		LWGCR		PHWR		BWR		PWR		الدول
MW_e	No.	MW_e	No.	MW_e	No.	MW_e	No.	MW_e	No.	MW_e	No.	
935	2					935	2					الأرجنتين
375	1									375	1	أرمينيا
5902	7									5902	7	بلجيكا
1884	2									1884	2	البرازيل
1906	2									1906	2	بلغاريا
12569	18					12569	18					كندا
8438	11					1300	2	1700	2	5436	7	الصين
3678	6									3678	6	جمهورية التشيك
2696	4							1720	2	976	2	فنلندا
63130	59									63130	59	فرنسا
20490	17							6457	6	14033	11	ألمانيا
1889	4									1889	4	هنغاريا
4189	16					3889	17	300	2			الهند
46823	55							28403	31	18420	23	اليابان
17705	20					2722	4			14983	16	كوريا الجنوبية
1300	2							1300	2			المكسيك
487	1									487	1	هولندا
425	2					125	1			300	1	الباكستان
1300	1					1300	2					رومانيا
22693	32	560	1			10159	15			11974	16	روسيا
1800	2									1800	2	جنوب أفريقيا
1762	4									1762	4	جمهورية السلوفاك

FBR: Fast Breeder Reactor — مفاعل ولود سريع

PHWR: Pressurized Heavy Water Reactor — مفاعل الماء الثقيل المضغوط

BWR: Boiling Water Reactor — مفاعل الماء المغلي

PWR Pressurized Light Water Reactor — مفاعل الماء الخفيف المضغوط

LWGCR: Light Water Graphite Cooled Reactor — مفاعل الماء الخفيف المهدئ بالجرافيت

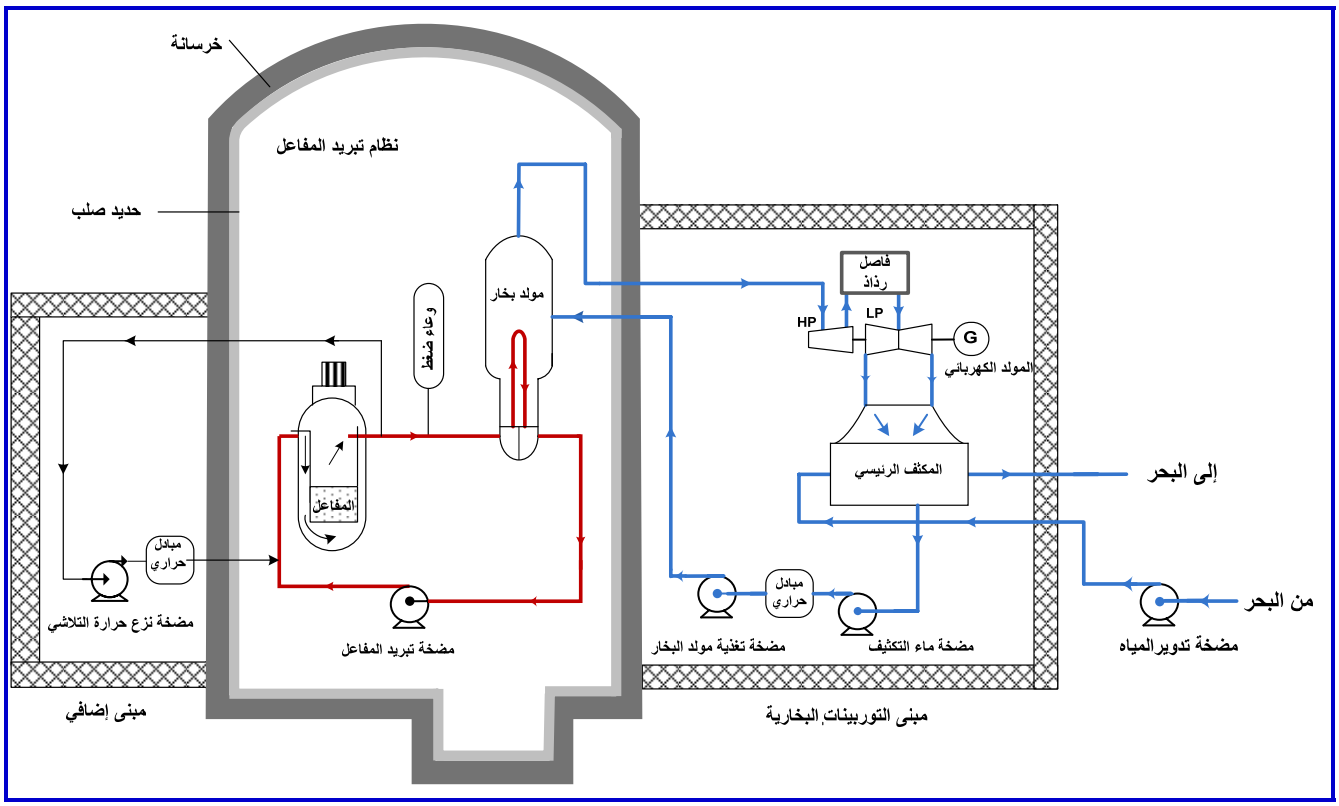
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

أما اختيـــار التوربين البخاري الذي يعمل مـــع هـــذه المفاعلات فيكـــون من النـــوع المسمى بالتوربين المكثف الاستنزافي (condensing extraction turbine) الذي يمكن أن يسحب منه جزء من البخار بعد تمدد جزئي إلى وحدات تحلية من نوع التبخير الفجائي متعدد المراحل (multi- stage flash, MSF) أو الغليان متعدد التأثير (multi effect boiling - MEB) أو انضغاط البخار الحراري (thermal vapor compression–TVC) ثم يستمر تمدد باقي البخار في التوربين إلى المكثف. كما يمكن استخدام جزء من الطاقة الكهربائية لتشغيل محطة تحلية بالتناضح العكسي. وتتوقع هذه الدراسة اختيار وحدات تحلية تعمل (بالغليان متعدد التأثير) (MEB) وتستخدم بخاراً منخفض الضغط نسبياً (عند درجة حرارة مشبعة 70°C) وبالتالي قليل الاتاحية (availability) مما يقلل مكافئ الطاقة الميكانيكية المستهلكة إلى 10-12 كيلوات ساعة لكل متر مكعب (kWh/m^3) (مقارنة بالقيمة 20-22 كيلوات ساعة لكل متر مكعب (kWh/m^3) اللازمة لعملية التبخير الفجائي متعدد المراحل) .

١.٥ مفاعل الماء الخفيف المضغوط ورمزه AP600

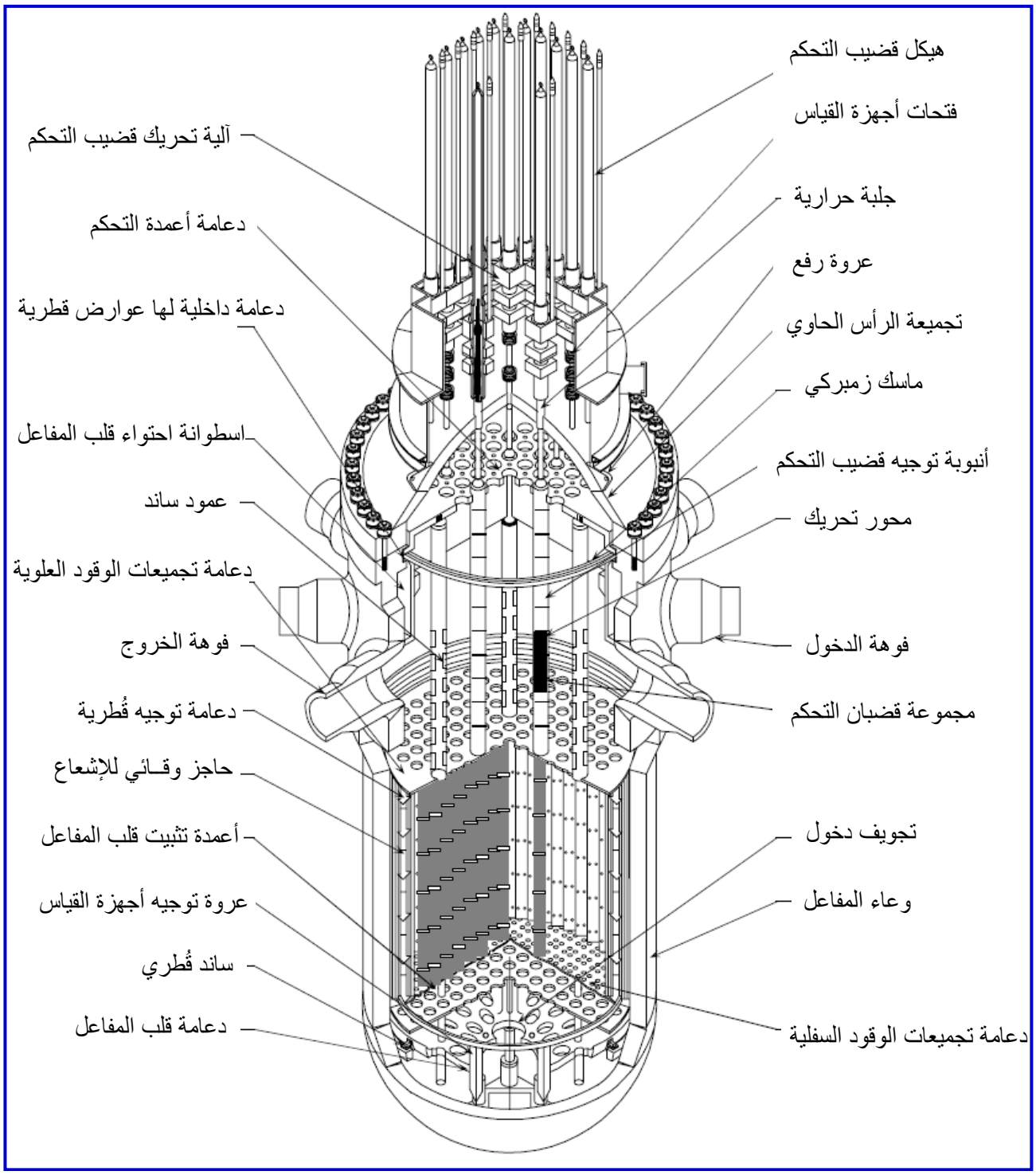
تنتج محطة الطاقة النووية AP600 وهي من إنتاج شركة وستنجهاوس إلكترك المبينة في الشكل 5 ، والتي تستخدم مفاعل الماء الخفيف المضغوط، طاقة كهربائية كلية (gross) بمعدل 619 ميجاوات (MW) وطاقة صافية (net) بمعدل 600 ميجاوات (MW) (بعد تشغيل بعض مكونات المحطة) وقدرة المفاعل الحرارية 1940 ميجاوات (MW) والكفاءة الصافية 35% إذا كانت درجة حرارة ماء التبريد الداخل إلى المكثف 30.5 درجة مئوية ويبين الشكل 6 رسماً مقطعياً لمفاعل نووي يعمل بالماء الخفيف المضغوط (AP1000).

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 5: دورة محطة طاقة نووية تعمل بالماء الخفيف المضغوط.

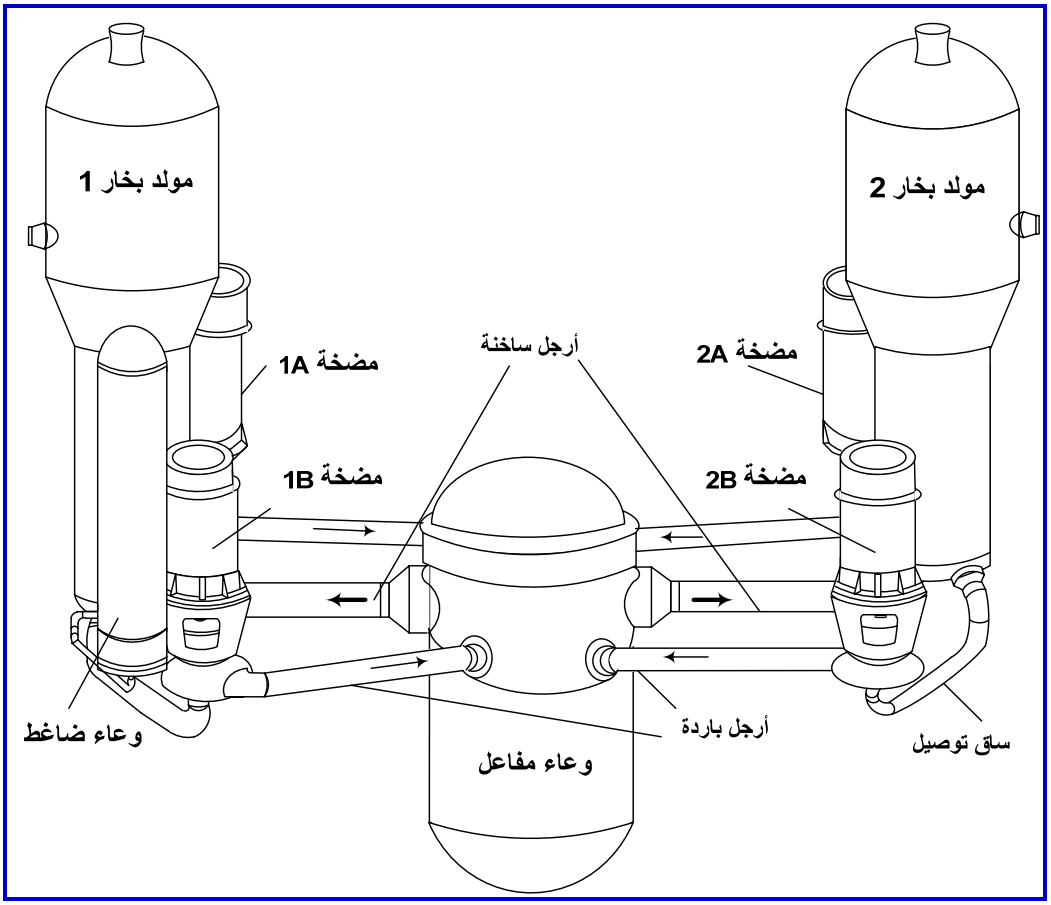
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 6. رسم مقطعي لمفاعل نووي يعمل بالماء الخفيف المضغوط (AP1000) [9].

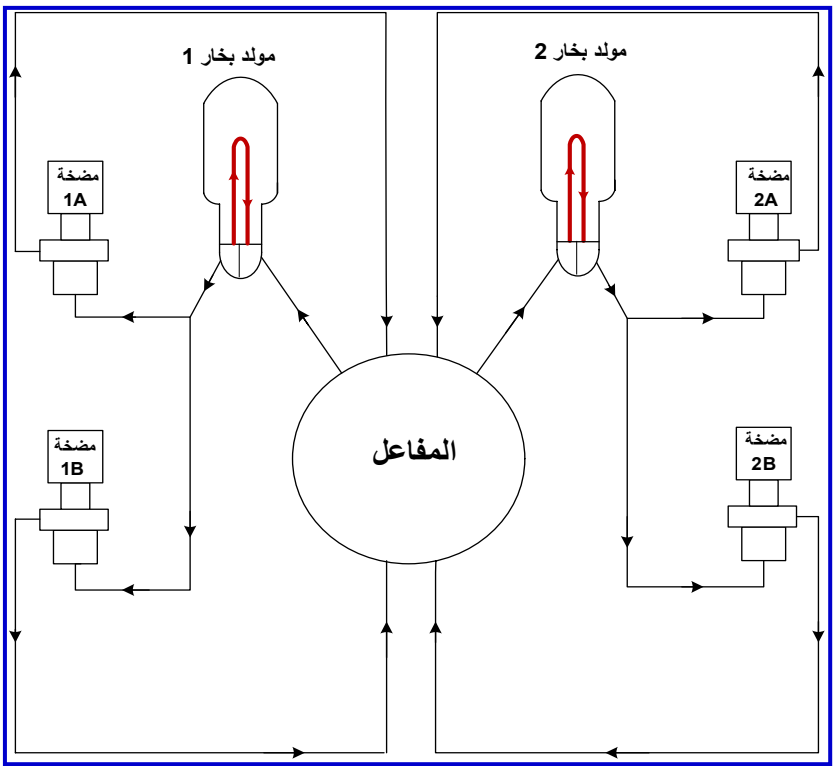
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

وتعمل دورة تبريد المفاعل بماء خفيف، وتسمى الدورة الأولية (primary loop) (الشكل 7 والشكل 8)، ولها أربعة مداخل عند قاع المفاعل تسمى الأرجل الأربعة الباردة (cold legs) يدخل منها الماء عند ضغط مرتفع 15.5 ميجاباسكال (MPa) ليمنع احتمال غليانه ويخرج بعد تسخينه بالحرارة الناتجة من المفاعل، من مخرجين بأعلى المفاعل يسميان الرجلان الساخنتان (hot legs) وتتصل المداخل والمخارج بمولدين للبخار وتركب عليهما مضخات سريان ماء تبريد المفاعل (الدورة الأولية) عند قاع مولدي البخار من خلال ساقي توصيل (cross legs) (شكل 8). وتنقل الدورة الأولية الحرارة الناتجة من المفاعل إلى مولدا البخار لينتجا بخاراً من دورة أخرى تسمى بالدورة الثانية (secondary loop) (شكل 9) وينتج مولدي البخار 1,063 كيلوجراماً من البخار كل ثانية (kg/s) عند درجة الحرارة 272.2°C وضغط 5.74 ميجاباسكال (MPa) (بخار مشبع تقريبا) ويدخل ماء الدورة الثانية إلى مولدي البخار عند ضغط 7.2 ميجاباسكال (MPa). ويتم احتواء المفاعل مع الدورة الأولية ومولدي البخار وخزانات مياه في مبنى أسمنتي (containment) يحول دون تسرب الإشعاعات النووية إلى خارج المبنى كما يوضح الشكل 10، [12].

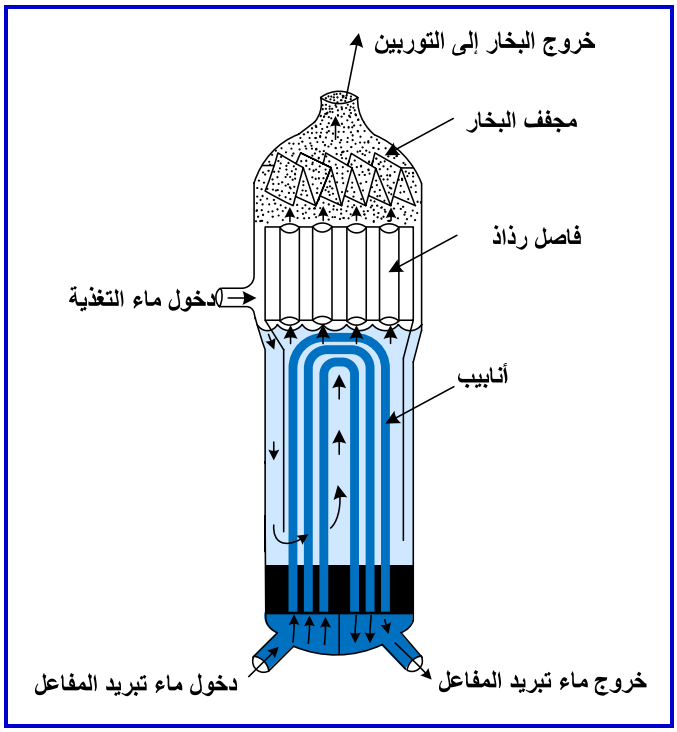


شكل 7: مكونات الدورة الأولية لمفاعل الماء الخفيف المضغوط (AP600) [9].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

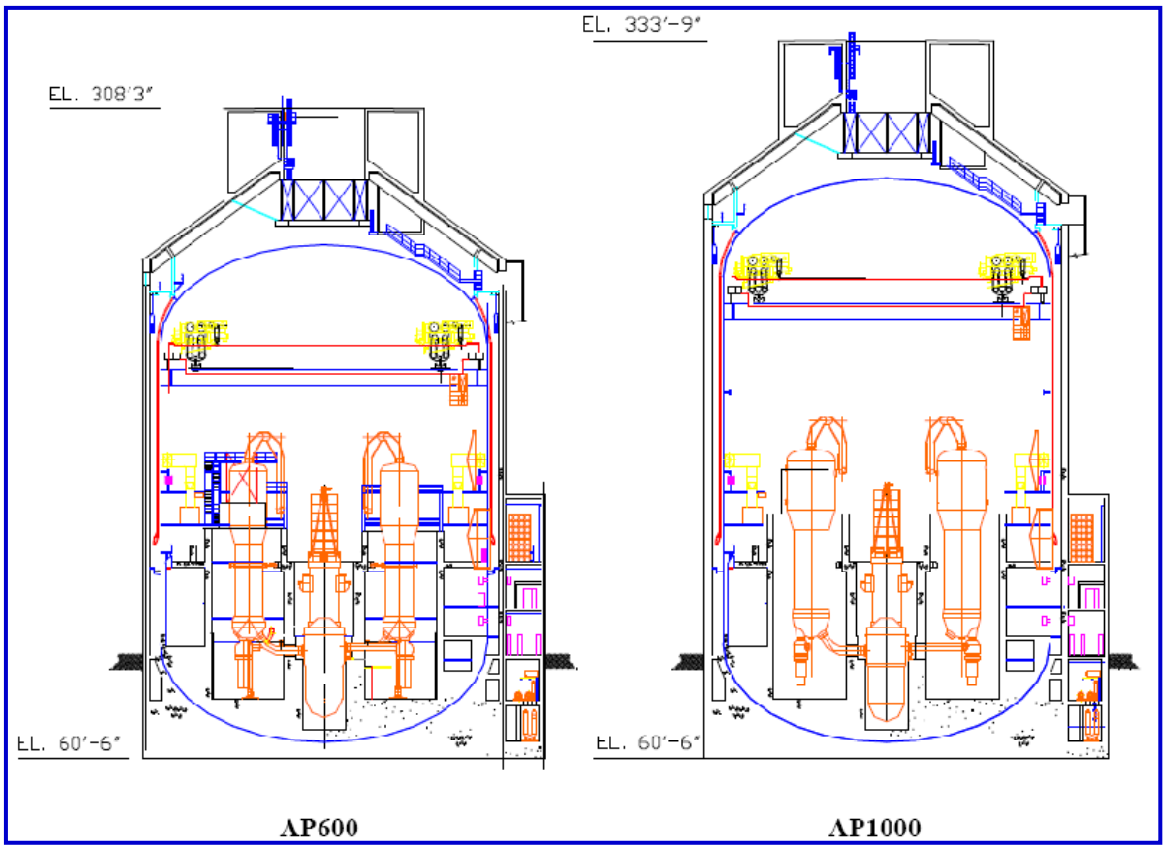


شكل 8: الدورة الأولية لمفاعل الماء الخفيف المضغوط (AP600) [9].



شكل 9: رسم توضيحي لمولد البخار في محطة نووية تعمل بالماء الخفيف المضغوط [11].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



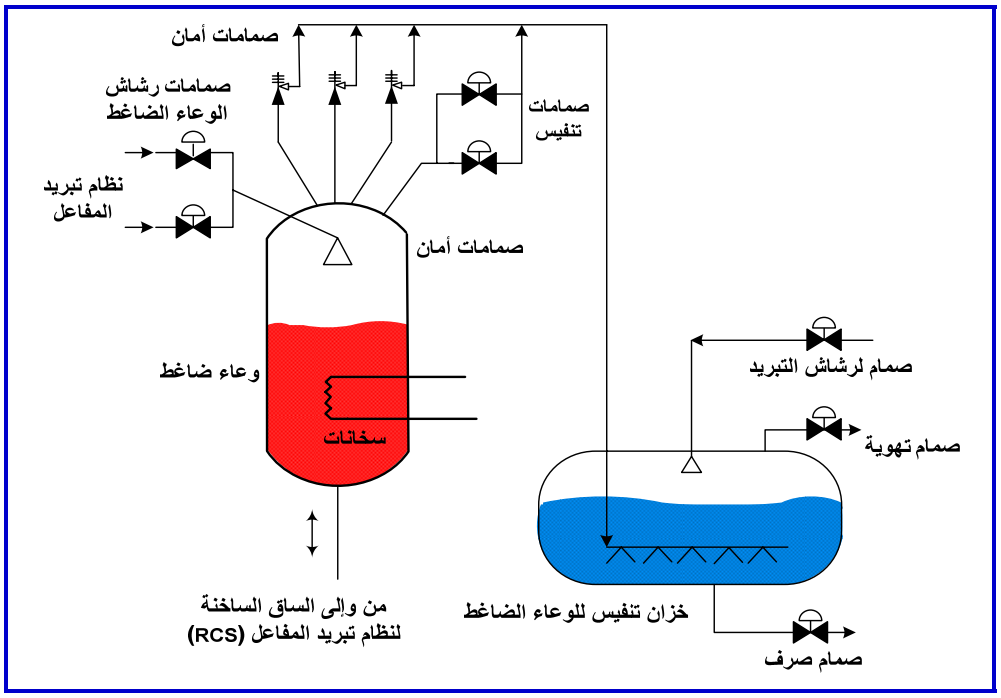
شكل 10: المبنى المحتوي على مفاعل ومولد البخار في محطة نووية تعمل بالماء الخفيف المضغوط [12].

ويعمل وعاء الضغط أو الضاغط (pressurizer) الموضح في الشكل 11 على حفظ الضغط المرتفع في الدورة الأولية وتعويض أي تغير في حجم السائل في هذه الدورة، كما يحتوي على نظام تحكم كيميائي لتنقية ماء تبريد المفاعل (chemical and volume control system) (بواسطة مرشحات ونازعات أملاح) ولإضافة أو تقليل البورون (Boron) حسب الحاجة وحفظ مستوى الماء في وعاء الضغط.

ويزود البخار المتولد (من الدورة الثانية والخارج من مولدي البخار)، التوربين البخاري الذي يدير المولد الكهربائي (electric generator). ويخرج البخار من التوربين بعد تمدده إلى المكثف حيث يتكثف البخار بماء تبريد (circulating water system) (عادة ما يكون ماءً مسحوباً من البحر إذا كانت المحطة مقامة على شاطئ البحر، كما هو متوقع في الكويت ثم يطرد ثانية إلى البحر، أي لا يعاد تدويره) ويضخ الماء المتكثف كماء تغذية من المكثف إلى مولدات البخار عبر مسخنات ماء استرجاعية (regenerative feed heaters)، وهي مبادلات حرارية مغلقة باستثناء واحدة منها مفتوحة تقوم بفصل الهواء الذائب في البخار وطرده وتسمى نازع الهواء (deaerator).

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ويتم تسخين ماء التغذية باستخدام بخار مسحوب من التوربين والذي يتم ضخه بواسطة مضخة ماء التغذية للمولد البخاري. ومن مميزات محطات الماء الخفيف المضغوط أن التلوث الإشعاعي لا ينتقل من الدائرة الأولية إلى دائرة التوربين البخاري والمكثف (الدورة الثانية) كما هو مبين في الشكل 5.



شكل 11. نظام وعاء ضغط الدورة الأولية لمفاعل الماء الخفيف المضغوط [9].

٢.٥ سمات الأمان في المفاعلات المقترحة AP600 و AP1000

يضمن تصميم المفاعلات (AP600) و(AP1000) حماية سلبية وذاتية للمفاعل (passive protection) لا تتطلب أي تدخل خارجي مثل التفعيل أو الحركة الميكانيكية أو الإمداد بالطاقة الكهربائية لدرء الأخطاء والمخاطر وتجنب استخدام نظم تحكم معقده قد تزيد من عناء المشغلين عند حدوث أية أخطاء. كما يضمن التصميم بقاء قلب المفاعل عند درجات حرارة منخفضة حتى في حالة حدوث كسر في دورة تبريد المفاعل بتبريده بواسطة سريان ماء طبيعي.

وقد تم إنشاء وتطوير مفاعلات الماء الخفيف المضغوط في البداية بواسطة شركة وستنجهاوس الأمريكية بالولايات المتحدة. وتقوم الآن عدة شركات عالمية من دول مختلفة بتوريد هذه المفاعلات ومنها على سبيل المثال شركات وستنجهاوس وبابكوكس أند ويلكوكس (Babcock and Wilcox) وكومبسشن انجينيرنج (Combustion Engineering) بالولايات المتحدة الأمريكية وشركة سيمنز (Siemens)

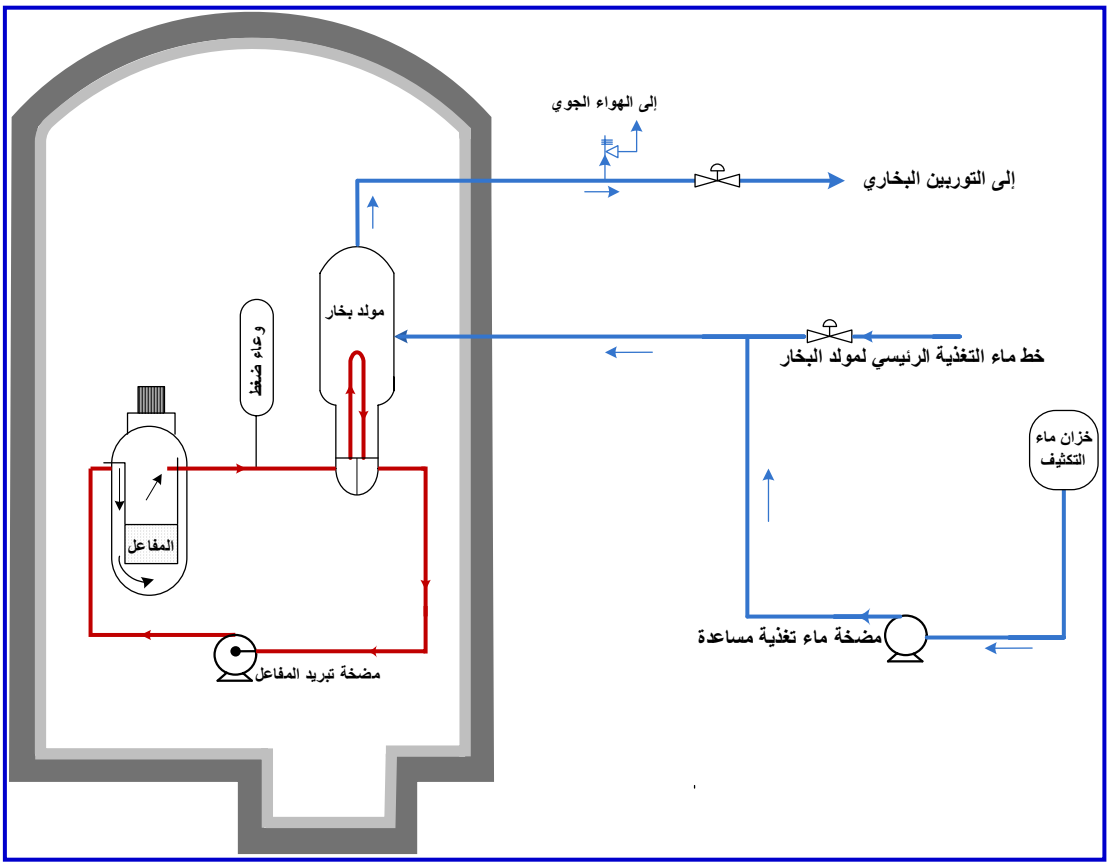
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

بألمانيا وشركة فراماتوم (Framatom) بفرنسا وشركة ميتسوبيشي (Mitsubishi) باليابان وشركة أجيب (Agip) بإيطاليا وجميع هذه الشركات لديها تراخيص لتوريد وإنشاء هذه المحطات.

١.٢.٥ تصريف الحرارة المتبقية بعد إغلاق المفاعل

يستمر المفاعل حتى بعد إغلاقه في إنتاج طاقة حرارية نتيجة التلاشي التدريجي لعملية الانشطار، تسمى حرارة التلاشي (decay heat). ويمكن أن تسبب هذه الحرارة تلف الوقود ولذا يجرى نقلها من قلب المفاعل إلى البيئة المحيطة بتبريد ماء تبريد المفاعل لخفض درجة حرارته بطريقتين:

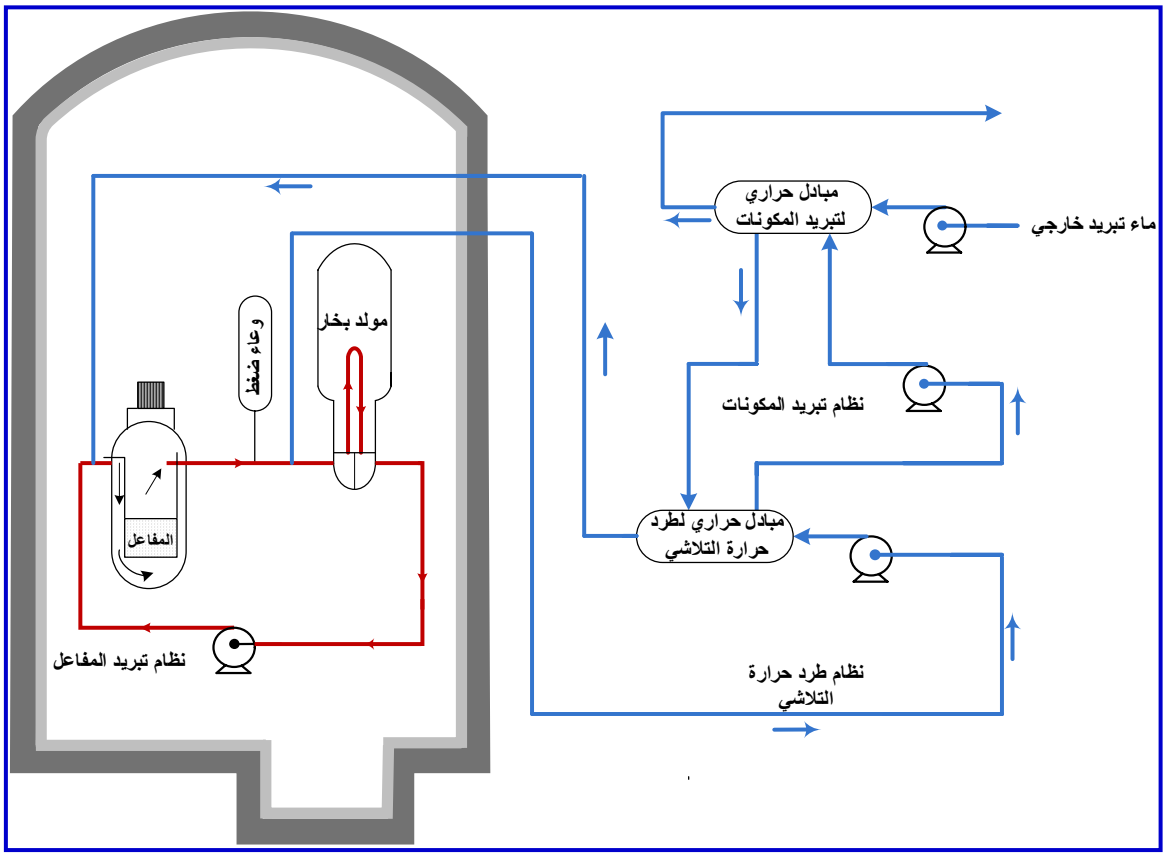
الطريقة الأولى: استخدام المضخة المساعدة لماء التغذية من المكثف إلى المولد البخاري لنقل ماء من خزان المكثف إلى مولد البخار وبعد غلي هذا الماء بانتقال الحرارة إليه من الدائرة الأولية. يجري توجيه البخار المتولد إلى المكثف من دون المرور على التوربين البخاري، ليفقد حرارته الكامنة في المكثف بواسطة ماء تبريد المكثف. وإذا تعذر ذلك (مثلاً، نتيجة عدم وجود ماء تبريد متاح للمكثف) يتم تصريف البخار الناتج إلى الجو مباشرة في حالات الطوارئ (انظر شكل 12).



شكل 12: التخلص من البخار المستخدم للتخلص من حرارة التلاشي [9].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

الطريقة الثانية: عندما لا تكون كمية حرارة التلاشي كافية لتوليد بخار للاستمرار في تبريد قلب المفاعل، يمكن خفض درجة حرارة ماء تبريد المفاعل (الدائرة الأولية) بواسطة نظام طرد حرارة التلاشي (residual heat removal – RHR)، حيث يتم في هذا النظام تمرير جزء من ماء تبريد المفاعل على مبادل حراري لتبريده بماء يسمى ماء تبريد المكونات (Cooling Component Water – CCW) الذي بدوره يفقد حرارته المكتسبة إلى الجو بواسطة ماء تبريد خارجي (انظر شكل 5، 13).



شكل 13: المبادل الحراري المستخدم للتخلص من حرارة التلاشي بواسطة ماء تبريد خارجي [9].

٢.٢.٥ نظام تبريد قلب المفاعل في الحالات الطارئة

في الحالات الطارئة عند فقد ماء تبريد المفاعل من الدورة الأولية (loss of coolant accidents, LOCA)، يتم تبريد قلب المفاعل لامتصاص الحرارة المتولدة به ولمنع تلف (أو إنصهار) الوقود النووي (meltdown) وذلك بدفع كميات كبيرة من المياه (المضاف إليها بورون) الموجودة في خزان إعادة تعبئة الماء (refueling water storage tank – RWST) المركب خارج مبنى احتواء المفاعل (أو في خزان تجميع آخر) إلى

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

قلب المفاعل (انظر الشكل 14). ويقوم الماء المحتوي على أيونات البورات بجانب التبريد بتسميم النيوترونات لإبقاء المفاعل غير نشط (دون انشطار) بعد عملية التبريد.

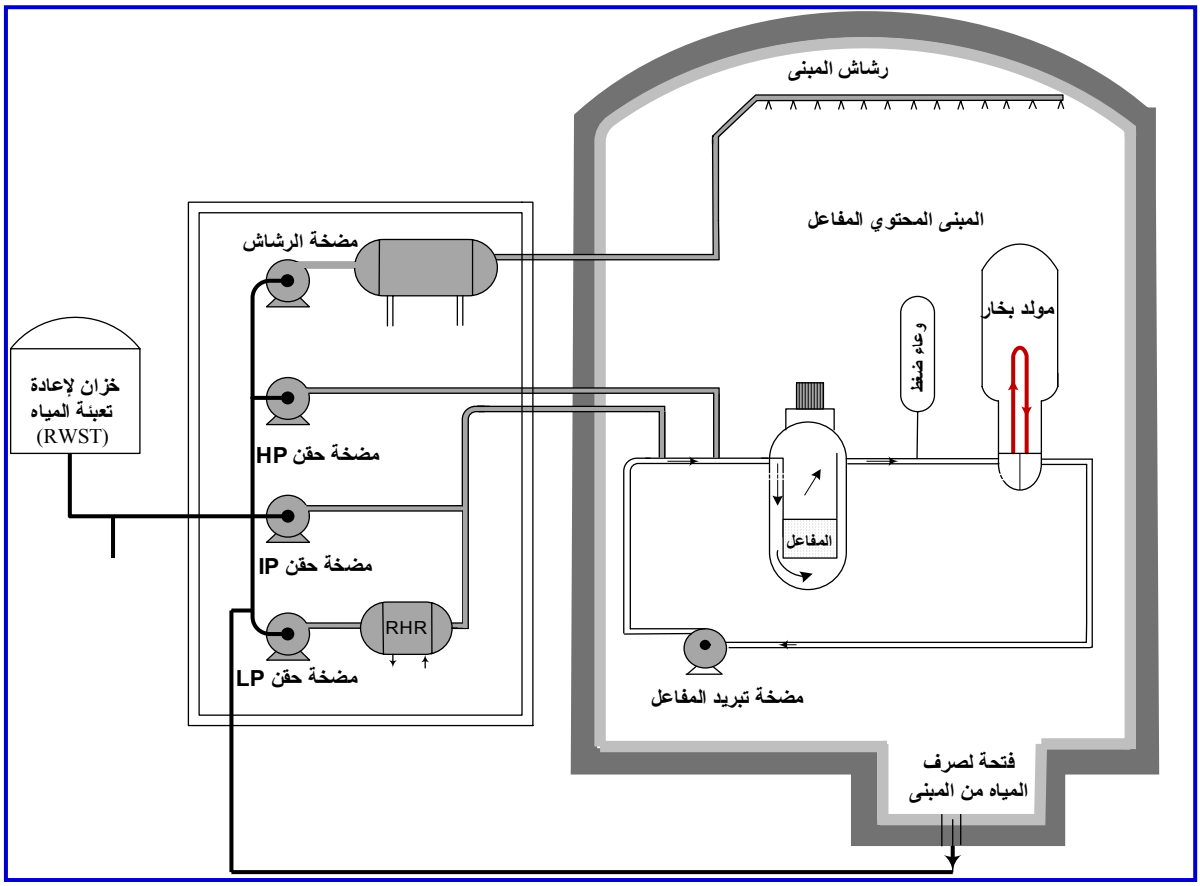
ويتكون نظام تبريد قلب المفاعل في الحالات الطارئة (emergency core cooling system - ECCS) من عدة أنظمة ثانوية:

١. نظام حقن عند ضغط مرتفع (high pressure safety injection) تستخدم فيه مضخات نظام التحكم في كيمياء الماء بالدورة الأولية ويضخ ماء من خزان إعادة تعبئة الماء (RWST) إذا كان الضغط بتلك الدورة مرتفعا.
٢. نظام حقن عند ضغط متوسط يقوم بضخ الماء من خزان إعادة تعبئة الماء إلى قلب المفاعل عند حدوث تسرب بسيط أو متوسط من دورة تبريد المفاعل، يتسبب في تقليل ضغطها إلى حد معين، وعندها يتم إرسال إشارة لضخ الماء.
٣. نظام حقن عند ضغط منخفض (low pressure coolant/ safety injection system) للتخلص من حرارة التلاشي بعد توقف المفاعل من خزان إعادة تعبئة الماء إلى قلب المفاعل، مع العلم أن انخفاض الضغط قد يحدث بسبب كسر في دورة تبريد ماء المفاعل.

وعند فقد الطاقة الكهربائية، تعمل مضخات الضغط المرتفع والمتوسط والمنخفض بواسطة الطاقة الكهربائية المنتجة من ماكينات ديزل مساعدة (redundant system).

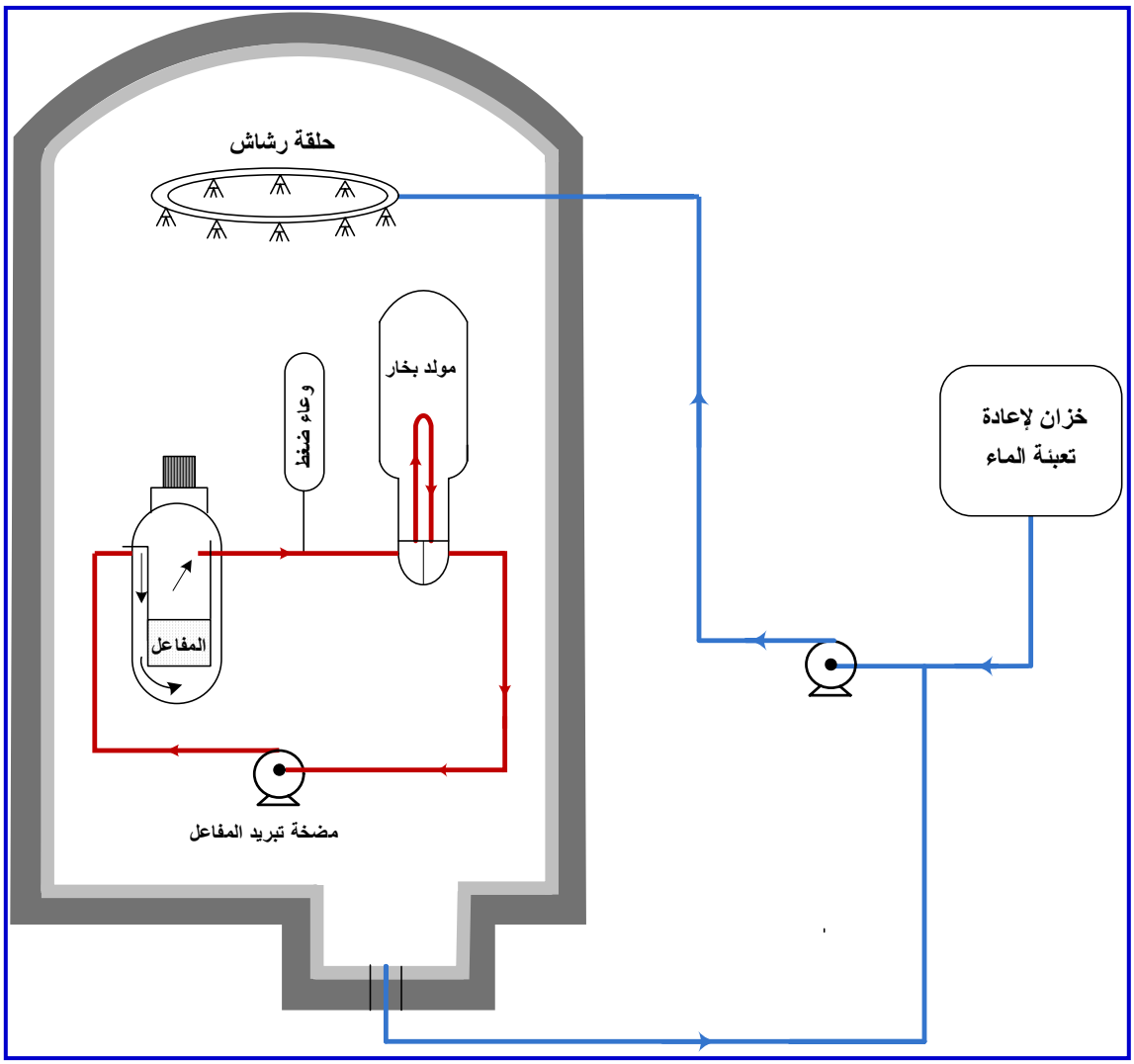
٤. إضافة إلى ذلك، يمكن ضغط ماء من خزان يتم فيه صرف الماء من المبنى المحتوي على المفاعل وتبريده وذلك بضخه إلى المبادلات الحرارية في نظام طرد حرارة التلاشي (RHR)، ثم دفع الماء المبرد إلى قلب المفاعل لتبريده. ويعمل هذا النظام عندما يفرغ الماء من خزان إعادة تعبئة الماء. (انظر الشكل 14)
٥. تزويد بورات الماء لقلب المفاعل من خزان مركب عند مدخل الماء البارد ينساب الماء منه بطريقة طبيعية دون الحاجة إلى تيار كهربائي للتشغيل (chemical addition tank).
٦. تزويد بورات الماء لقلب المفاعل من خزان مضغوط بغاز النيتروجين ومتصل بالدورة الأولية بصمام يفتح ذاتياً عند انخفاض ضغط الدورة الأولية بسبب كسر أو تسرب كبير في هذه الدورة.
٧. عند حدوث تسرب متوسط أو كبير بسبب كسر في دورة تبريد ماء المفاعل أو الدورة الثانية، يمكن أن يمتلئ المبنى المحتوي على المفاعل ببخار الماء، وعندها يتم رش الماء لتكثيف البخار كما يبين الشكل 15.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 14: نظام الطوارئ لتبريد قلب المفاعل (css) [11].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 15: نظام تبريد المبنى المحتوي على المفاعل وذلك بتكثيف البخار المنتشر في المبنى [9].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٦. التنافسية الاقتصادية لمحطات الطاقة النووية

يمكن مقارنة اقتصادات محطات الطاقة النووية باقتصادات المحطات المفضلة اقتصادياً وتكنولوجياً في الوقت الحاضر (وتسمى محطات الدورة المركبة) والتي تستخدم التوربين الغازي والتوربين البخاري وتصل كفاءتها إلى حوالي 48% في جو الكويت الحار بالصيف و55% في الأجواء الباردة كما أن تكلفة رأسمالها منخفضة نسبياً. ويمكن حساب تكلفة إنتاج الطاقة الكهربائية لمحطات الطاقة النووية ومحطات الدورة المركبة من تكلفة كلٍ من رأسمال المحطة والتكاليف التشغيلية الأخرى، كتكلفة الوقود المستخدم وتكلفة التشغيل والصيانة؛ كما يجب إضافة تكلفة تفكيك المحطة النووية، حيث يتم توفير مبالغ أثناء تشغيلها لينفق منه على تفكيكها عند نهاية عمرها لإزالة آثارها الإشعاعية.

وستتم مقارنة تكلفة إنتاج الطاقة الكهربائية لثلاث محطات نووية في هذا الجزء من الدراسة سعتها الإنتاجية متساوية وتعادل 3000 ميجاوات (MW):

١) محطة طاقة نووية تتكون من ثلاث وحدات ذات سعة 1000 ميجاوات (MW) وتستخدم مفاعل من نوع (AP1000).

٢) محطة طاقة نووية تتكون من خمس وحدات ذات سعة 600 ميجاوات (MW) وتستخدم مفاعل من النوع AP600.

٣) محطة طاقة تعمل بنظام الدورة المركبة وتتكون من خمس وحدات وسعة كل وحدة منها 600 ميجاوات (MW) وكل وحدة مكونة من 2 توربين غازي وتوربين بخاري.

وقد تم فرض قيمة عامل التحميل (load factor) في هذه الحسابات بقيمة (0.8) لأنها ستعمل على الحمل الأساسي (base load)، ويعرف عامل التحميل بكمية الطاقة المنتجة من المحطة سنوياً مقسوماً على كمية الطاقة التي يمكن إنتاجها لو استمر إنتاج المحطة بكامل قدرتها طول الوقت لمدة عام.

١.٦ تكلفة رأس المال

ومن الملاحظ وجود تقديرات مختلفة لتكلفة رأسمال المحطات النووية من عدة دراسات [13, 14] كما يبين الجدول-8. وقد استُخدم تقدير مرتفع لمحطة نووية أقيمت عام 2007 وقدره 2865 دولار لكل كيلوات ($/kW) تستخدم مفاعل AP1000 وقدرتها 1000 ميجاوات كهربائي (MW_e)؛ كما تم تقدير تكلفة رأس مال محطة تعمل بالدورة المركبة مع وحدة حرق إضافية وقدره 803 دولار لكل كيلوات ($/kW) (انظر جدول 9).

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

جدول (8) تقدير تكلفة رأسمال محطات نووية من خلال عدة تقارير ودراسات [13]

الدراسة	عام التقدير	تقدير التكلفة ($/kW$_e$)
وكالة الطاقة الدولية	2001	1100
إدارة معلومات الطاقة الأمريكي	2001	2300
مركز مراجعة الطاقة الأمريكي	2001	3300-2600
تقرير شركة كيستون	2007	2950
تقرير معهد أبحاث الطاقة الكهربائية	2007	2400-2000

جدول (9) تكاليف رأسمال محطات طاقة مختلفة [14]

نوع محطة الطاقة المستخدمة	السعة الإجمالية MW	تكلفة رأسمال المحطة $/kW
محطة تعمل بالطاقة النووية	**1000**	**2850**
محطة تعمل بدورة التوربين الغازي المركبة	500	784
محطة تعمل بالدورة المركبة مع وحدة حرق إضافية	**550**	**803**
محطة تعمل بدورة التوربين الغازي البسيطة 50 MW	50	857
محطة تعمل بدورة التوربين الغازي البسيطة 100 MW	100	793
محطة تعمل بدورة التوربين الغازي المتقدمة	200	610
محطة شمسية فوتوفولتيك مركزة	15	5000
محطة شمسية بمستقبلات مقعرة	63.5	3900
محطة شمسية فوتوفولتيك أحادية المركز	1	9321
محطة تعمل بطاقة الرياح	50	1900

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

- تكلفة رأسمال وحدة نووية AP1000 تساوي: $1000000(kW) \times 2865 \left(\frac{\$}{kW}\right) = 2865 \ (M\$)$

تكلفة رأسمال محطة نووية بثلاث وحدات AP1000 تساوي: $2865 \times 3 \ (M\$) = 8595 \ (M\$)$

وعند استعمال محطة قدرتها 600 ميجاوات (MW) فقط وذلك باستخدام المفاعل AP600 فيتوقع زيادة رأس المال/كيلووات بنسبة ما، سنفترضها هنا 20%؛ وبالتالي فإن تكلفة رأسمال المحطة النووية AP600 هي 3438 دولار لكل كيلوات ($/kW).

- تكلفة رأسمال وحدة نووية AP600 تساوي: $600000 \ (kW) \times 3438 \left(\frac{\$}{kW}\right) = 2062.8 \ (M\$)$

تكلفة رأسمال محطة نووية بخمس وحدات AP600 تساوي: $2062.8 \times 5 \ (M\$) = 10314 \ (M\$)$

- تكلفة رأسمال وحدة 600 ميجاوات بمحطة دورة مركبة (MW) تساوي:

$600000 \ (kW) \times 803 \left(\frac{\$}{kW}\right) = 4818 \ (M\$)$

تكلفة رأسمال محطة الدورة المركبة قدرتها 3000 ميجاوات تساوي:

$481.8 \times 5 \ (M\$) = 2409 \ (M\$)$

أي أن تكلفة رأسمال المحطة النووية أعلى أربع مرات من تكلفة محطات الدورة المركبة.

ولحساب تكلفة رأس المال السنوي عند حساب تكلفة إنتاج الطاقة الكهربائية للمحطة، يجب حساب أمرين [16]: الأول، هو نسبة التكلفة السنوية الثابتة (Annual Fixed Payment Ratio) وهي النسبة المدفوعة سنوياً من قيمة القرض، ونرمز لها بالرمز A، ويمكن حسابها من المعادلة (1)، بفرض أن نسبة الفائدة i (Interest Rate) هي 8% سنوياً وأن العمر الافتراضي لتشغيل المحطة هو ثلاثون عاماً (n) بحيث يتم خلال هذه الفترة استرداد مبلغ الرأسمال.

نسبة التكلفة السنوية الثابتة $A = \left(\frac{1+\frac{1}{2}\cdot n \cdot i}{n}\right)$ (1)

والأمر الثاني الذي يجب حسابه هو تكلفة رأس المال السنوي مقدراً بالسعر الحالي أو ما يسمى بالقيمة الموازية للسعر الحالي (present levelized value) ونرمز له P، حيث أن المبلغ المدفوع سنوياً

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

تقل قيمته الحقيقية (بالنسبة للسعر الحالي) نتيجة للتضخم، ويمكن حساب القيمة الموازية للسعر الحالي من المعادلة (2) بغرض أن نسبة التضخم j (inflation rate) هي 3%.

القيمة الموازية للسعر الحالي $P = \frac{\left[1-(1+j)^{-n}\right]}{j} \cdot \frac{A}{n}$ (2)

مثال: عند أخذ قرض يساوي 100 مليون دولار(M) فسيكون عائد هذا القرض:

(M100 ×30×0.08/2)= 120 مليون دولار، ويتم دفعه مع قيمة القرض ليصبح مجموعهما 220 مليون دولار موزعة على 30 عاماً بواقع: (220/30) = 7.33 مليون دولار سنوياً، وبفرض أن نسبة التضخم هي 3%، فإن النسبة السنوية الثابتة لرأس المال (A) والقيمة الموازية للسعر الحالي لرأس المال (P) يمكن حسابهما كالتالي:

- النسبة السنوية الثابتة لرأس المال A تساوي: $\frac{1+\frac{1}{2}\times 30\times 0.08}{30} = 0.0733$

- نسبة القيمة الموازية للسعر الحالي لرأس المال P تساوي: $\frac{\left[1-(1+0.03)^{-30}\right]}{0.03}\times\frac{0.07333}{30} = 0.0479$

وقد تم حساب القيمة الموازية للسعر الحالي لتكلفة رأس المال لمحطتي الطاقة النووية بالإضافة إلى محطة الدورة المركبة كالتالي:

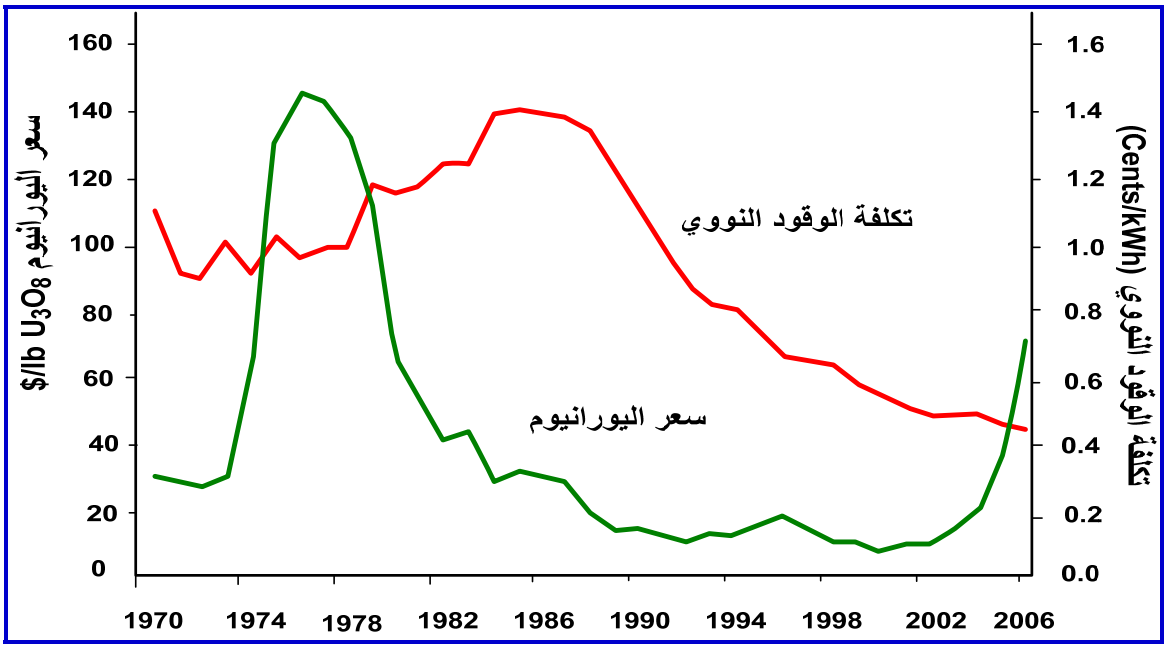
- القيمة الموازية للسعر الحالي لتكلفة رأسمال محطة الطاقة AP600 = 10,314 (M) $\times$ 0.0479 = 494.04 (M)
- القيمة الموازية للسعر الحالي لتكلفة رأسمال محطة الطاقة AP1000 = 8,595 (M) $\times$ 0.0479 = 411.7 (M)
- القيمة الموازية للسعر الحالي لتكلفة رأسمال محطة الطاقةCCGT = 2,409 (M) $\times$ 0.0479 = 115.40 (M)

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٢.٦ التكاليف التشغيلية

المحطة النووية

يتراوح سعر الوقود النووي كما ورد في عدة دراسات بين 0.3 - 1.4 سنت لكل كيلوات ساعة كهرباء (¢/kWh) كما هو موضح في الشكل (16)، وعند أخذ أعلى تقدير وهو: 1.4 ¢/kWh ومعرفة أن كفاءة المحطة هي 33% ومعامل الحمل هو 80%، فإنه يمكن حساب الطاقة الكهربائية المنتجة من المحطة النووية ذات القدرة الإنتاجية 3000 ميجاوات (MW) خلال سنة كالتالي:



شكل 16: تكاليف الوقود النووي وأسعار اليورانيوم خلال أربعة عقود من الزمن.[14]

- الطاقة الكهربائية المنتجة سنوياً = القدرة الإنتاجية للمحطة × عدد الساعات التي تعمل فيها المحطة في السنة

فالطاقة الكهربائية المنتجة سنوياً في هذه الحالة $=3000\ (MW)\times 24\ (Hrs)\times 365\times 0.8\ (days)=21024\ (GWh)$

- تكلفة الوقود النووي سنوياً=الطاقة الكهربائية خلال سنة (كيلووات ساعة)×سعر الوقود (دولار/كيلوات ساعة)

فتكلفة الوقود النووي في هذه الحالة $= 21024\times 10^6\ (kWh)\times 1.4\left(\frac{¢}{100}\right)\left(\frac{1}{kWh}\right)=294.33\ (M\$)$

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

المحطة المركبة (CCGT)

أما محطة الدورة المركبة والتي تعمل بالتوربينات الغازية المرتبطة التوربينات البخارية فيمكن أن تستعمل الغاز الطبيعي أو زيت الوقود، ولحساب سعر الوقود المستخدم، علما بأن سعر زيت الوقود قد زاد من 148.1 دولار للطن ($/ton) عام 2001 إلى 365 دولار للطن ($/ton) في عام 2006، أي إنه خضع لزيادة سنوية قدرها 20%، وبالتالي يتوقع أن يكون سعر عام 2007 هو 438 دولار للطن ($/ton). وبفرض أن قيمة الحرارة النوعية لزيت الوقود هي 40 ميجاجول/كيلوجرام (MJ/kg) فإنه يمكن حساب سعر زيت الوقود لكل جيجاجول كالتالي:

سعر زيت الوقود/جيجاجول يساوي: $$10.95\left(\frac{\$}{GJ}\right)=\frac{438\ {}^{\$}\!/\!_{1000kg}}{40\ {}^{MJ}\!/\!_{kg}}$$

وبالمثل فقد زاد سعر الغاز الطبيعي في بريطانيا من 4.5 دولار لكل مليون وحدة حرارية بريطانية ($/MBTU) عام 2001 إلى 9.7 دولار لكل مليون وحدة حرارية بريطانية عام 2006، ويتوقع أن يكون سعر عام 2007 (بفرض الزيادة نفسها في السعر) هو 11.3 دولار لكل مليون وحدة حرارية ($/MBTU)، أي ما يعادل 10.72 دولار لكل جيجاجول ($/GJ). ولأن الكويت تستعمل كلاً من زيت الوقود والغاز الطبيعي، فيمكن حساب تكلفة إنتاج الكهرباء باعتبار سعر الوقود هو 10.84 دولار لكل جيجاجول ($/GJ).

وبفرض عمل محطة الدورة المركبة بمعامل الحمل نفسه: 80% وبكفاءة قدرها 48%، فتكون الطاقة الحرارية المستهلكة 157.68×10^6 جيجاجول (GJ) وتكون تكلفتها 1709.25 مليون دولار، فهي تساوي تقريبا ثمانية أضعاف سعر الوقود النووي.

- كمية الطاقة الحرارية المستهلكة سنوياً تساوي: $$(GJ)\ \ 157.680\times10^6=\frac{(\sec)\ \ 3600}{0.48}\times(GWh)\ \ 21040$$

- تكلفة الوقود الأحفوري سنوياً تساوي: $$(M\$)\ \ 1709.25=\left(\frac{\$}{GJ}\right)10.84\times(GJ)\ \ 157.680\times10^6$$

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ولحساب التكلفة النهائية لسعر إنتاج الطاقة الكهربائية لكلا النوعين من المحطات، يجب إضافة بعض التكاليف التشغيلية الأخرى إلى تكلفة الوقود المستخدم كالتالي:

١. تكلفة تفكيك محطة الطاقة النووية، حيث لا يمكن ترك المحطة النووية بعد انتهاء عمرها من دون تنظيف الموقع من التلوث الإشعاعي، وهي عملية مكلفة وتتطلب تمويلاً يجب توفيره أثناء تشغيل المحطة وقد تم فرض قيمة هذه التكلفة بواقع 350 مليون دولار لكل ألف ميجاوات (350M$/1000 MW) أو تقديرها بواقع 10% من تكلفة رأس المال. [15].

تكلفة تفكيك محطة طاقة نووية تساوي: $3000\ (MW) \times \frac{350}{1000} = \left(\frac{M\$}{MW}\right) 1050\ (M\$)$

والتكلفة السنوية لتفكيك محطة طاقة نووية بعد 30 سنة تساوي: $\left(\frac{1050}{30}\right) (M\$) = 35\ (M\$)$

٢. ويمكن حساب تكلفة التخلص من الوقود النووي المستهلك، وذلك بفرض أن قيمته تساوي دولاراً واحداً لكل ميجاوات ساعة (1$/MWh)، كالتالي:

تكلفة التخلص من الوقود النووي المستهلك سنوياً تساوي: $21024000\ (MWh) \times \$1 = 21.02\ (M\$)$

ويمكن تقدير التكلفة الثابتة والمتغيرة للتشغيل والصيانة بالنسبة إلى محطة طاقة نووية وفق المرجع [13] كالتالي:

التكلفة الثابتة للتشغيل والصيانة سنوياً تساوي: $3000000\ (kW) \times \left(\frac{\$}{kW.year}\right) 140 = 420\ (M\$)$

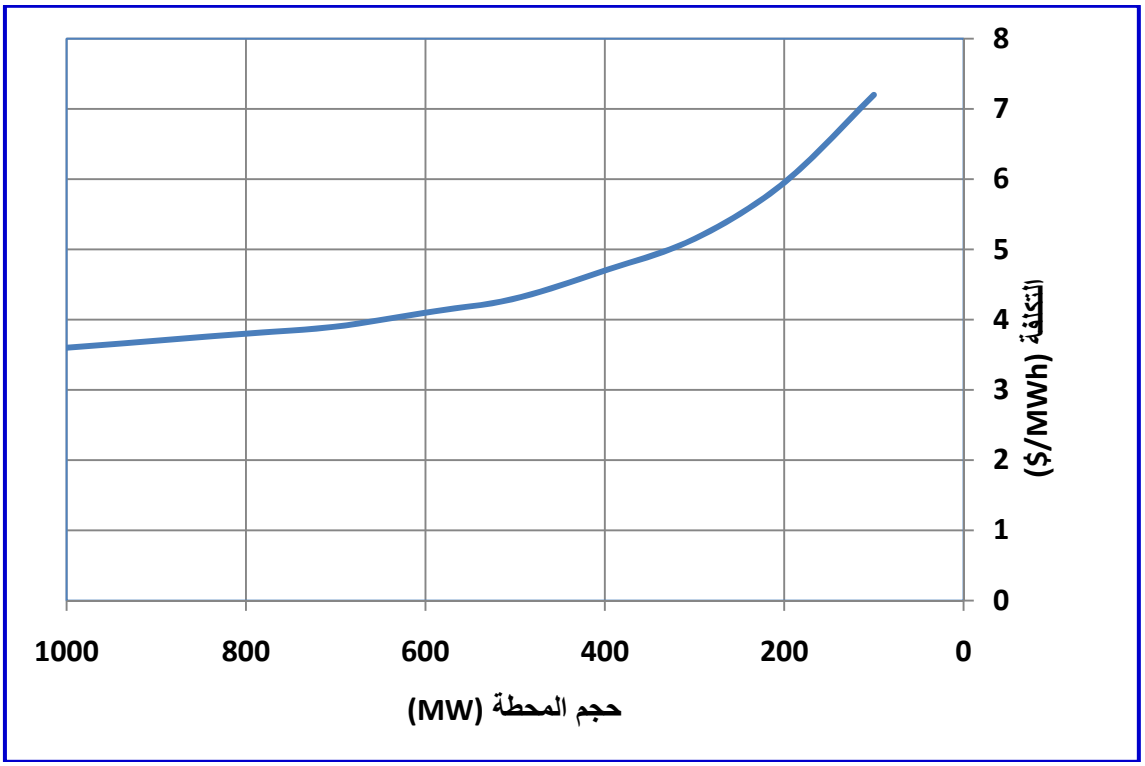
التكلفة المتغيرة للتشغيل والصيانة سنوياً تساوي: $21024000\ (MWh) \times \left(\frac{\$}{MWh}\right) 5 = 105.120\ (M\$)$

٣. التكلفة الثابتة والمتغيرة للتشغيل والصيانة بالنسبة إلى المحطة المركبة يمكن تقديرها من الشكلين 17 و18 والمأخوذين من المرجع [13]، كالتالي:

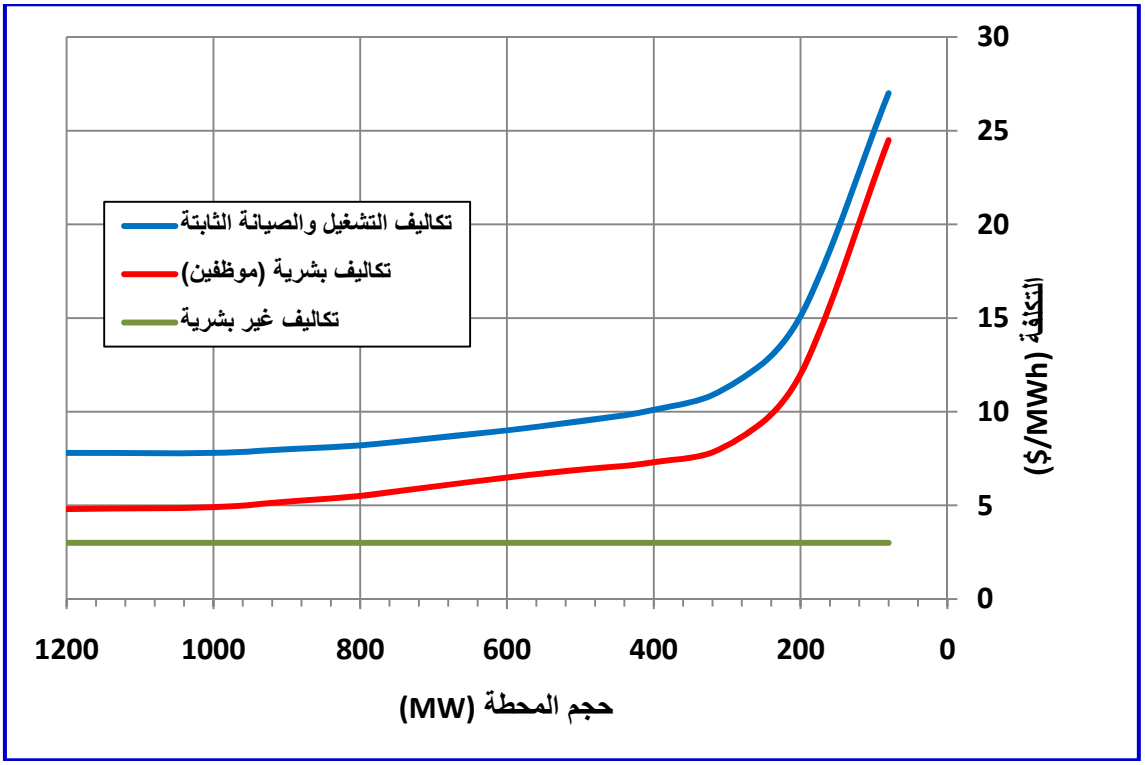
التكلفة الثابتة للتشغيل والصيانة سنوياً تساوي: $3000000\ (kW) \times \left(\frac{\$}{kW.year}\right) 20 = 60\ (M\$)$

والتكلفة المتغيرة للتشغيل والصيانة سنوياً تساوي: $21024000\ (MWh) \times \left(\frac{\$}{MWh}\right) 4 = 84.096\ (M\$)$

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 17: تكاليف التشغيل والصيانة المتغيرة – محطات الدورة المركبة (2007).



شكل 18: تكاليف التشغيل والصيانة الثابتة – محطات الدورة المركبة (2007).

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

جدول (10) حساب تكلفة الطاقة باستخدام محطات طاقة نووية وأخرى تعمل بالدورة المركبة.

نوع محطة الطاقة المستخدمة	AP600	AP1000	*CCGT
الوقود المستخدم	يورانيوم	يورانيوم	غاز طبيعي/زيت الوقود
عدد الوحدات والسعة الإنتاجية (3000 MW)	5 × 600	3 × 1000	5 × 600
كفاءة محطة الطاقة المستخدمة، %	33	33	48
الطاقة الكهربائية المنتجة في السنة (GWh)	21024	21024	21024
الطاقة الحرارية المستهلكة في السنة (GWh)	63709	63709	157.680×10^6 (GJ)
تكلفة رأس المال، M$	10,314	8,595	2,409
التكلفة السنوية الثابتة، M$	756.33	630.27	176.65
التكلفة الموازية للسعر الحالي ، M$	494.13	411.78	115.41
التكلفة السنوية للوقود المستخدم، M$	294.33	294.33	1709.25
التكلفة السنوية الثابتة للتشغيل والصيانة، M$	420	420	60
التكلفة السنوية المتغيرة للتشغيل والصيانة، M$	105.12	105.12	84.1
التكلفة السنوية لتفكيك محطة الطاقة النووية، M$	35	35	-
التكلفة السنوية للتخلص من الوقود النووي المستهلك، M$	21	21	-
مجموع التكاليف السنوية، M$	1369.58	1287.23	1968.76
تكلفة الطاقة الكهربائية، $/MWh	**65.14**	**61.22**	**93.64**

* CCGT : Combined Cycle Gas Turbine.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ويعرض (جدول 10) مكونات وحسابات التكلفة السنوية لإنتاج الكهرباء، ومن خلاله يمكن حساب التكلفة النهائية لسعر إنتاج الطاقة الكهربائية في محطات الطاقة الثلاث كالتالي:

تكلفة الطاقة الكهربائية، $/MWh= مجموع التكاليف السنوية ($)/الطاقة الكهربائية المنتجة سنوياً (MWh)

- تكلفة الطاقة الكهربائية المنتجة بواسطة محطة الطاقة AP600 $= \frac{1369.58\times10^{6}}{21024000}\left(\frac{\$}{(MWh)}\right) = 65.14\left(\frac{\$}{MWh}\right)$
- تكلفة الطاقة الكهربائية المنتجة بواسطة محطة الطاقة AP1000 $= \frac{1287.23\times10^{6}}{21024000}\left(\frac{\$}{MWh}\right) = 61.22\left(\frac{\$}{MWh}\right)$
- تكلفة الطاقة الكهربائية المنتجة بواسطة محطة الطاقة CCGT $= \frac{1968.76\times10^{6}}{21024000}\left(\frac{\$}{MWh}\right) = 93.64\left(\frac{\$}{MWh}\right)$

وبمقارنة تكلفة الطاقة الكهربائية المنتجة بواسطة محطة الطاقة النووية (AP600) وهي 65.14 دولار لكل ميجاوات ساعة ($/MWh) بتلك التي تستخدم الدورة المركبة (CCGT)، وهي 93.64 دولار لكل ميجاوات ساعة ($/MWh) نجد أنها توفر 30% من التكلفة، في حين أن تكلفة استخدام الطاقة الكهربائية المنتجة بواسطة محطة الطاقة النووية (AP1000) سيوفر 34% من تكلفة استخدام محطات الدورة المركبة.

كما يمكن مقارنة هذه النتائج بتلك التي تم حسابها بواسطة مجموعة الطاقة في ولاية كاليفورنيا الأمريكية والموضحة في (الجدول 11) الذي يعرض تكاليف إنتاج الطاقة الكهربائية لمحطات طاقة مختلفة حيث يلاحظ أن التكلفة لكل ميجاوات ساعة ($/MWh) في دراسة ولاية كاليفورنيا أعلى من الأسعار التي تم التوصل إليها في الدراسة الحالية (الجدول 10)، وذلك لعدة أسباب منها أن نسبة العائد حُسِبت 15% عند حساب تكلفة المحطات النووية و12% عند حساب تكلفة محطات الدورة المركبة في دراسة ولاية كاليفورنيا، بينما اعتبرت نسبة العائد في الدراسة الحالية 8%.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

جدول (11): تكاليف إنتاج الطاقة الكهربائية لمحطات طاقة مختلفة تم حسابها بواسطة مجموعة الطاقة في ولاية كاليفورنيا الأمريكية [13].

نوع محطة الطاقة المستخدمة	الحجم MW	التكلفة حسب سعر عام $/MWh 2007
دورة التوربين الغازي المركبة	500	87.89
التوربين الغازي المركبة مع مساعدة وقود خارجي	550	88.77
دورة التوربين الغازي المركبة المتقدمة	**800**	**81.90**
دورة التوربين الغازي البسيطة	100	313.42
دورة التوربين الغازي البسيطة والصغيرة	50	346.37
دورة التوربين الغازي الأصلية المتقدمة التصميم	200	248.52
دورة التوربين الغازي المركبة والمتكاملة مع تحويل الوقود إلى غاز	575	74.70
دورة المحطات النووية المتقدمة	**1000**	**67.01**
خلية وقود –الكربونات المنصهرة	2	86.96
خلية وقود– تبادل البروتونات	0.03	111.10
خلية وقود– الأكسيد الصلب	0.25	68.75
محطة شمسية– فوتوفولتيك مركزة	15	116.23
محطة شمسية– بمستقبلات مقعرة	63.5	154.86
محطة شمسية– فوتوفولتيك أحادية المركز	1	256.29
محطة شمسية – طبق استيرلنج	15	312.10
محطة رياح – تصنيف خامس	50	60.78

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

قائمة الأشكال

شكل ١-أ: استهلاك الوقود (مليون برميل مكافئ/السنة) في الكويت والسعودية والإمارات ومصر ٤٠
شكل 1-ب: استهلاك الطاقة الكهربائية في الكويت والسعودية والإمارات ومصر..... ٤١
شكل 2: نسب إنتاج محطات الطاقة النووية في بعض بلاد العالم ٤٢
شكل 3. عدد وأنواع محطات الطاقة النووية العاملة وإنتاجها من الطاقة الكهربائية ٥٢
شكل 4: عدد وأنواع محطات الطاقة النووية قيد الإنشاء وإنتاجها من الطاقة الكهربائية ٥٢
شكل 5. دورة محطة طاقة نووية تعمل بالماء الخفيف المضغوط ٥٥
شكل 6. رسم مقطعي لمفاعل نووي يعمل بالماء الخفيف المضغوط (AP1000) ٥٦
شكل 7: مكونات الدورة الأولية لمفاعل الماء الخفيف المضغوط ٥٧
شكل 8: الدورة الأولية لمفاعل الماء الخفيف المضغوط..... ٥٨
شكل 9: رسم توضيحي لمولد البخار في محطة نووية تعمل بالماء الخفيف المضغوط..... ٥٨
شكل 10: المبنى المحتوي على مفاعل ومولد البخار في محطة نووية تعمل بالماء الخفيف المضغوط ٥٩
شكل 11. نظام وعاء ضغط الدورة الأولية لمفاعل الماء الخفيف المضغوط ٦٠
شكل 12: التخلص من البخار المستخدم للتخلص من حرارة التلاشي ٦١
شكل 13: المبادل الحراري المستخدم للتخلص من حرارة التلاشي بواسطة ماء تبريد خارجي..... ٦٢
شكل 14: نظام الطوارئ لتبريد قلب المفاعل ٦٤
شكل 15: نظام تبريد المبنى المحتوي على المفاعل وذلك بتكثيف البخار المنتشر في المبنى ٦٥
شكل 16: تكاليف الوقود النووي وأسعار اليورانيوم خلال أربعة عقود من الزمن..... ٧٠
شكل 17: تكاليف التشغيل والصيانة المتغيرة – محطات الدورة المركبة (2007) ٧٣
شكل 18: تكاليف التشغيل والصيانة الثابتة – محطات الدورة المركبة (2007) ٧٣

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

قائمة الجداول

جدول (1-أ) عدد السكان في عينة من دول الخليج العربية ومصر (بالمليون)..... ٣٧

جدول (1-ب) الاستهلاك السنوي من الطاقة الكهربائية (GWh جيجاوات ساعة) واستهلاك الفرد (كيلووات ساعة/عام) في بعض دول الخليج العربية ومصر..... ٣٨

جدول (1-ج) استهلاك الطاقة (مليون برميل زيت مكافئ/يوم) في عامي 2001 و2006، والاستهلاك المتوقع عام 2016. ٣٨

جدول (1-د) إنتاج الطاقة بالمليون برميل زيت مكافئ يومياً في بعض دول الخليج العربية ومصر..... ٣٩

جدول (2) نسب الوقود المستهلك في إنتاج الطاقة الكهربائية على مستوى العالم..... ٤١

جدول (3) استهلاك الوقود في قطاعات مختلفة في دولة الكويت بوحدات ألف برميل سنوياً ٤٥

جدول (4-أ) وحدات التوربينات البخارية والغازية في محطات الطاقة بدولة الكويت حتى عام 2005..... ٤٦

جدول (4-ب) وحدات التوربينات الغازية المضافة أو قيد الإنشاء في محطات الطاقة بدولة الكويت بعد عام 2005..... ٤٧

جدول (5) الحمل الأقصى والطاقة المركبة المطلوبة بالجيجاوات..... ٤٨

جدول (6) محطات الطاقة النووية المقترحة والتي هي قيد الإنشاء وتستخدم مفاعلات الماء الخفيف المضغوط واليورانيوم المثري..... ٥١

جدول (7) أنواع المفاعلات والطاقة الكهربائية الموصلة للشبكة الكهربائية عام 2010..... ٥٣

جدول (8) تقدير تكلفة رأسمال محطات نووية من خلال عدة تقارير ودراسات ٦٧

جدول (9) تكاليف رأسمال محطات طاقة مختلفة..... ٦٧

جدول (10) حساب تكلفة الطاقة باستخدام محطات طاقة نووية وأخرى تعمل بالدورة المركبة ٧٤

جدول (11) تكاليف إنتاج الطاقة الكهربائية لمحطات طاقة مختلفة تم حسابها بواسطة مجموعة الطاقة في ولاية كاليفورنيا الأمريكية..... ٧٦

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

المراجـــــع

1- OAPEC statistical Year Book, 2007.

2- Economics of Nuclear Desalination: New Development and Site Specific Studies, IAEA-TECDOC-1561, IAEA, 2007.

3- http://www.iaea.org/power reactor information system (PRIS).

4- M.A. Darwish, Fatimah M. Al-Awadhi, A. Akbar, and A.M. Darwish, Alternative primary Energy for Power Desalting Plants in Kuwait: The Nuclear Option I, Desalination and Water Treatment, 1 (2009) 25–41.

5- The ministry of energy (ME) website [http://www.moo.gov.kw].

6- Kuwait Ministry of Electricity and Water Statistical Book, 2006.

7- Stautus of Nuclear Desalination in IAEA member States, IAEA-TECDOC-1524, IAEA, Vienna 2007.

8- Power Reactors, World Nuclear Association, http://www.physics.appstate.edu/Nuclear_Power_Reactors.pdf, Oct 2005.

9- Reactor Concepts Manual Pressurized Water Reactor Systems, USNRC Technical Training Center 4-1 0603, http://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/teachers/04.pdf.

10- Pressurized Water Reactor Simulator, TRAINING COURSE SERIES No. 22, Workshop Material, Second Edition, IAEA 2005.

11- Milestone Power Station, Waterford, Connecticut, Revised 2007.

12- W. E. Cummins, M. M. Corletti, T. L. Shulz, Westinghouse AP1000Advanced Passive Plant, Proceeding of ICAPP, Paper, Cordoba, Spain, 4-7, 2003.

13- Comparative cost of California central station electricity generation technologies, Final staff report, December 2007, CEC-200-2007-011-SF.

14- Nuclear Power Joint Fact Finding, June 2007, The Keystone Center; Navigant Consulting estimates 2007, The Future of Nuclear Power.

15- Final consultant report, Prepared for the 2007 Integrated Energy Policy Report, California Energy Commission, October 2007, CEC-100-2007-005-F.

16- Kam W. Li, and A. Paul Priddy, Power Plant System Design“, John Wiley & Sons, 1985.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

الباب الثالث

دورة البخار في محطات الطاقة النووية وربطها بمحطات التحلية

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

١ . مقدمـــة

أدت محدودية المخزون العالمي من الوقود الأحفوري (زيت الوقود والغاز الطبيعي) وارتفاع أسعاره إلى تفضيل بعض الدول استخدام الطاقة النووية لإدارة المحطات المشتركة التي تنتج كلاً من الكهرباء والماء كما سبق بيانه في الباب الثاني. وتستخدم معظم هذه الدول مفاعلات الماء الخفيف المضغوط (PWR) التي بلغ عددها 264 مفاعلاً، تليها مفاعلات الماء الخفيف بالغليان (BLWR) وعددها 94 مفاعلاً، ثم مفاعلات الماء الثقيل المضغوط (PHWR) المستعملة في بعض الدول، مثل كندا وباكستان والهند. ويبين جدول (1) محطات الطاقة النووية الرئيسية في العالم.

جدول (1) محطات الطاقة النووية الرئيسية في العالم [5].

نـــوع المفاعل	الدول المستخدمة	العدد	GWe	الوقود المستخدم	مبرد قلب المفاعل	مهدئ نيوترونات
مفاعلات الماء المضغوط الخفيف	الولايات المتحدة، فرنسا، اليابان، روسيا	264	250.5	يورانيوم مخصب	ماء	ماء
مفاعلات الماء الخفيف بالغليان	الولايات المتحدة، اليابان، السويد	94	86.4	يورانيوم مخصب	ماء	ماء
مفاعلات الماء الثقيل المضغوط	كندا	43	23.6	يورانيوم طبيعي	ماء ثقيل	ماء ثقيل
مفاعلات التبريد بالغاز	بريطانيا	18	10.8	يورانيوم طبيعي + مخصب	ثاني أكسيد الكربون	جرافيت
مفاعلات الماء الخفيف المستخدمة الجرافيت كمهدئ	روسيا	12	12.3	يورانيوم مخصب	ماء	جرافيت
مفاعلات النيوترونات السريعة	اليابان، فرنسا، روسيا	4	1.0	بلوتونيوم + UO_2	صوديوم سائل	لا يوجد
أخرى	روسيا	4	0.05	يورانيوم مخصب	ماء	جرافيت
المجمـــــوع		439	384.7			

وفي "الباب الثاني" تم اقتراح المحطة النووية التي تعمل بمفاعل الماء الخفيف المضغوط (PWR) لاستخدامها في دولة الكويت. وتعرف هذه المحطة تجارياً باسم AP600 والتي تنتج 600 ميجاوات كهربائي (MW_e)؛ كما تم اقتراح النوع AP1000 التي تنتج 1000 ميجاوات كهربائي (MW_e) لكل من المملكة العربية السعودية وجمهورية مصر العربية ودولة الإمارات العربية المتحدة.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ويبدو للوهله الأولى أن الفارق الوحيد بين محطات الطاقة التقليدية التي تستخدم الوقود الأحفوري ومحطات الطاقة النووية هو أن المولدات البخارية في الأولى استبدلت بمفاعلات نووية في الثانية، وهذا ليس صحيحاً على الإطلاق لوجود اختلافات في دورة البخار لكل محطة منهما؛ وهو ما سيتم توضيحه في هذا الباب، كما ستتم مناقشة عملية ربط المحطة النووية المقترحة (AP600) بوحدات تحلية مختلفة وتقدير تكلفة المياه الناتجة عن كلٍ منها. ولا شك أن هذه الدراسة تنطبق أيضا على بقية أنواع المحطات النووية التي سبق ذكرها، سواءً تلك التي تستخدم الماء الثقيل المضغوط أوالتي تستخدم الماء الخفيف بالغليان.

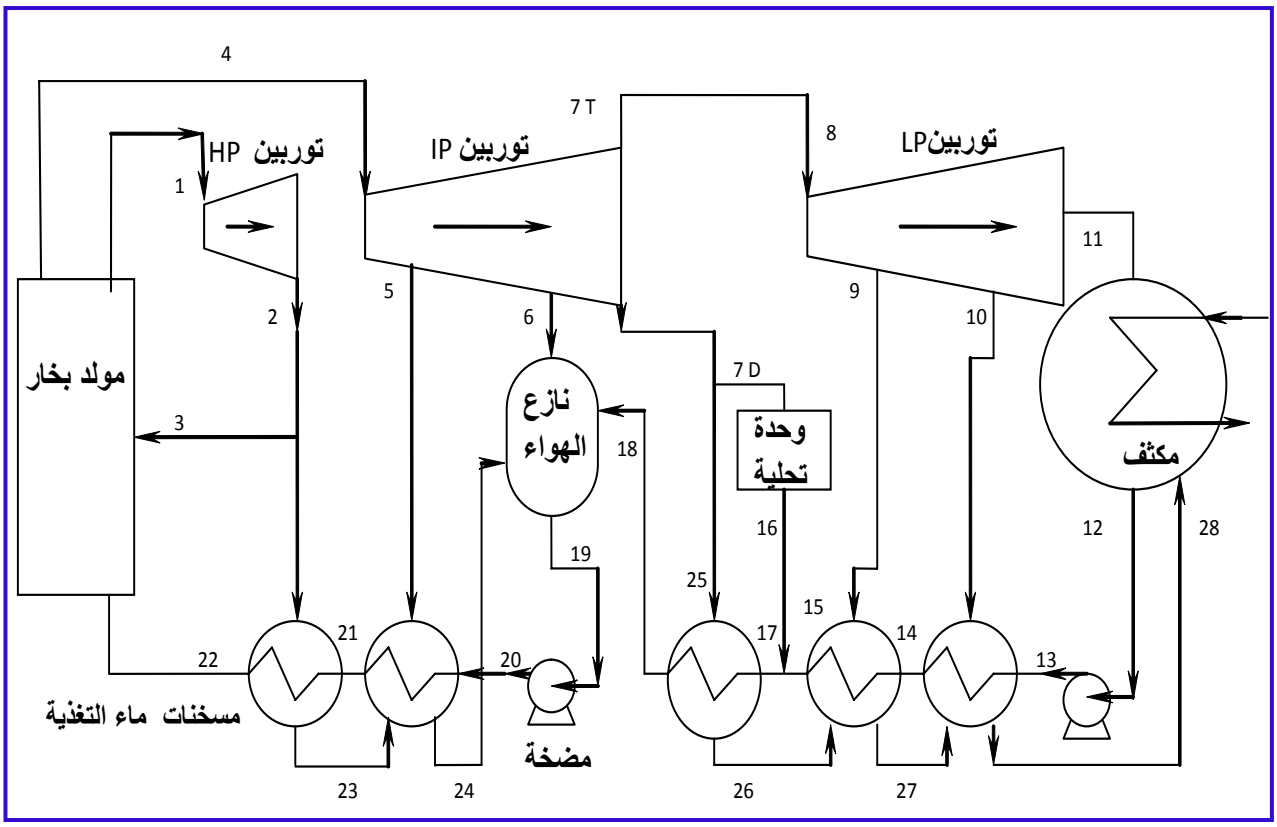
٢. محطات الطاقة الكهربائية وتقطير المياه في دولة الكويت

تستخدم الكويت المحطات المشتركة لإنتاج الطاقة الكهربائية وتحلية المياه والتي يتم تشغيلها بواسطة البخار المحمص (Superheated steam) والناتج عن حرق زيت الوقود أو الغاز الطبيعي في الغلايات ويبين جدول (2) البيانات الخاصة بثلاث محطات رئيسية مشتركة في الكويت، وهي محطة الدوحة الغربية ومحطة الزور الجنوبية ومحطة الصبية. وفي كل محطة من هذه المحطات ثمانية توربينات بخارية سعة كل منها 300 ميجاوات. ويعرض الشكل (1) رسماً توضيحياً لأحد هذه الوحدات، كما يعرض الشكل (2) رسماً تفصيلياً لها.

جدول (2) بيانات المحطات المشتركة الرئيسية لإنتاج الطاقة الكهربائية وتحلية المياه بدولة الكويت.

المحطة	الدوحة الغربية	الزور الجنوبية	الصبية
الطاقة الكهربائية، ميجاوات	2400=300×8	2400=300×8	2400=300×8
تكلفة رأس المال، مليون دولار	NA	NA	2200
معدل سريان البخار، كيلوجرام/ثانية	300	300	300
حالة البخار عند الخروج من المولد	140 bar/535°C	140 bar/535°C	140 bar/535°C
عدد وحدات التحلية	16=8×2	16=8×2	4=1×4
تكلفة رأس المال، مليون دولار	NA	NA	370
قدرة التحلية (م ج إ ي)	24=6×4 86.4=7.2×12	115.2=7.2×16	50=12.5×4
معدل الكسب	9 (8)	9	9
نسبة الطاقة/الماء (ميجاوات/م ج إ ي)	25	20.8	24
تاريخ التشغيل	1983	1988	2000

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

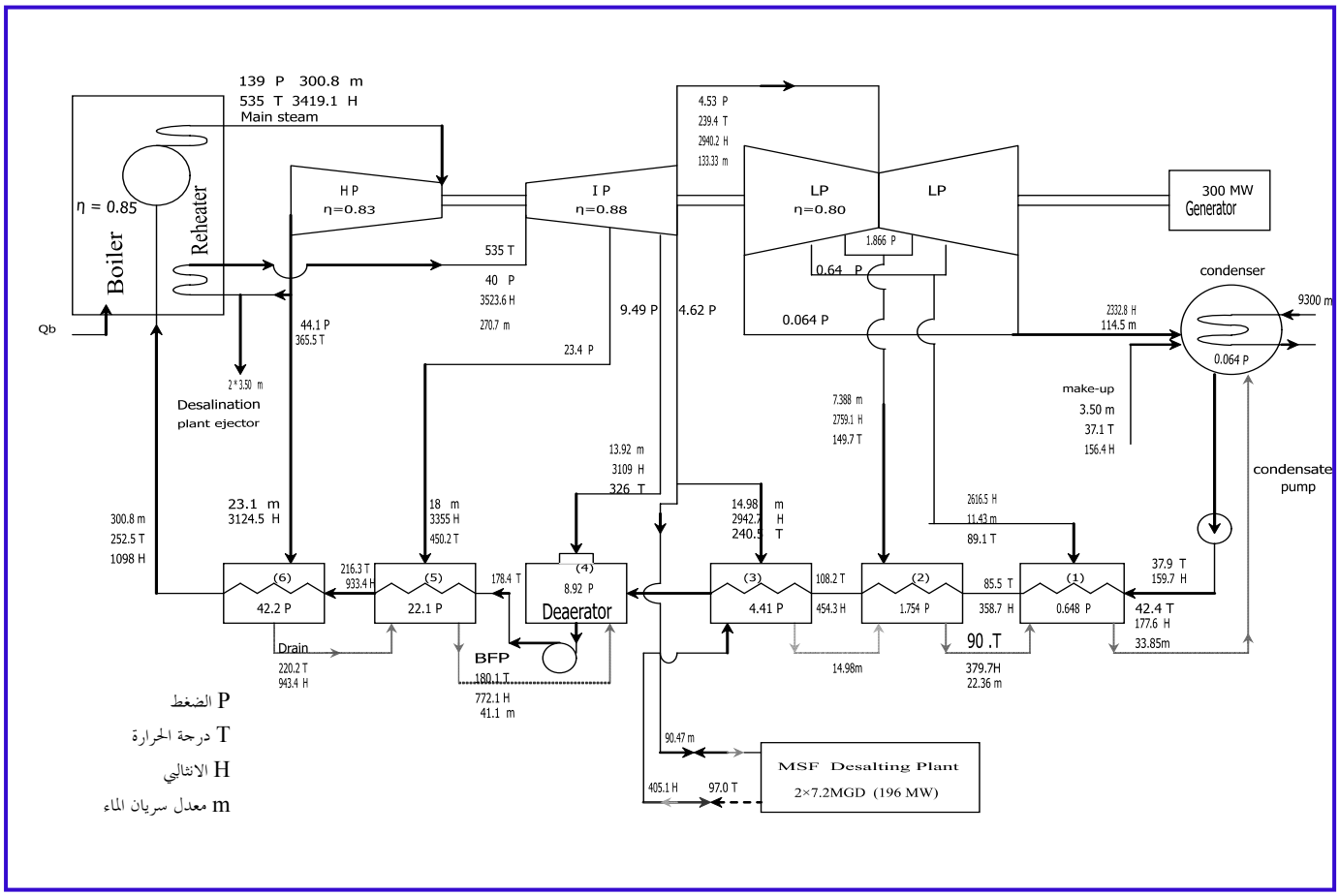


شكل 1: رسم توضيحي لدورة البخار في المحطات المشتركة لإنتاج الطاقة الكهربائية ومياه التحلية في دولة الكويت.

ويتم ربط وحدات التحلية التي تعمل بالتبخير الفجائي متعدد المراحل (MSF)، مع التوربينات البخارية في هذه المحطات حيث يجري سحب كمية بخار محددة من كل توربينة بخارية لتزويد وحدة أو وحدتين من وحدات التبخير الفجائي متعدد المراحل لإنتاج مياه التحلية عند القيمة الاسمية للوحدة وهو 7.2 مليون جالون إمبراطوري يومياً (MIGD)، بينما يتغير إنتاج الطاقة الكهربائية من 30% إلى 100% من الطاقة الاسمية للتوربين البخاري حسب أحمال الطاقة المطلوبة أي من 80 ميجاوات إلى 300 ميجاوات.

ويتطلب تشغيل وحدات التحلية بالتبخير الفجائي متعدد المراحل بخاراً درجة حرارة تشبعه في حدود 120°C (درجة مئوية). ولتحقيق ذلك عند جميع الأحمال التي يسمح فيها بسحب بخار من التوربين إلى وحدة التحلية يتم السحب عند نقطة يكون فيها ضغط البخار حوالي 5-6 بار (bar) مثلا عند الحمل الأقصى للتوربين وتركيب صمام لخنق هذا البخار من أجل تقليل ضغطه إلى الضغط المطلوب لوحدة التحلية عند 2 بار (bar). ويقل ضغط هذا البخار عند نقطة السحب نفسها بانخفاض حمل التوربين ليصل مثلا إلى ضغط 2 بار (bar) عند أقل تحميل ممكن للتوربين يُسمح له فيه بتزويد وحدة التحلية بالبخار.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 2: رسم توضيحي لمحطة الزور المشتركة لإنتاج الطاقة الكهربائية وتحلية المياه، وهذه المحطة تنتج 300 ميجاوات طاقة كهربائية و196 ميجاوات طاقة حرارية.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٣. محطات توليد الطاقة النووية المقترحة والسمات الأساسية لدورة البخار فيها

تتشابه ظروف البخار في محطات الطاقة النووية التي تستخدم الأنواع الثلاثة من المفاعلات التجارية (ماء خفيف مضغوط وماء مغلي وماء ثقيل مضغوط)، كما أن الفرق في دورة البخار بين المحطات التقليدية وأي نوع من محطات الطاقة النووية ينطبق على المحطات النووية الأخرى لذا سيتم الاكتفاء بتحليل الفرق بين محطة الطاقة النووية التي تستخدم الماء الخفيف المضغوط والمحطة التقليدية التي تستخدم الوقود الأحفوري مثل زيت البترول. ويوضح الجدول 3 حالات البخار في إحدى محطات الطاقة التقليدية والمحطات النووية التي تستخدم الأنواع الثلاثة من المفاعلات.

الجدول (3) حالات البخار في محطات الطاقة النووية ومحطات الطاقة التقليدية.

العامل المؤثر	600 MW	620 MW net	1300 MW net	600 MW net
	وقود عادي	كاندو 6	مفاعل الماء الخفيف بالغليان	مفاعل الماء الخفيف المضغوط
درجة حرارة البخار، مئوية	535	260	283	272.5
ضغط البخار/بار	150	46.9	69.72	57.2
الأنثالبي، كيلوجول/كجم	3408	2796	2776	2787
قدرة المفاعل الحرارية/ميجاوات	-	2160	3926	1933
الحجم النوعي، $م^3$/كجم	0.0223	0.0422	0.0287	0.0342
معدل سريان البخار،كجم/ثانية	562	1048	2122	1063
معدل السريان الحجمي، $م^3$/ثانية	12.53	44.22	60.9	36.35
الكفاءة الحرارية، %	39	31	33.1	33
معدل سريان البخار/ميجاوات	0.93	1.69	1.63	1.77

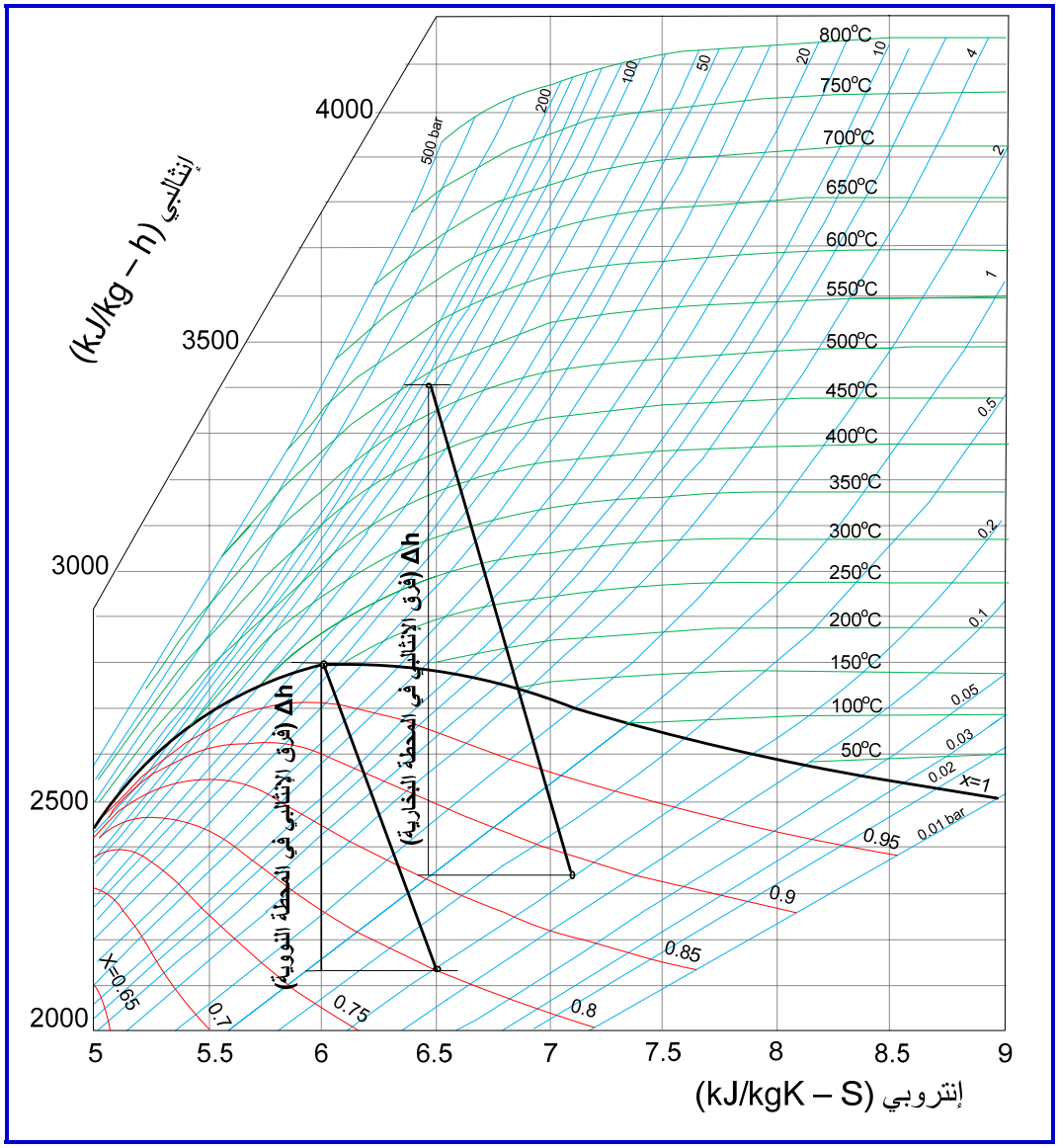
ومن المعروف أن البخار الداخل إلى التوربين البخاري في محطات الطاقة التقليدية يكون عند درجة عالية من التحميص superheating (عند درجة حرارة تتراوح ما بين 540°C و560°C درجة مئوية) وعند ضغط مرتفع من 140 إلى 160 بار (bar) إذا كان السريان في مولد البخار طبيعياً (natural circulation) (أي من دون استخدام مضخة في دورة الماء داخل الغلاية) ومرتفع الأنثالبي (الحرارة الكلية)، وذلك مقارنة بحالة البخار الموّجه إلى التوربين في حالة مفاعلات الماء الخفيف المضغوط والذي عادة ما يكون مشبعاً عند درجة الحرارة 270°C (درجة مئوية) وعند ضغط منخفض نسبياً 60 بار.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

أما الضغط في المكثف في كل من المحطات التقليدية والنووية فيتم التحكم فيه بواسطة ماء التبريد (ماء البحر)، وبالتالي يكاد يكون ضغط هذا المكثف متطابقاً في الحالتين. وهذا يعني أن فرق إنثالبي البخار (الحرارة الكلية) عند دخوله إلى التوربين وخروجه منه إلى المكثف (وهو يمثل الشغل الناتج من كل كيلو بخار يتمدد في التوربين) أعلى بكثير (نحو الضعف) في حالة المحطات التقليدية مقارنة بمحطات الطاقة النووية انظر الشكل (3)؛ وبالتالي فإن معدل سريان البخار المطلوب في حالة المحطات النووية يقرب من ضعف السريان في المحطات التقليدية لإنتاج نفس الشغل (الطاقة الميكانيكية).

ويؤدي انخفاض ضغط ودرجة حرارة البخار الداخل إلى التوربين في المحطات النووية إلى كبر الحجم النوعي للبخار، ومن ثم يزيد حجم التوربين كثيراً في المحطات النووية عن نظيره في المحطات العادية عند تساوي الطاقة الكهربائية الناتجة من كل منهما.

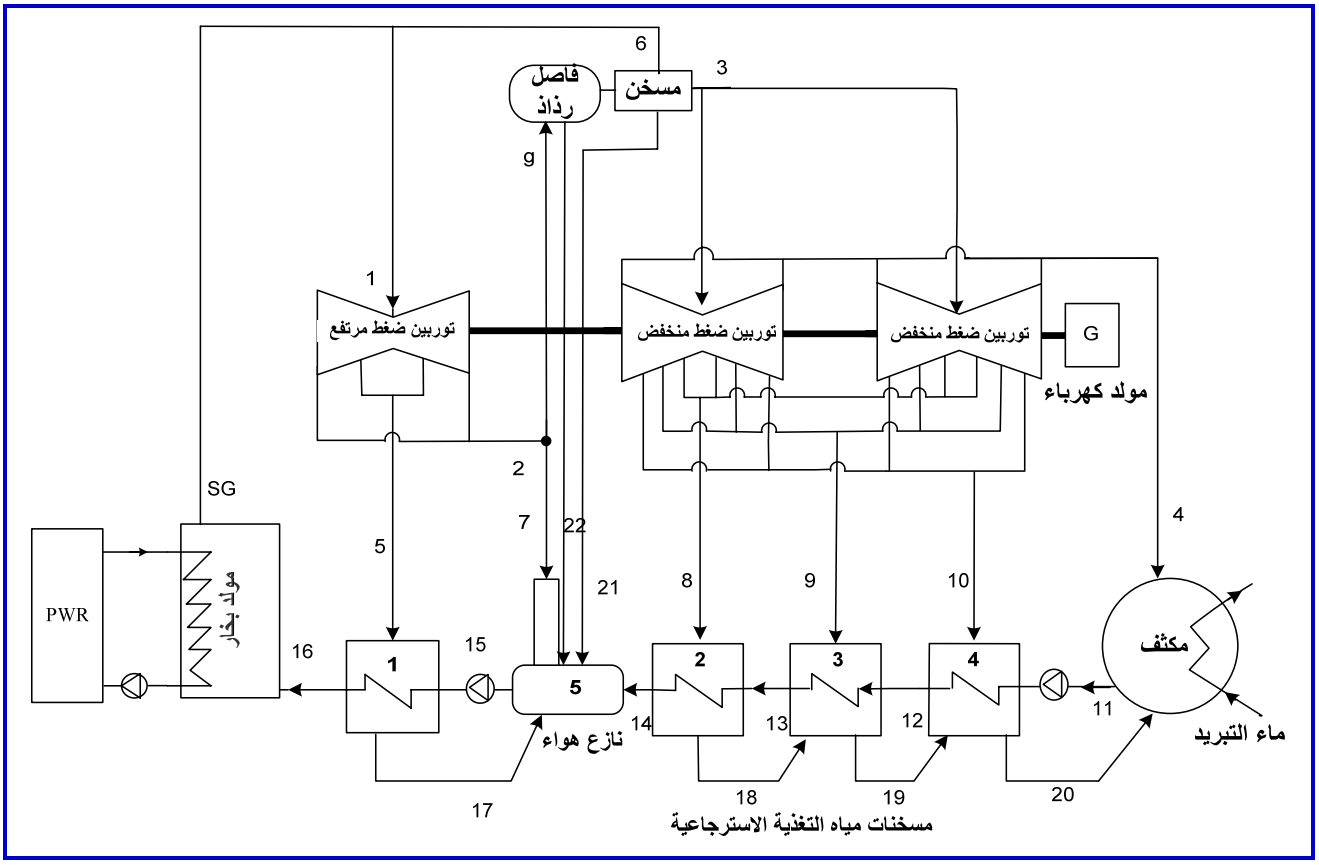
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 3: فرق الإنثالبي بين البخار الداخل والخارج من التوربين الذي يمثل الشغل النوعي للبخار على خريطة الإنثالبي – الإنتروبي للمحطات النووية والمحطات التقليدية.

ومن أهم السمات التي تتصف بها دورة البخار في محطات توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الوقود النووي عن المحطات التي تستخدم الوقود التقليدي هو احتواء الأولى على فاصل رذاذ (moisture separator) ومُعِيد التسخين (reheater)، إضافة إلى مسخنات ماء التغذية الاسترجاعية وهي موجودة في كلتا المحطتين. ويوضح الشكل 4 مكان وضع كل من فاصل الرذاذ ومعيد تسخين البخار ومسخنات ماء التغذية في محطة الطاقة النووية، وسيتم مناقشة عمل كلا منها كما سيأتي لاحقاً.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

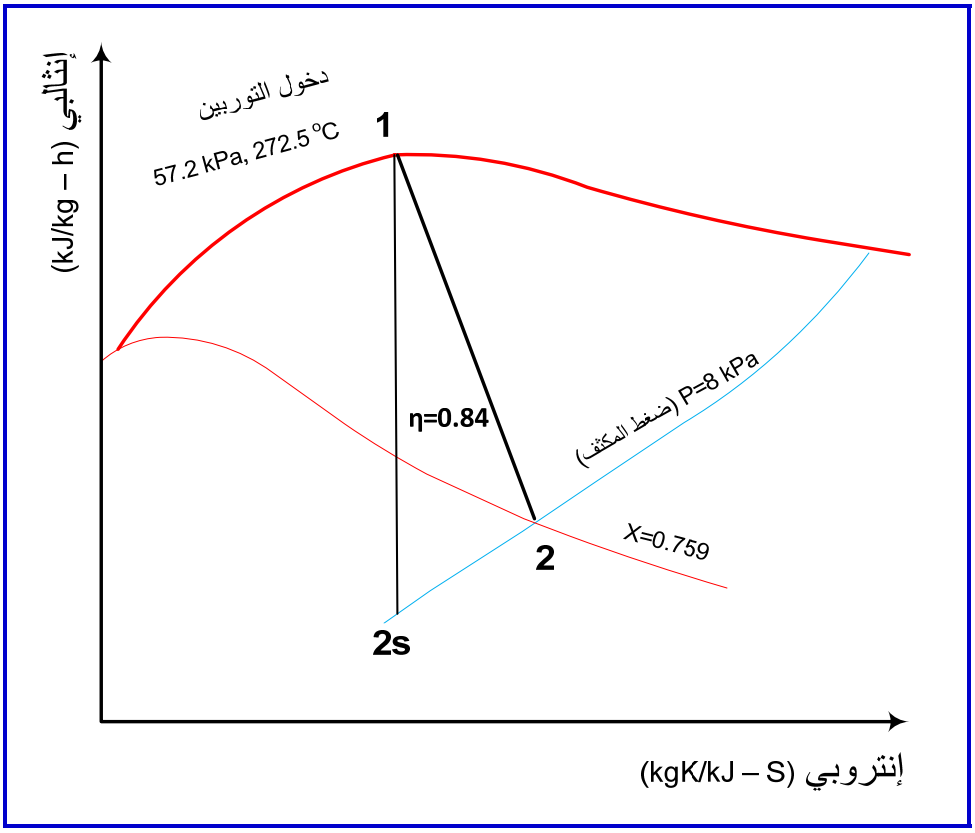


شكل 4: مكان وضع فاصل الرذاذ وإعادة التسخين بين قطاعي الضغط المرتفع والضغط المنخفض للتوربين البخاري.

١.٣ فاصل الرذاذ ومُعِيد التسخين

يدخل البخار إلى توربين الضغط البخاري المرتفع (high pressure turbine) في محطات الطاقة النووية في حالة البخار المشبع (saturated vapor) ويتمدد في التوربين وبه نسبة من بخار متكثف على شكل رذاذ ماء سائل (moisture). ففي حالة دورة البخار في محطة الطاقة التي تستخدم مفاعل الماء الخفيف المضغوط مثلا، فإن البخار يتمدد منذ دخوله إلى التوربين عند ضغط 57.2 بار إلى خروجه من التوربين إلى المكثف عند ضغط 8 كيلوباسكال (kPa)؛ وبفرض أن كفاءة التوربين الأيزنتروبية (isentropic efficiency) تساوي 0.84، فإن كسر الجفاف (dryness fraction) عند الخروج من التوربين يساوي $\chi_2 = 0.759$ (الشكل 5) وهذه القيمة أقل من أدنى قيمة مسموح بها في التوربينات البخارية وقيمتها 0.88 لتفادي حدوث نقر في ريش التوربين بسبب رذاذ الماء السائل.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 5: خط البخار على خريطة الإنثالبي – الإنتروبي عند تمدده من نقطة خروجه من مفاعل الماء الخفيف المضغوط إلى ضغط المكثف.

وأحد الحلول لتفادي هذه المشكلة هو فصل رذاذ الماء من البخار بعد أن يتمدد جزئياً في التوربين وقبل أن تصل قيمة كسر الجفاف إلى 0.88. وكمثال على ذلك، يمكن تمدد البخار في قطاع الضغط العالي HP بالتوربين، ويُفصل الرذاذ ميكانيكياً بعد خروجه من هذا القطاع حتى يصير بخاراً مشبعاً عند ضغط الخروج ثم يعاد إدخاله إلى قطاع الضغط المنخفض للتوربين (low pressure turbine) ليتمدد فيه إلى ضغط المكثف وبشرط ألا يقل كسر الجفاف عند أي نقطة عن الحد الأدنى له 0.88.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

وبالإمكان دراسة كيفية الحصول على الشرط المطلوب عند خروج البخار من قطاع توربين الضغط المنخفض عند ضغط 8 كيلوباسكال (8kPa) وكسر بخار يساوي 0.88 والذي يحدد قيمة انثالبي البخار عند نقطة الخروج h_4 ويمكن حسابها من المعادلة (3):

$$h_{fg} \cdot x + h_f = h_4 \quad \text{(kJ/kg)} \qquad (3)$$

$$h_4 = 173.85 + 0.88 \times (2402) = 2287.9 \quad \text{كيلوجول/كجم}$$

وإذا استلزم دخول البخار إلى هذا القطاع (قطاع توربين الضغط المنخفض) في حالة التشبع (نقطة 3) وتم تحديد الكفاءة الأيزنتروبية لتمدد البخار بمقدار 0.84 فإن ذلك يحدد ضغط البخار عند دخوله هذا القطاع بمقدار P_3 تساوي 3 بار وانثالبي h_3 يساوي 2725.3 كيلوجول/كجم (kJ/kg) وانتروبي S_3 تساوي 6.992 كيلوجول/كجم كلفن (kJ/kg K).

غير أن المشكلة هي كيفية الحصول على نقطة (3) عند دخول البخار إلى قطاع توربين الضغط المنخفض، والمفروض أن تكون نقطة الخروج من قطاع توربين الضغط المرتفع.

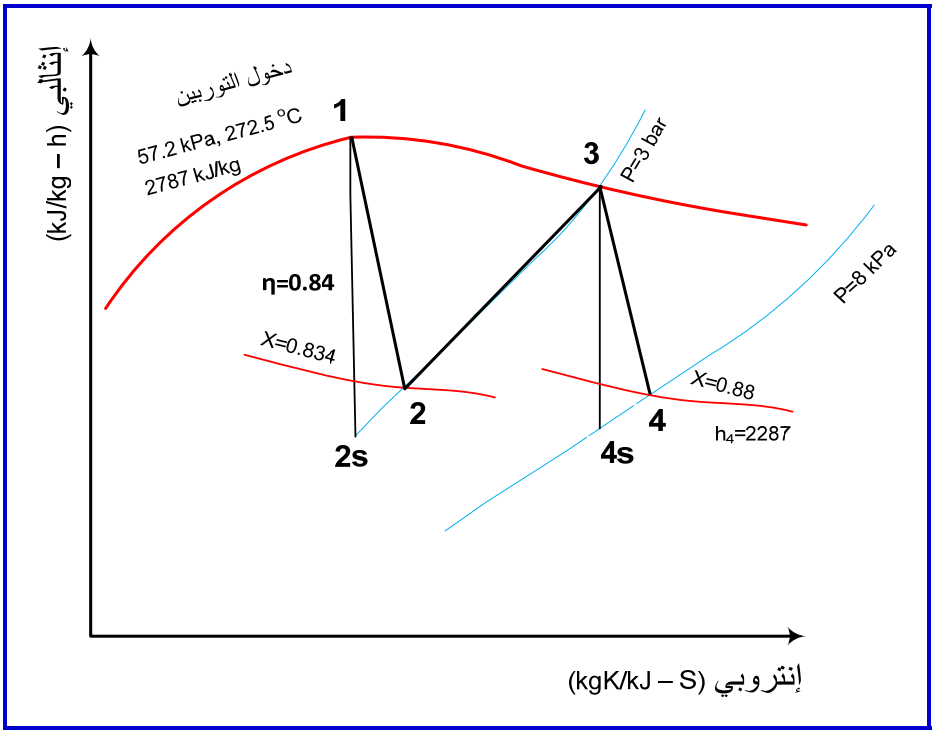
إذا تمدد البخار منذ لحظة دخوله إلى قطاع الضغط العالي للتوربين عند ضغط 57.2 بار وبكفاءة تمدد أيزنتروبية تساوي 0.84 إلى ضغط 3 بار وهوالمطلوب عند دخول قطاع الضغط المنخفض للتوربين (الشكل 6)، عندئذ يمكن حساب كسر البخار عند خروجه من قطاع الضغط العالي للتوربين (χ_2) كما يلي:

$$\eta_{is} = \frac{h_1 - h_{2'}}{h_1 - h_{2s}} = \frac{2787.1 - h_{2'}}{2787.1 - 2286.38} = 0.84 \Rightarrow \qquad h_{2'} = 2366.5 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_f + \chi_2 \cdot (h_{fg}) = 561.47 + \chi_2 \cdot (2163.8) \Rightarrow \chi_2 = 0.834$$

وتعتبر هذه القيمة لكسر البخار (χ_2) (0.834) منخفضة عن الحد الأدنى المطلوب (0.88)، ومن ثم فهي غير مقبولة (شكل 6).

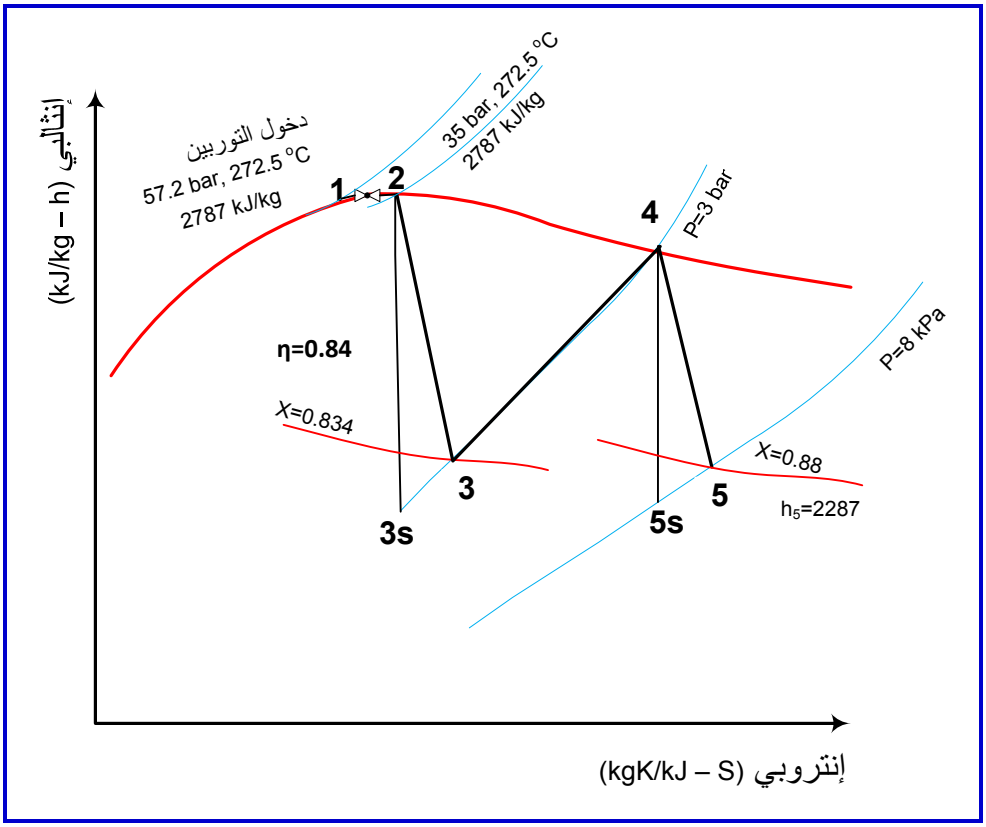
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 6: خط البخار على خريطة الإنثالبي – الإنتروبي عند تمدده من نقطة خروجه من مفاعل الماء المضغوط إلى ضغط 3 بار، ثم إزالة الماء ودخول البخار المشبع عند ضغط 3 بار إلى التوربين وخروجه عند ضغط المكثف وكسر جفاف 88%.

وأحد الخيارات للحصول على $\chi_2 = 0.88$ هو خفض ضغط البخار قبل دخوله إلى قطاع الضغط المرتفع للتوربين وذلك بتمريره في صمام خنق (throttling valve) حتى ضغط 35 بار، كما يبين الشكل 7، ثم تمدده في قطاع الضغط العالي للتوربين وبكفاءة تمدد ايزنتروبية تساوي 0.84 إلى ضغط 3 بار (اللازم عند دخول قطاع الضغط المنخفض للتوربين)، فيكون كسر البخار عند الخروج من قطاع الضغط العالي للتوربين 0.88، ثم يجري التخلص من رذاذ الماء ليصبح بخاراً مشبعاً عند هذا الضغط (3 بار) ويدخل إلى قطاع الضغط المنخفض للتوربين. وفي هذا الخيار يتم فقدان جزء من إتاحية البخار (exergy) الداخل إلى التوربين من دون الاستفادة من الشغل الناتج عنه، ولهذا السبب فإن هذا الخيار غير مرغوب به في محطات الطاقة البخارية.

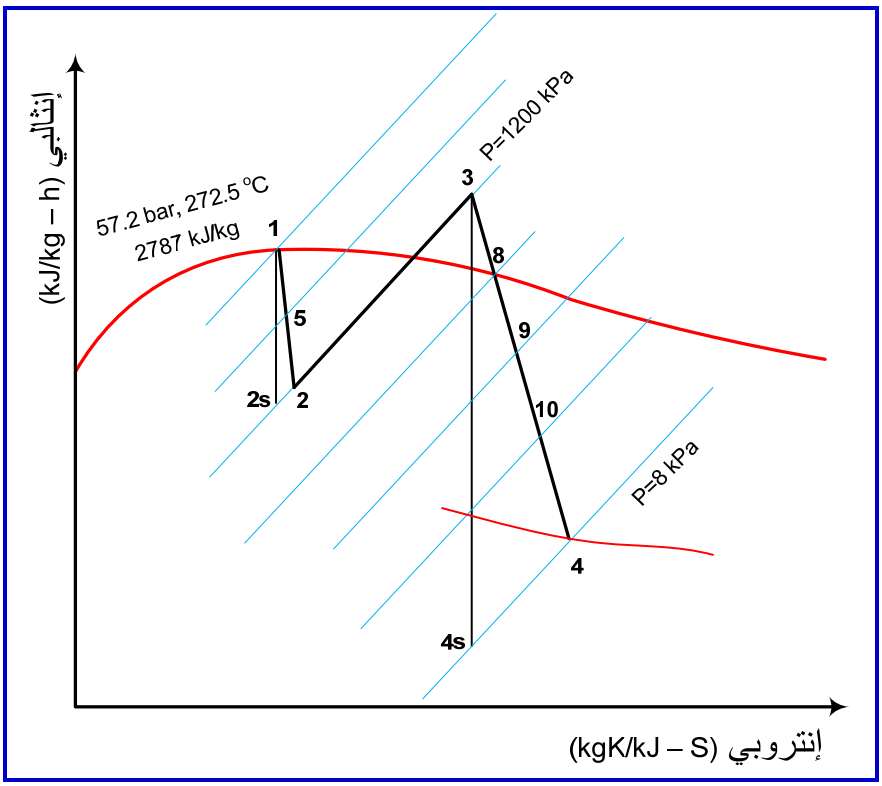
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 7: خط البخار على خريطة الإنثالبي – الإنتروبي إذا خُفض ضغطه بعد خروجه من المفاعل إلى 35 بار ثم جرى تمدده في قطاع الضغط المرتفع والضغط المنخفض في التوربين بحيث يبقى كسر الجفاف 88% أو أعلى طوال فترة تمدده إلى ضغط المكثف.

ومن هنا يمكن اللجوء إلى خيار أخير، ألا وهو فصل رذاذ الماء من البخار بعد خروجه من قطاع الضغط المرتفع ليصبح بخاراً مشبعاً ثم رفع درجة حرارته ليصبح بخاراً محمصاً قبل دخوله إلى قطاع الضغط المنخفض. ويوضح الشكل 8 حالة البخار عند تمدده في قطاع الضغط العالي والمنخفض للتوربين على خريطة الإنثالبي – الإنتروبي.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

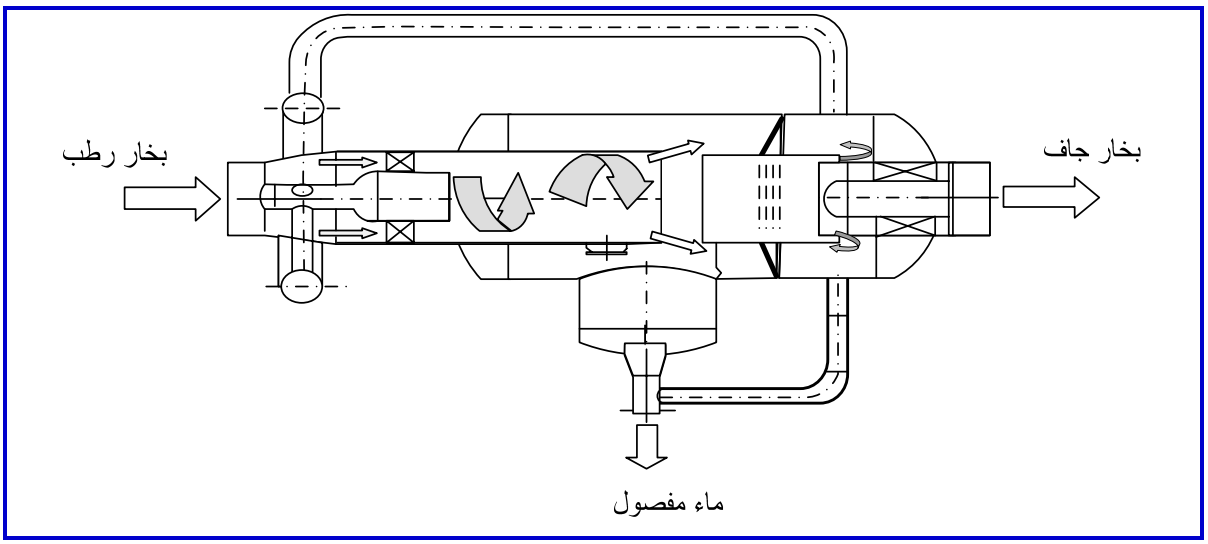


شكل 8: خط البخار على خريطة الإنثالبي – الإنتروبي عند فصل الرذاذ وإعادة تسخين البخار عند ضغط متوسط بين ضغط الدخول وضغط المكثف.

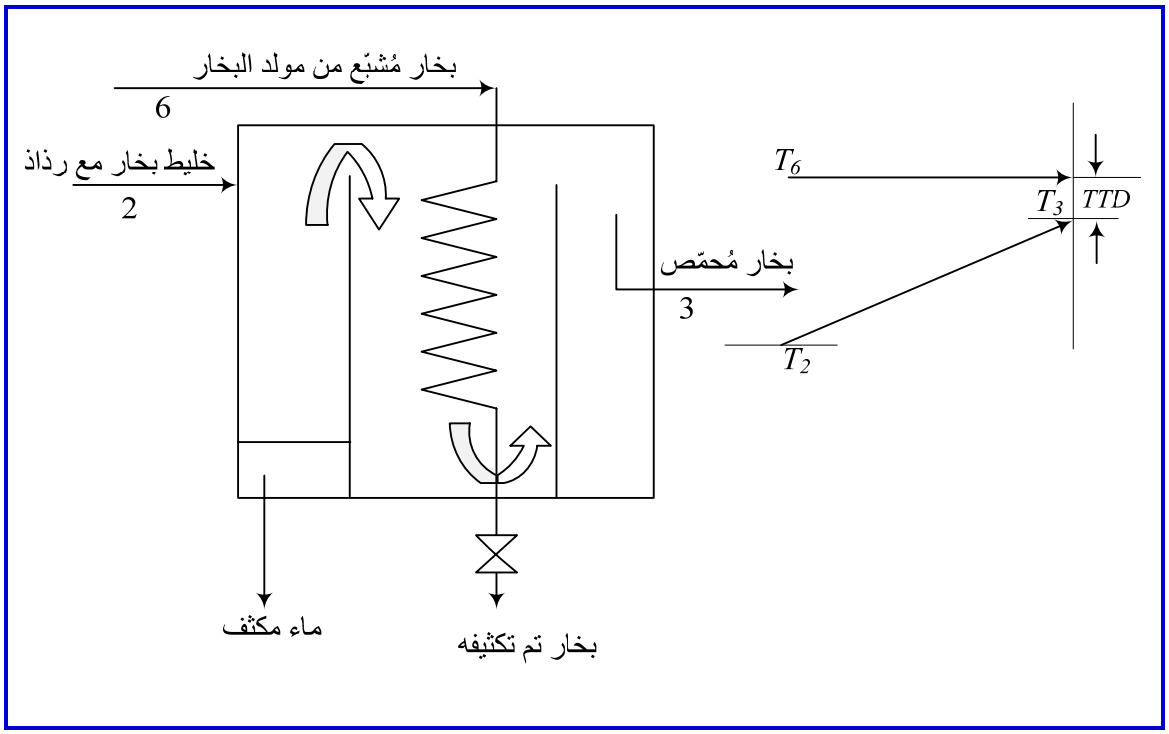
ويتبين من المناقشة السابقة ضرورة فصل رذاذ الماء عن البخار ثم إعادة تسخينه (مرة أو أكثر) بعد خروجه من قطاع الضغط المرتفع وقبل دخوله إلى قطاع الضغط المنخفض للتوربين.

ويبين الشكلان 9 و10 رسماً توضيحياً لفاصل الرذاذ والمسخن.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 9: فاصل الرذاذ.



شكل 10: رسم توضيحي لمبادل حراري يبين إعادة تسخين البخار بعد خروجه من قطاع الضغط المرتفع للتوربين.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٢.٣ استخدام مسخنات ماء التغذية الاسترجاعية

الهدف من استعمال مسخنات ماء التغذية الاسترجاعية (regenerative feed water heaters) سواءً في محطات الطاقة البخارية العادية أو النووية هو رفع كفاءة الدورة الحرارية (η_c) التي تساوي معدل شغل الدورة الناتج (W_c) من الدورة مقسوماً على معدل الحرارة المدفوعة إلى الدورة لتوليد البخار (Q_c)، وهذه الكفاءة تختلف قليلاً عن الكفاءة الصافية (η_{net}) التي تساوي صافي الشغل الناتج من المحطة (W_{net}) مقسوماً على الحرارة المدفوعة إلى المحطة (Q_f)، كما هو مبين في المعادلتين (4) و (5).

$$\frac{W_c}{Qc} = \eta_c \qquad (4)$$

$$\frac{W_{net}}{Qf} = \eta_{net} \qquad (5)$$

ويقل معدل صافي الشغل من المحطة عن معدل شغل الدورة كما هو معروف بسبب الطاقة المستهلكة في الأجهزة المساندة في هذه الدورة (L_{aux}) (كالمضخات ومراوح الهواء ...وغيرها) كما يوجد فَقد للطاقة في نهاية التوربين (L_{end}) نتيجة فقد طاقة حركة البخار عند خروجه من التوربين البخاري ودخوله إلى المكثف، والفقد الميكانيكي (η_m) نتيجة احتكاك الأسطح في كراسي التحميل مثلاً، وفي المولد الكهربي (η_g)، وبذلك يمكن حساب معدل الشغل الصافي W_{net} بدلالة معدل شغل الدورة W_c، كما يلي:

$$(1 - L_{end}) \cdot (1 - L_{aux}) \cdot (\eta_g) \cdot (\eta_m) \cdot W_c = W_{net} \qquad (6)$$

ويمكن أن نفترض أن كلاً من الكفاءة الميكانيكية للتوربين (η_m) والكفاءة الميكانيكية للمولد الكهربائي (η_g) تساوي كل منهما 99% وأن الكفاءة التي تعتمد على الفقد في نهاية التوربين 97.5% (بفرض أن الفقد في نهاية التوربين يساوي 2.5% من شغل الدورة) وأن كفاءة الأجهزة المساندة 96.5% (بفرض أن الطاقة المستهلكة في تشغيل المعدات بالدورة تساوي 3.5% من شغل الدورة):

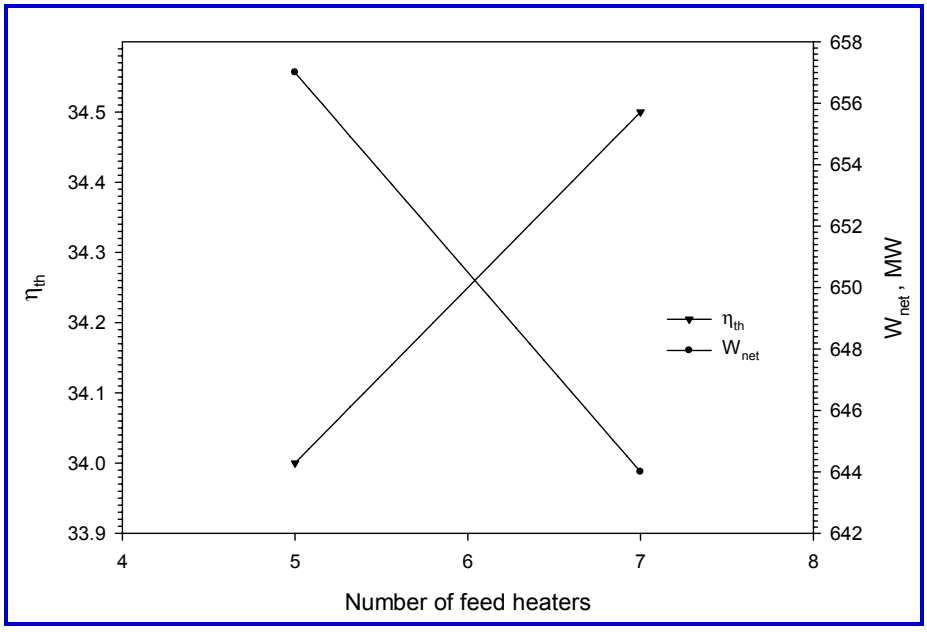
$$(0.965) \cdot (0.975) \cdot (0.99) \cdot (0.99) \cdot W_c = W_{net}$$

$$(0.922) \cdot W_c = W_{net}$$

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ويؤدي زيادة عدد مسخنات ماء التغذية إلى صغر الفرق في درجات الحرارة بين مسخن وآخر وذلك يُقرب درجة حرارة ماء التغذية المتجهة إلى المولد البخاري من درجة الغليان في المولد البخاري، مما يؤدي بدوره إلى رفع متوسط درجة الحرارة التي يتم عندها تزويد الحرارة إلى الدورة، ومن ثم إلى رفع كفاءة الدورة. ومن ناحية أخرى، فإن زيادة عدد مسخنات مياه التغذية يزيد الدورة تعقيداً وتكلفة، كما أنه يزيد كمية البخار المسحوب لتسخين ماء التغذية؛ وبالتالي يقلل معدل الشغل الناتج من الدورة. إضافة إلى ذلك فإن استعمال مسخن ماء تغذية واحد يزيد كفاءة الدورة بنسبة 3%، بينما يؤدي استعمال مسخن ثانٍ إلى زيادة الكفاءة بنسبة 1.5% واستعمال مسخن ثالث يزيد الكفاءة بنسبة 0.75% وهكذا، أي إن إضافة أي مسخن (وليكن الخامس مثلا) يحسن الكفاءة بمقدار نصف تحسين الكفاءة الناتجة من المسخن الذي يسبقه (أي المسخن الرابع في هذه الحالة) ولذا يجب الموازنة بين التحسن في كفاءة الدورة الناتجة من إضافة مسخن وعائده الاقتصادي وتكلفة إضافة هذا المسخن، ولهذا السبب ثمة اقتراح بتقليل عدد مسخنات دورة البخار للمفاعل النووي من سبعة مسخنات (التصميم الأول) إلى أربعة مسخنات فقط، وذلك لتحاشي تعقيدات الدورة وزيادة تكاليفها.

وقد تمت دراسة تأثير إضافة أو إلغاء مسخن أو اثنين من الدورة، فوجد أنه عند وضع المسخنات في المواضع المثالية لها، تكون كفاءة الدورة عند استخدام خمسة مسخنات: 34%، وعند استخدام سبعة مسخنات: 34.45% وتكون الطاقة الناتجة من الدورة عند استخدام خمس مسخنات: 657 ميجاوات (MW) وعند استخدام سبعة مسخنات: 644 ميجاوات (MW) كما هو مبين في الشكل 11 [2] .



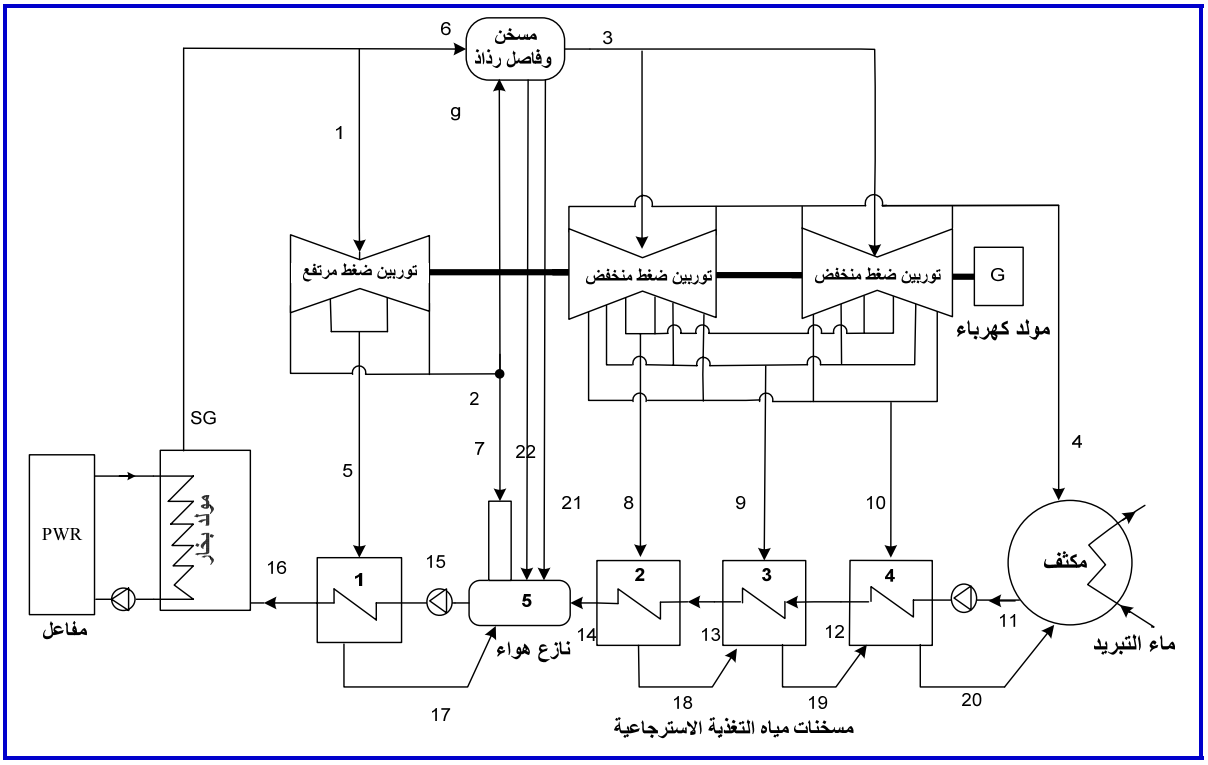
شكل 11: تأثير عدد المسخنات الاسترجاعية على كفاءة وشغل دورة البخار

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٤. التحليل الحراري لدورة البخار مع مفاعلات الماء الخفيف المضغوط المقترحة لدولة الكويت

يوضح الشكل 12 دورة البخار عند استعمال مفاعل الماء المضغوط التي تم اقتراح استخدامها في دولة الكويت، وحيث أنه لا توجد تفاصيل كافية حول دورة البخار المتصلة بالمفاعل AP600 فقد تم عمل نموذج للدورة البخارية للمحطة بالاستفادة من المعلومات القليلة الموجودة والمنشورة وتقتصر هذه المعلومات على:

حالة البخار الداخل لقطاع الضغط المرتفع للتوربين (مشبع وبضغط قدره 57.2 بار) ومعدل سريان يساوي 1063 كيلو جرام/ ثانية (kg/s) ويتمدد في قطاع الضغط المرتفع حتى يصل كسر الجفاف إلى 0.88 ثم يخرج البخار من هذا القطاع عند ضغط 12 بار ويجري فصل رذاذ الماء منه وإعادة تسخينه إلى درجة حرارة تساوي T_3=240˚C تحت ضغط 11 بار.



شكل 12: دورة البخار عند استعمال مفاعل الماء المضغوط تبين فاصل الرذاذ وإعادة التسخين بعد قطاع الضغط المرتفع للتوربين.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

وقد تم اختيار درجة الحرارة T_3 لتعطي الخواص التالية للبخار:

أ. كسر الجفاف X_4 عند الخروج من قطاع الضغط المنخفض للتوربين عند نقطة 4 في شكل 12 يساوي أو أكبر من 0.88 وذلك بفرض أن كفاءة التمدد الأيزنتروبية في هذا القطاع تساوي 0.84.

ب. وجود فرق مناسب في درجة حرارة المبادل الحراري لإعادة التسخين بين بخار التسخين الخارج من المفاعل عند T_1 والبخار المعاد تسخينه والذي يخرج من هذا المبادل عند T_3 أي إن:

$$T_1 - T_3 = 32.5^{\circ}C$$

وفي حالة خروج البخار من قطاع الضغط المرتفع للتوربين عند 12 بار وإعادة تسخينه إلى درجة حرارة $240^{\circ}C$ واستخدام خمسة مسخنات مياه تغذية بين المكثف والمولد البخاري، فإن معدل الشغل الناتج من دورة البخار يساوي 658 ميجاوات (MW). ويبين الجدول (4) حالة دورة البخار عند النقاط الرئيسية للدورة في محطة الطاقة النووية والموضحة في الشكل 12.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

جدول (4) حالة البخار عند نقاط الدورة الرئيسية في محطة الطاقة النووية (AP600).

$a=h-T_o \cdot S$, kJ/kg	S, kJ/kg·k	h, kJ/kg	X	T, °C	p, Bar	m, kg/s	Point
1025	5.91	2787.5	1	272.5	57.2	1063	SG
1025	5.91	2787.5	1	272.5	57.2	1021	1
756.1	6.01	2541.4	0.881	188	12	898.2	2
879.1	6.83	2960.4	superheat	240	11	746.6	3
108.5	7.34	2323.1	0.884	41.5	0.08	609. 3	4
921.4	5.91	2671.2	0.92	233.9	30	123.2	5
1025	5.91	2787.5	1	272.5	57.2	41.64	6
756.1	6.01	2548.7	0.881	188	12	50.86	7
696.1	6.83	2820.0	0.97	138.9	3.5	48.11	8
543.8	6.83	2654.0	0.93	111.4	1.5	45.64	9
379.5	6.83	2480.0	0.882	81.3	0.5	43.47	10
2.809	0.592	171.7	0	41.5	0.08	746.6	11
10.58	1.003	297.2	0	74	30	746.6	12
35.14	1.38	448.6	0	106.5	30	746.6	13
69.44	1.729	602.1	0	139	30	746.6	14
131.6	2.179	718.3	0	184.1	62	1063	15
205.9	2.581	971.7	0	226.9	62	1063	16
219.5	2.645	985.3	0	233.9	30	123.2	17
69.3	1.728	623.7	0	138.9	3.5	48.11	18
39.68	1.433	469.8	0	111.4	1.5	45.64	19
15.19	1.091	318.2	0	81.3	0.5	89.11	20
303.5	2.998	1197.3	0	272.5	57.2	41.64	21
131.6	2.179	781.4	0	184.1	11	100.8	22

m: معدل سريان البخار–كجم/ثانية

p: ضغط البخار–بار

T: درجة حرارة البخار–درجة مئوية

a: إتاحية البخار–كيلوجول/كجم

x: كسر الجفاف

h: إنثالبي البخار–كيلوجول/كجم

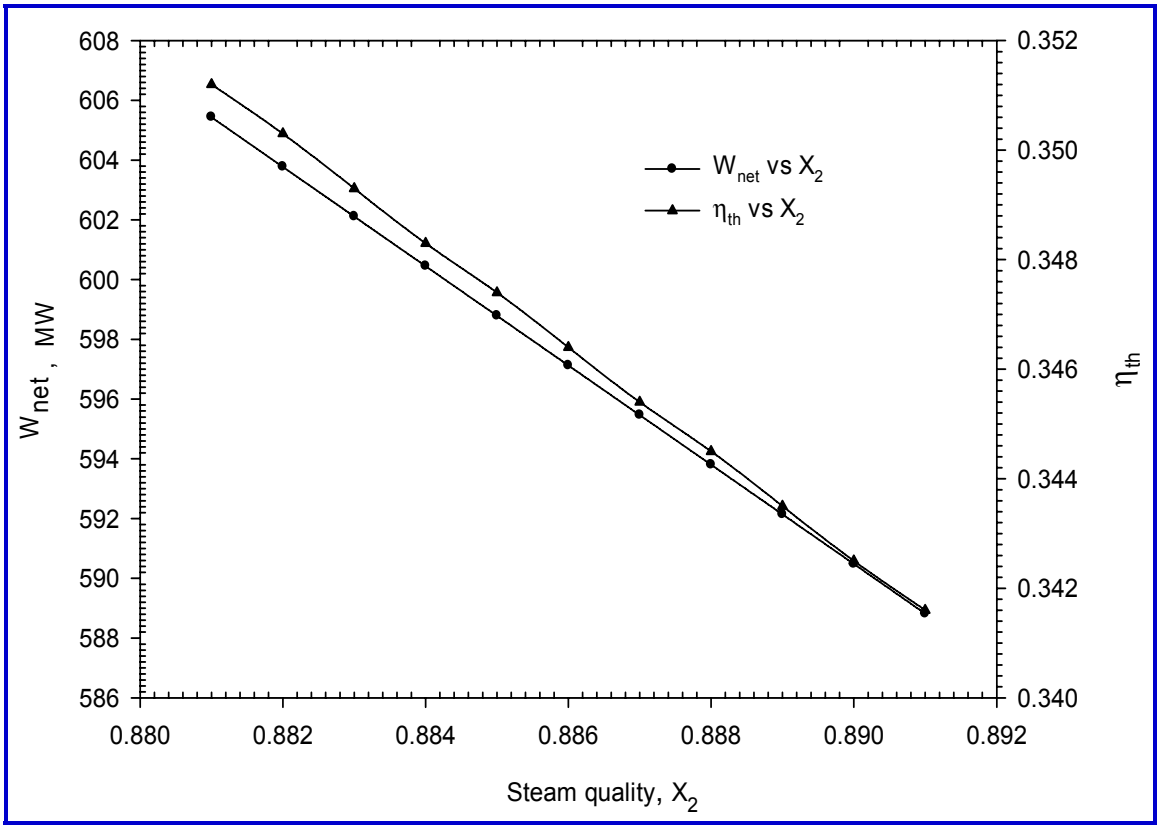
S: إنتروبي البخار/كيلوجول/كجم كلفن

SG: مولد البخار

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ومن خلال عمل تحليل حراري لدورة البخار في هذه المحطة المقترحة يمكن دراسة بعض العوامل والمتغيرات المهمة التي تؤثر على كفاءتها، كدرجة حرارة البخار المعاد تسخينه وكسر الجفاف؛ كما هو مبين في الشكل 13. فعلى سبيل المثال، إذا تم رفع درجة حرارة البخار المعاد تسخينه إلى 257°C (درجة مئوية) فإن معدل الشغل الناتج من دورة البخار يزيد إلى 675 ميجاوات (MW). وبالتالي فإن زيادة درجة حرارة إعادة التسخين يزيد معدل الشغل الناتج من الدورة. ويمكن عمل ذلك بخفض فرق درجة الحرارة في مبادل إعادة التسخين (T_1 - T_3) بزيادة مساحة أسطح الانتقال الحراري في هذا المبادل.

كما يمكن دراسة طرق ربط هذه المحطة بوحدات التحلية المقترحة وكمية المياه المنتجة كما سيتبين في هذا الباب.



شكل 13: تأثير كسر الجفاف الخارج من قطاع الضغط العالي للتوربين على كفاءة المحطة النووية

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٥. التحلية باستخدام الطاقة النووية

إن طرق التحلية باستخدام الطاقة النووية لا تختلف عن الطرق التي تستخدم الوقود الأحفوري لتشغيلها، ولذا فمن المناسب تقديم فكرة عن طرق التحلية المختلفة والأكثر انتشاراً، وأهم مشاريع التحلية النووية التي تعمل في العالم، وذلك قبل الشروع في معرفة طرق ربطها بمحطات الطاقة النووية وتكاليفها.

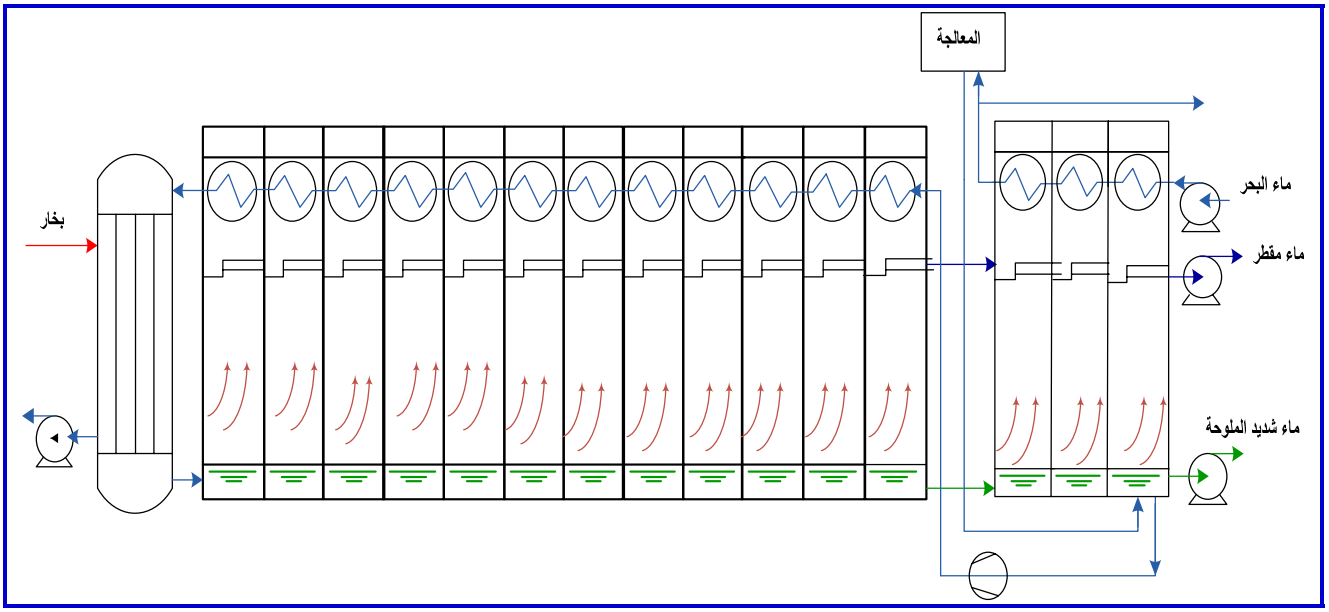
١.٥ تقنيات التحلية المختلفة

١.١.٥ التبخير الفجائي متعدد المراحل (MSF)

طريقة التبخير الفجائي متعدد المراحل (Multi Stage Flash) هي أكثر الطرق استعمالاً في الكويت ودول الخليج العربية، وهي من أكثر طرق التحلية التي يعتمد عليها، وأقلها توقفاً لإجراء الصيانة، فبعض وحداتها تعمل عامين من دون توقف (شكل 14). ويُستخدم فيها الوقود التقليدي (الغاز الطبيعي وزيت الوقود) لتوفير احتياجات الطاقة اللازمة لتشغيل وحدات التحلية العاملة في الكويت، حيث تقدر سعة محطات التحلية بالكويت ما يقارب 1.5 مليون متر مكعب يومياً (M m^3/d)، وجميعها تستخدم طريقة التبخير الفجائي متعدد المراحل (MSF) منذ بداية تركيب وتشغيل أول هذه الوحدات في الكويت عام 1960 وحتى اليوم. إلاّ أن هذه الطريقة تعد أكثر الطرق استهلاكاً للطاقة، إذ إن الوحدات التي تعمل في الكويت تستهلك ما يقرب من 260 كيلو جول/كجم وهذه طاقة حرارية على شكل بخار درجة حرارة تشبعه 120 درجة مئوية. بالإضافة إلى كمية صغيرة من البخار تقوم بتشغيل قاذفات البخار (air ejectors) التي تقوم بسحب كميات من الهواء من المراحل التي تعمل عند ضغط أقل من الضغط الجوي.

ويجري سحب هذا البخار في معظم الأحيان من التوربينات البخارية في محطات الطاقة لتشغيل هذه الوحدات، التي تستهلك طاقة كهربائية لتشغيل مضخاتها بمعدل 4 كيلووات ساعة/متر مكعب (kWh/m^3). ويمكن التعبير عن الطاقة المستهلكة (لكل من الطاقة الحرارية والكهربائية) في محطات التبخير الفجائي بدلالة المكافئ الميكانيكي للطاقة المستهلكة والتي تقدر بنحو 20-22 كيلووات ساعة/متر مكعب (kWh/m^3)، إذا كان البخار مسحوباً من توربين بخاري. أما إذا كان البخار الذي يُزَوِد وحدة التحلية آتياً مباشرة من غلاية ماء تعمل بالوقود، فإن المكافئ الميكانيكي للطاقة المستهلكة سيبلغ الضعف، أي نحو 40 كيلووات ساعة/متر مكعب (kWh/m^3). وتتميز هذه الطريقة بكبر قُدْرة كل وحدة منها والتي تصل إلى 16 مليون جالون إمبراطوري يومياً (MIGD).

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



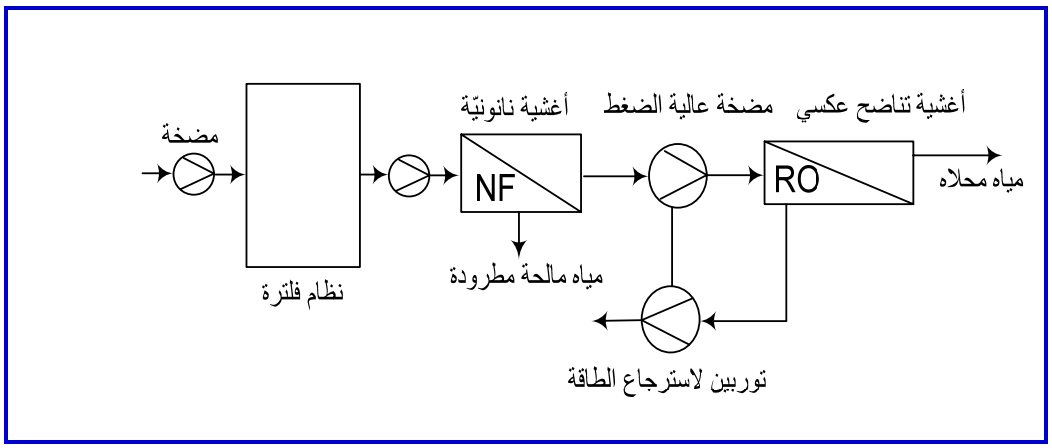
شكل 14: التحلية بنظام التبخير الفجائي متعدد المراحل المستخدم في دولة الكويت.

٢.١.٥ التناضح العكسي (RO)

تعتبر طريقة التناضح العكسي (reverse osmosis) أكثر الطرق استخداماً في تحلية مياه البحر أو المياه قليلة الملوحة، وهي أفضل الطرق كفاءة في استهلاك الطاقة، إذ يتراوح استهلاكها لتحلية مياه البحر من 4-6 كيلووات ساعة/مترمكعب (kWh/m^3). وتُستخدم هذه الطاقة في تشغيل مضخات لضخ الماء المالح إلى أغشية التناضح العكسي عند ضغط مرتفع وكذلك لتشغيل مضخات أخرى مساندة (الشكل 15). لذا فهي أكثر الطرق استعمالاً في جميع أنحاء العالم لقلة استهلاكها للطاقة مقارنة بطرق التحلية بالتقطير باستثناء دول منطقة الخليج العربي التي اعتمدت منذ عام 1960 على طريقة التبخير الفجائي متعدد المراحل (أي قبل بدء استعمال طريقة التناضح العكسي في تحلية المياه قليلة الملوحة تجارياً عام 1969 وفي تحلية مياه البحر عام 1975). كما أن دول الخليج العربية غنية بالبترول ويتم فيها تقدير سعر برميل النفط المستهلك محلياً بسعر منخفض عن السعر العالمي.

وقد بدأت بعض دول الخليج (السعودية والإمارات والبحرين) في استخدام طريقة التناضح العكسي بكثافة لأنها تستهلك ما يقرب من ربع الطاقة التي تستهلكها طريقة التبخير الفجائي. وقد تبدو طريقة التناضح العكسي بسيطة للوهلة الأولى حيث يتم ضخ الماء الملحي تحت ضغط مرتفع إلى الأغشية التي تسمح بمرور الماء النقي عبر الغشاء وتمنع الأملاح من المرور خلال هذا الغشاء، غير أن هذا تصور خاطئ إذ إن هناك ظروف متعددة لهذا النظام وكل منها يحتاج إلى دراسة متعمقة قبل إنشاء المحطات في كل موقع يتم فيه تركيب تلك المحطات.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 15: طريقة التحلية بالتناضح العكسي.

فعلى سبيل المثال تعتمد معالجة مياه التغذية المطلوبة عند موقع ما على نوعية المياه في هذا الموقع كما تحتاج إلى فهم متعمق لطرق منع تلوث الأغشية والترسبات عليها وتدني أدائها بمرور الوقت وهناك عدة اعتبارات يجب أخذها في الحسبان عند تطبيق هذا النظام في دولة الكويت منها:

- أنه من الممكن خلط المياه المقطرة الناتجة من محطات التبخير الفجائي متعدد المراحل (نسبة الأملاح فيها بحدود 10 جزء في المليون) مع المياه الناتجة من المراحل الأولى بطريقة التناضح العكسي (والتي قد تكون نسبة الأملاح فيها عالية قد تصل 1000 جزء في المليون) حتى يمكن التغاضي عن زيادة نسبة الأملاح بناتج التناضح العكسي وعدم اللجوء إلى مرحلة ثانية لتقليل هذه النسبة، على أن لا يزيد محتوى الأملاح في هذه المياه عن متطلبات المعايير الدولية لمياه الشرب.
- مكونات مياه البحر في الكويت لا تسمح إلاّ بنسبة استرجاع (المياه المنتجة إلى مياه التغذية) قليلة، أكثر بقليل من 30%، وذلك لتحاشي ترسب كبريتات الكالسيوم بسبب ارتفاع نسبة الكبريتات (SO_4) والكالسيوم (Ca) في مياه التغذية، وقد تؤدي المعالجة الأولية لمياه البحر بواسطة الفلترة النانونية (nano filtration) قبل دخولها وحدات التناضح العكسي إلى التغلب على الكثير من مشاكل الترسبات مما يؤدي إلى زيادة نسبة الاسترجاع إذا تبينت الجدوى الاقتصادية لتلك المعالجة الأولية. وقد بينت الأبحاث التي قامت بها المؤسسة العاملة لتحلية المياه المالحة بالسعودية أن استخدام المعالجة النانونية قبل أغشية التناضح العكسي قد أدت إلى طرد 98% من الكبريتات SO_4 وما يقارب من 85-90% من الكالسيوم وتقليل عسر الماء من 55%–65% قبل إدخالها إلى أغشية التناضح العكسي.

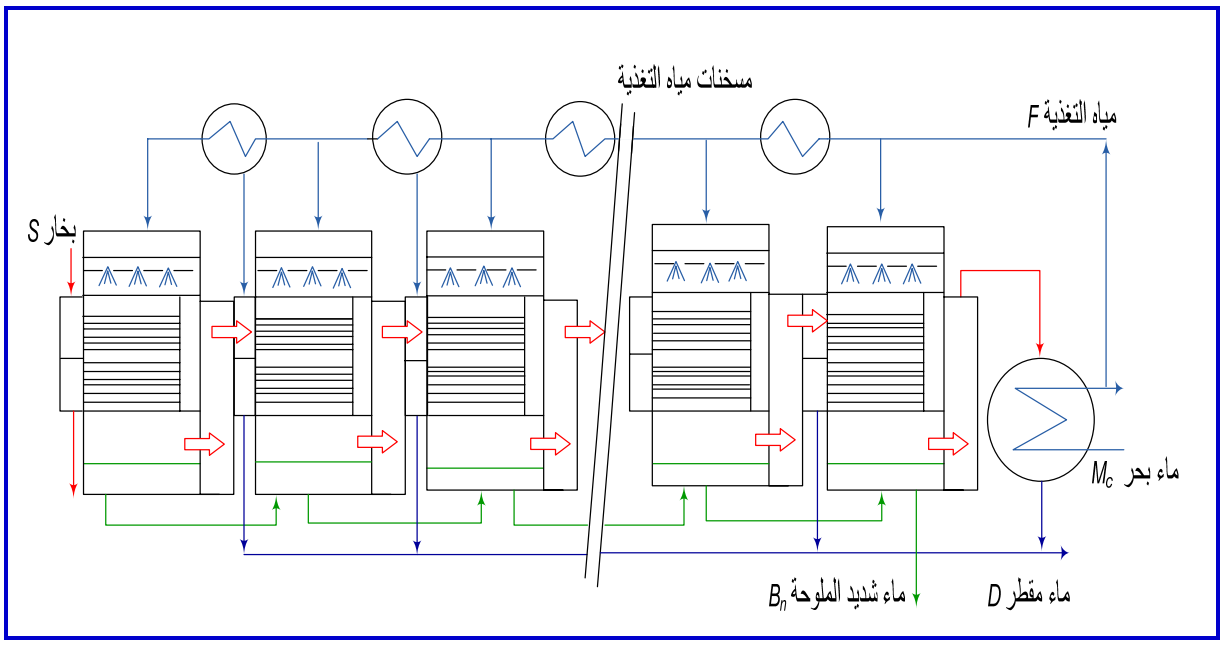
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

- من أهم عيوب طريقة التناضح العكسي أنها تحتاج إلى عمليات متكررة للأغشية وتستخدم مواد كيميائية حيث ينبغي إيقاف أجزاء من المحطة أثناء استخدامها، إضافة إلى حساسية الأغشية للملوثات. لذا يجب أن تقوم الجهات المختصة بدراسة شاملة للمواقع ونوعية مياه البحر لتلافي المشاكل التشغيلية عند التطبيق.
- إن ربط وحدات التبخير الفجائي متعدد المراحل مع وحدات التناضح العكسي يمكن أن يخفض تكلفة المعالجة الأولية لمحطات التناضح العكسي وتضمن درجة حرارة مرتفعة نسبياً لمياه التغذية فيها وزيادة كميات المياه الناتجة التي تقل بانخفاض درجة حرارة مياه التغذية في الشتاء.
- يمكن استخدام التوربينات الغازية المستخدمة في الكويت لمواجهة زيادة الأحمال القصوى للطاقة الكهربائية التي تستمر لساعات قليلة خلال فصل الصيف، في تشغيل وحدات التناضح العكسي وتخزين ناتجها في غير ساعات ذروة الأحمال الكهربائية.
- تحتاج وحدات التناضح العكسي إلى مساحة أقل لإقامة محطاتها مقارنة بمحطات التحلية بالتبخير الفجائي متعدد المراحل.

٣.١.٥ الغليان متعدد التأثير (MEB)

تعد طريقة التحلية بالغليان متعدد التأثير (multi effect boiling) من أكثر طرق التقطير الحرارية كفاءة في استخدام الطاقة (الشكل 16)، مقارنة بطريقة التبخير الفجائي متعدد المراحل. فمعظم وحداتها تعمل عند أقصى درجة حرارة للماء المالح والتي تبلغ 70 درجة مئوية وبالتالي تحتاج لبخار عند درجة حرارة منخفضة نسبياً (حوالي 75 درجة مئوية) ولذا فهو بخار قليل الإتاحية (low availability) والتكلفة. ومع أن هذه الطريقة تستهلك نفس كمية الحرارة المستهلكة في وحدات التبخير الفجائي إلا أنها تستهلك ما يقرب من نصف استهلاك الطاقة الكهربائية في إدارة المضخات مقارنة بها، أي حوالي 2 كيلووات ساعة/ متر مكعب (kWh/m^3) ويمكن تقدير الطاقة الميكانيكية المكافئة (للطاقة الحرارية وطاقة الضخ الكهربائية) بحوالي 10-12كيلووات ساعة/متر مكعب (kWh/m^3) وقد أصبحت أقصى سعة لكل وحدة منها حوالي 5 مليون جالون إمبراطوري يومياً (MIGD). كما أنها تنتج ماء شديد النقاء تصل نسبة الأملاح به في حدود 10-20 جزء في المليون.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 16: نظام التحلية بطريقة الغليان متعدد التأثير.

٢.٥ مشاريع التحلية النووية في دول العالم

بَيّنت تقارير الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) أن تكلفة عمليات التحلية باستخدام الطاقة النووية أقل من التكلفة باستخدام الوقود التقليدي. كما تأكد بالتجربة نجاح ربط وحدات التحلية بمحطات الطاقة النووية والتي تسمى بالتحلية النووية والتي بدأت أساساً في كازاخستان (من دول الاتحاد السوفييتي سابقاً). حيث استُخدِمت محطة طاقة نووية لمدة 27 عاماً لإنتاج طاقة كهربائية قدرها 135 ميجاوات كهربائي (MW_e) ومحطات تحلية بسعة 80,000 متر مكعب يومياً (m^3/d).

كما تم في **اليابان** ربط 10 محطات تحلية مع محطات طاقة نووية تستعمل مفاعلات الماء الخفيف المضغوط وتتراوح سعة محطات التحلية من 1000-3000 متر مكعب يومياً (m^3/d)، تم فيها استخدام وحدات التبخير الفجائي متعدد المراحل في بادئ الأمر ثم استُبدِلت بوحدات أكثر كفاءة تعمل بالتناضح العكسي وبوحدات تعمل بالغليان متعدد التأثير نظراً لأنها أكثر كفاءة في استهلاك الطاقة.

أما في **الهند** فقد بُنيت محطتي طاقة نووية تستخدمان مفاعلات الماء الثقيل المضغوط وسعة (طاقة) كل منهما 170 ميجاوات كهربائي (MW_e) وقد رُبِطت هاتين المحطتين بمحطة تحلية تجريبية تستخدم طريقة التناضح العكسي سعتها 1800 متر مكعب/يوم (m^3/d) ومحطة تعمل بطريقة التبخير الفجائي متعدد المراحل سعتها 4500 متر مكعب يومياً (m^3/d). كما أن هناك تطبيقات مماثلة لربط وحدات التحلية

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

بمحطة الطاقة النووية كتدفئة الأحياء السكنية ببخار مسحوب من محطات الطاقة النووية (مماثل لعملية التحلية) وذلك في دول مثل روسيا وأوروبا الشرقية وكندا.

ومن المعروف أنه من الأفضل تشغيل محطات الطاقة النووية بكامل طاقتها لتوفي حاجة الأحمال الكهربائية القصوى التي صممت من أجلها وعندما ينخفض الحمل الكهربائي، يمكن استخدام الطاقة الزائدة عن الحمل الكهربائي المطلوب في تشغيل محطات تحلية تعمل بنظام التناضح العكسي وتتطلب طاقة كهربائية فقط لتشغيلها وتخزين هذه المياه.

ومن أمثلة مشروعات التحلية النووية التي تشارك الوكالة الدولية للطاقة الذرية في دراسة بعضها:

- تصميم مفاعل نووي صغير لمحطة مشتركة لإنتاج الكهرباء قامت **كوريا الجنوبية** بتطويره وطاقته الإنتاجية 90 ميجاوات كهربائي (MW_e) وتبلغ سعة محطة التحلية 40,000 متر مكعب يومياً (m^3/d).
- دراسة وإنشاء محطة نووية مشتركة في منطقة ياناتي **بالصين** لإنتاج الكهرباء بمعدل 200 ميجاوات (MW) وإنتاج مياه مقطره بطريقة الغليان متعدد التأثير بسعة 160,000 متر مكعب يومياً (m^3/d).
- بناء محطة عائمة في **روسيا** بها مفاعل نووي ينتج 150 ميجاوات حراري (MW_t) ومحطة تحلية تستخدم طريقة التناضح العكسي.
- تطوير مشروع تجريبي لربط محطة تحلية قرب مدينة **كراتشي** تنتج 1600 متر مكعب يومياً (m^3/d) بمحطة طاقة نووية تستخدم مفاعل الماء الثقيل المضغوط بقدرة إنتاجية 125 ميجاوات كهربائي (MW_e).
- دراسة إقامة مفاعل نووي صغير في **المغرب بالتعاون** مع الصين لإنتاج 10 ميجاوات حراري (MW_t) وتشغيل محطة تحلية تعمل بالغليان متعدد التأثير بسعة 8000 متر مكعب يومياً (m^3/d) في مدينة تان تان على المحيط الأطلسي.
- دراسة لإنشاء محطة طاقة نووية مشتركة لإنتاج الكهرباء وتحلية المياه في مدينة الضبعة **بمصر** وبها مفاعلين سعة كل منها 1000 ميجاوات كهربائي (MW_e) وينتظر أن يتم بناؤها عام 2017.

وأما بالنسبة لمنطقة **الشرق الأوسط** فقد صممت إيران محطة تحلية مياه بسعة 200,000 متر مكعب يومياً (m^3/d) لربطها مع مفاعل بوشهر، كما وقعت ليبيا معاهدة مع فرنسا لبناء محطة تحلية بالطاقة النووية، وتسعى قطر بخطوات جادة لبناء محطة طاقة نووية مرتبطة بمحطة تحلية سعتها 1.3 مليون متر مكعب يومياً ($M\ m^3/d$).

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ويبين الجدول 5 بعض مشاريع ربط وحدات التحلية بمحطات طاقة نووية في بعض دول العالم ونوعية المفاعلات المستخدمة.

جدول (5) محطات التحلية العاملة بالطاقة النووية والمقترحة.

نوع المفاعل	الدولة	طريقة التحلية	الوضع
LMFR	كازاخستان	MED, MSF	عام × مفاعل 150
PWRs	اليابان	MED, MSF, RO	عام × مفاعل 100
	كوريا، الأرجنتين	MED, RO	في طور التصميم
	روسيا	MED, RO	في طور التصميم
PHWR	الهند	MSF, RO	في طور التسليم
	كندا	RO	في طور التصميم
	باكستان	MED	في طور الإنشاء
BWR	اليابان	MSF	تم التركيب
HTGR	جنوب أفريقيا	MED, MSF, RO	في طور التصميم
NHR	الصين	MED	في طور التصميم

MED	تحلية بالغليان متعدد التأثير	**BWR**	مفاعل الماء المغلي	**LMFR**	مفاعل الفلز المصهور السريع
MSF	تحلية بخر فجائي متعدد المراحل	**HTGR**	مفاعل غازي عند درجات حرارة مرتفعة	**PWRs**	مفاعل ماء خفيف مضغوط
RO	تناضح عكسي	**NHR**	مفاعل إنتاج طاقة حرارية	**PHWR**	مفاعل ماء ثقيل مضغوط

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٣.٥ طرق ربط محطات التحلية المختلفة بمحطات الطاقة النووية

يتم ربط وحدات التحلية الحرارية بمحطات الطاقة النووية بسحب كمية من أوْ كل البخار الساري في التوربين البخاري عند ضغط مناسب إلى وحدات التحلية لتغذيتها بهذا البخار فُيطلق عليها محطات طاقة نووية ثنائية الغرض لإنتاج الطاقة الكهربائية وتحلية المياه، أو تربط وحدات تحلية مباشرة بمفاعل تسخين نووي (nuclear heating reactor-NHR) لتصبح محطة تحلية نووية.

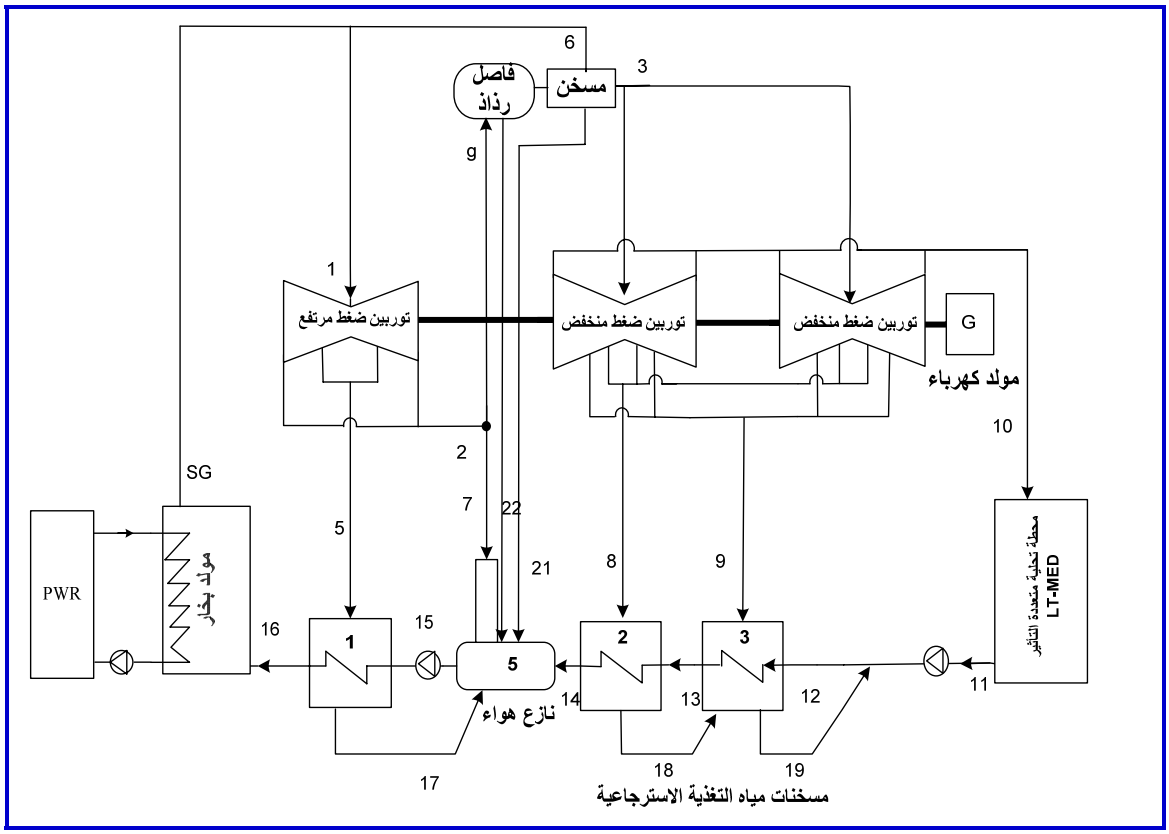
وأما إذا استُخدِمت الطاقة الكهربائية الناتجة من محطات الطاقة النووية في تشغيل وحدات التحلية بالتناضح العكسي التي تعمل ذاتياً (standalone) فهذا لا يغير في تصميم المحطة النووية أو محطة التحلية أما إذا كانت ملاصقة (contiguous) أو إذا كانت هجين من عمليات التحلية (hybrid) فهناك ثمة تعديلات على كلا المحطتين.

- وتختلف أنواع التوربينات البخارية التي يتم تغذية البخار منها إلى وحدات التحلية، فعندما يتم تغذية وحدة التحلية بكل البخار الساري عند خروجه من توربين عند ضغط يساوي الضغط المطلوب لوحدة التحلية، يسمى التوربين في هذه الحالة توربين ضغط خلفي (back pressure turbine) كما هو مبين في الشكل 17، وفي هذه الحالة تكون نسبة معدل الماء المنتج بالتحلية بالنسبة إلى معدل إنتاج الطاقة الكهربائية أعلى ما يمكن وتكون عملية التحلية تابعة للطاقة المنتجة من التوربين لأن البخار الساري في التوربين يتغير (يزيد أو يقل) بزيادة أو تقليل الحمل الكهربائي للتوربين البخاري.
- وهناك وضع أكثر مرونة يتم فيه سحب جزئي للبخار الساري في التوربين إلى وحدة التحلية بينما يستمر تمدد باقي البخار إلى المكثف ويسمى التوربين في هذه الحالة توربين سحب-مكثف (Condensing Extraction Turbine) (انظر الشكل 18). ويتم تحديد نقاط سحب البخار من التوربين حسب ضغط البخار المطلوب لكل نوع من وحدات التحلية الحرارية.

وينخفض ضغط البخار عند نقطة سحب معينة من التوربين عند تقليل الحمل الكهربائي للتوربين، فعلى سبيل المثال يكون ضغط البخار عند نقطة سحبه من التوربين في محطات الطاقة البخارية المستخدمة في الكويت إلى وحدات التبخير الفجائي متعدد المراحل 5 بار (bar) تقريباً إذا كان التوربين يعمل بكامل طاقته عند 300 ميجاوات (MW) أما إذا قل حمل التوربين إلى 80 ميجاوات (MW) مثلا (وهو أقل حمل مسموح به لسحب البخار لوحدات التحلية) يقل الضغط عند نقطة السحب إلى حوالي 2 بار (bar). وهذا هو الضغط المطلوب لتغذية وحدات التحلية. ولهذا الغرض يتم تركيب صمام خنق بين نقطة السحب من التوربين ونقطة تغذية البخار لوحدة التحلية بحيث يقوم هذا الصمام بعملية ضبط لضغط البخار عند 2 بار (bar) عند دخوله إلى وحدة التحلية في جميع

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

الأحوال (سواء البخار الداخل إليه عند 5 أو 4 أو 3 أو 2 بار) وهو الضغط المطلوب لوحدة التحلية. ويوضح الشكل 19 تغير ضغط البخار على طول التوربين البخاري حسب تغير الحمل الكهربائي على التوربين. ويفضل من ناحية الديناميكا الحرارية ترك البخار يتمدد أكثر ما يمكن قبل سحبه إلى وحدات التحلية ليعطي أكبر شغل ممكن.

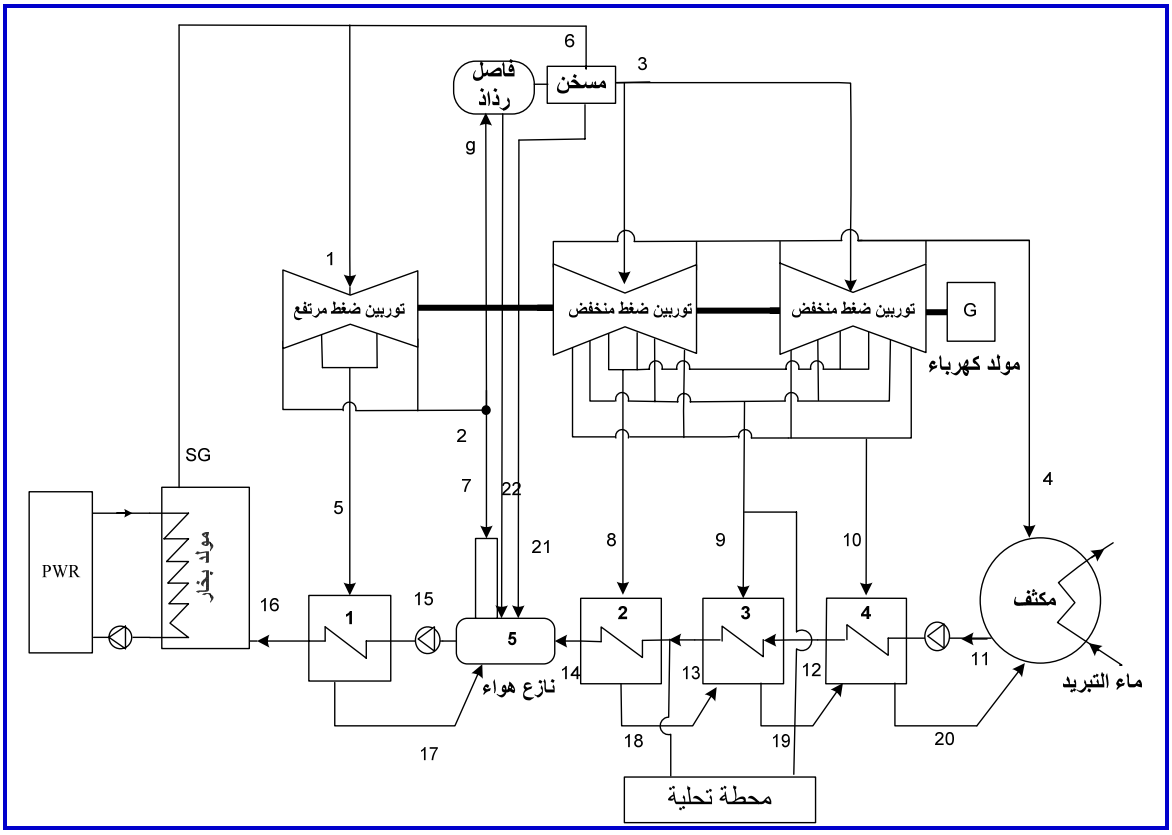


شكل 17: دورة البخار عند استخدام توربين بخاري ذو ضغط خلفي

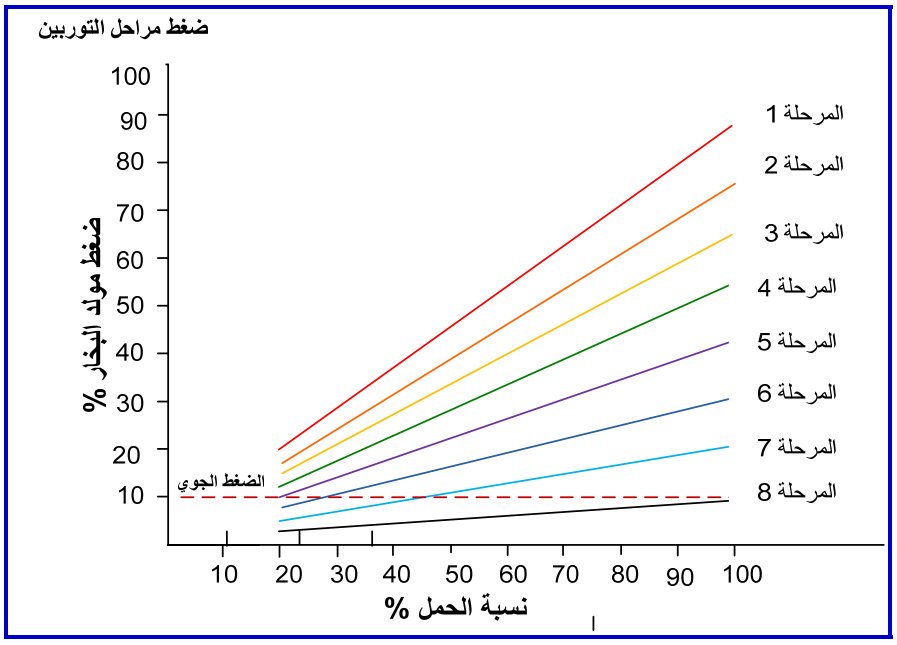
لمحطة قوى نووية تعمل بالمفاعل AP600.

ويجب عمل دورة حاجزة بين دورة التحلية ودورة البخار الساري في التوربين لمنع أي احتمال ولو ندر حدوثه لنقل أي مواد مشعة إلى وحدة التحلية الحرارية في حال ربطها بدورة البخار في المحطة النووية (الشكل 20).

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

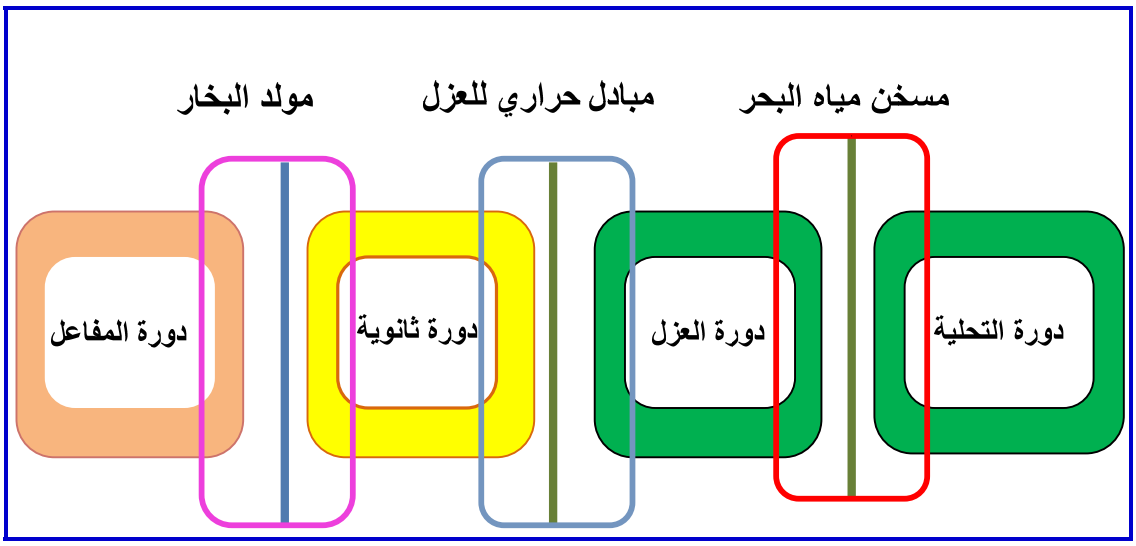


شكل 18: محطة مشتركة تعمل بالمفاعل AP600 وتستخدم توربين مكثف-سحب لتغذية البخار إلى محطة التحلية.



شكل 19: تغير ضغط البخار عند نقط مختلفة من توربين بخاري عند تغير الحمل الكهربائي على التوربين.

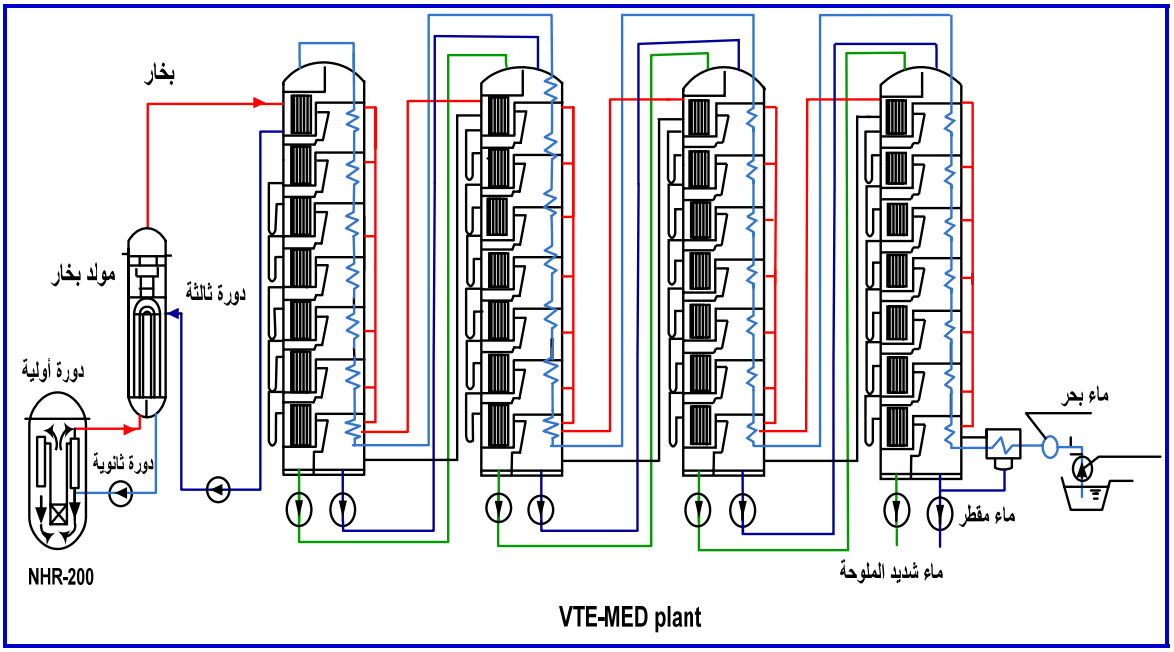
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



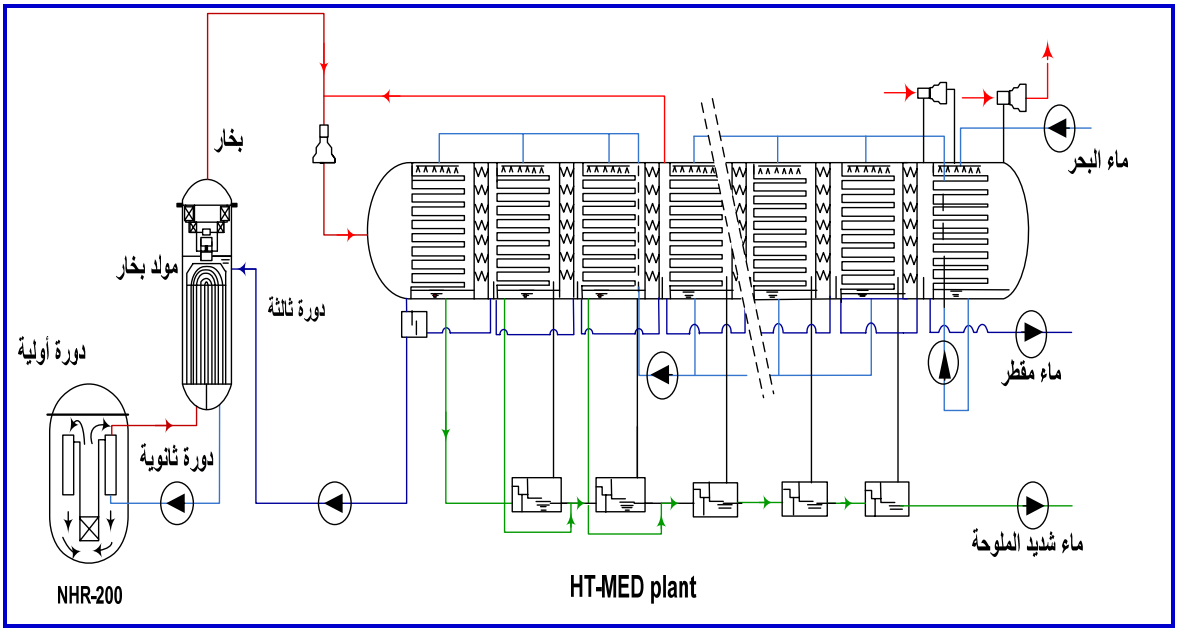
شكل 20: دورات فاصلة لتمنع تسرب أي مواد مشعة لدورة التحلية.

- ومن طرق تشغيل وحدات التحلية بالطاقة النووية هو ربطها مباشرة بمفاعل تسخين نووي (NHR)، ويعد مفاعل التسخين النووي (NHR) 200 في الصين مثالاً للتحلية النووية وقدرته تساوي 200 ميجاوات حراري (MW_t) وقد صُمّم لتزويد وحدة تحلية تعمل بالغليان متعدد التأثير وتزود ببخار درجة حرارة تشبعه تتراوح بين 130-150 (درجة مئوية) وتستخدم مبخرات أنابيب رأسية ومرصوصة رأسياً أيضا (Vertical Tube Evaporators, VTE) كما هو موضح في شكل 21، كما يمكن استعمال مبخرات أنابيب أفقية (Horizontal Tube Evaporators, HTE) ومتراصة أفقياً كما هو مبين في شكل 22.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



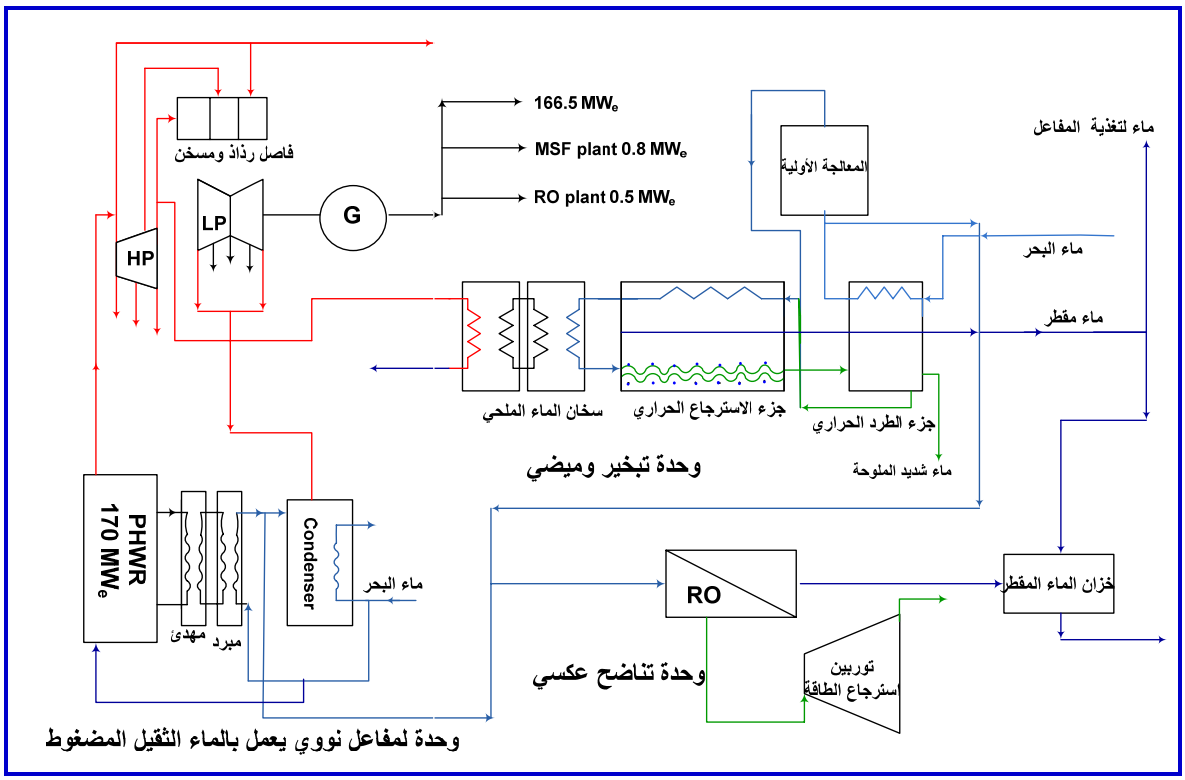
شكل 21: محطة تحلية تعمل بنظام الغليان متعدد التأثير بمبخرات رأسية ومفاعل تسخين نووي.



شكل 22: محطة تحلية تعمل بنظام متعدد التأثير بمبخرات أفقية ومفاعل تسخين نووي.

ويلاحظ أن دائرة مولد البخار في الشكلين السابقين 21 و22 هي دورة فاصلة بين دورة المفاعل ودورة التحلية، ويمكن إضافة دورة فاصلة أخرى كما هو معمول به في الهند في محطة طاقة نووية تنتج 170 ميجاوات كهربائي (MW_e) ومرتبطة بنظام تحلية مزدوج يعمل بالتناضح العكسي والتبخير الفجائي متعدد المراحل كما هو مبين في الشكل 23.

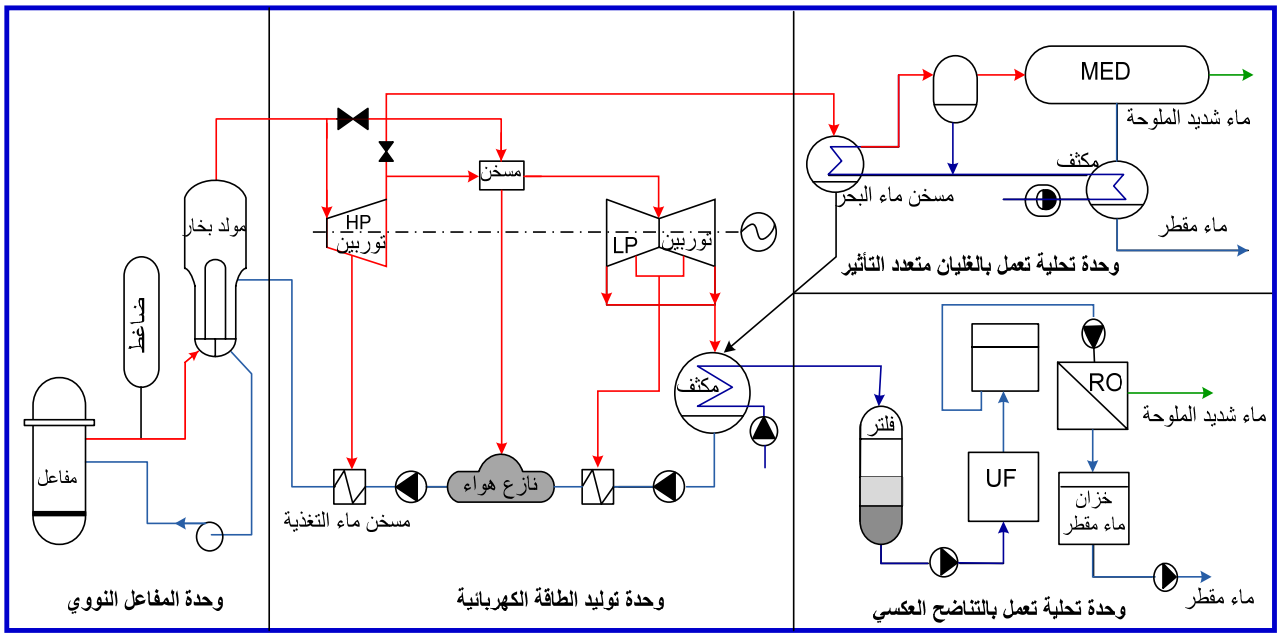
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 23: ربط دورة بخار مفاعل نووي بوحدات تحلية التناضح العكسي والتبخير الفجائي متعدد المراحل

- وهناك طريقة أخرى لربط وحدات التحلية الحرارية بدورة البخار وذلك برفع درجة حرارة بخار الماء الداخل إلى مكثف دورة البخار المنتجة للطاقة الكهربائية مما يرفع درجة حرارة ماء التبريد الخارج من المكثف ثم استخدام ماء التبريد كمصدر حراري يجري توجيهه بعد خروجه من المكثف إلى خزان عند ضغط منخفض فيتبخر جزء منه فجائياً ويأخذ البخار الناتج طريقه إلى وحدات التحلية كمصدر حراري (flash tank) على أن تكون وحدة التحلية من نوع الغليان متعدد التأثير الذي يعمل عند درجات حرارة منخفضة كما في الشكل 24.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 24: ربط مفاعل الماء الخفيف المضغوط بوحدة تحلية بالغليان متعدد التأثير تعمل عند درجات حرارة منخفضة.

وتتميز وحدات التحلية بالغليان متعدد التأثير بإمكانية تشغيلها ببخار تتغير درجة حرارة التشبع فيه من 70 إلى 110 (درجة مئوية) وبمعدل سريان بخار متغير، كما يحقق ربط وحدات التحلية بطريقة الغليان متعدد التأثير عند درجات منخفضة مع دورة البخار بمحطات الطاقة النووية تحسناً كثيراً لدورة البخار في المحطة النووية حيث يقل سريان البخار في الجزء الأخير من التوربين عند الضغط المنخفض بدرجة ملحوظة نتيجة سحب البخار لوحدات التحلية مع العلم بأن هذا الجزء من التوربين هو الأقل كفاءة والأكثر تكلفة لكبر حجمه وبه نسبة مرتفعة من رذاذ الماء السائل.

ويبين الجدول 4 الذي سبق ذكره حالة البخار عند النقاط الرئيسية في محطة الطاقة النووية المقترحة لدولة الكويت (AP600)،كما يوضح الشكل 18 إحدى طرق ربط هذه المحطة بوحدات التحلية التي يتم تغذيتها عن طريق سحب البخار إليها من التوربين عند آخر مسخنات ماء التغذية (رقم 4) في شكل 18، وعندها يكون ضغط البخار المسحوب عند الحمل الأقصى للتوربين يساوي 0.5 بار (bar) (درجة حرارة تشبع 81.3 درجة مئوية)، وعلى هذا الأساس يتم اختيار وحدة تحلية مناسبة تكون فيها درجة حرارة الماء الملحي القصوى 70 درجة مئوية كوحدة الغليان متعدد التأثير.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

غير أنه ينبغي ملاحظة أن الضغط عند نقطة السحب 10 في شكل 18 قد يقل إذا قل حمل التوربين، ولهذا السبب يُقترح سحب البخار عند نقطة السحب 9 عند مسخن ماء التغذية قبل الأخير (رقم 3) والذي يعمل عند ضغط 1.5 بار (bar) (ودرجة حرارة تشبع 111.4 درجة مئوية) لتشغيل وحدة التحلية عند حد أقصى لدرجة حرارة الماء الملحي يساوي 100 درجة مئوية وخفض تلك الدرجة عندما يقل الحمل على التوربين وبالتالي يقل ضغط البخار .

كما يمكن اقتراح أن يُقَسّم توربين الضغط المنخفض إلى جزيئين؛ الجزء الأول LP1 يتمدد فيه البخار عند الحمل الكامل من ضغط الدخول والذي يساوي 11 بار إلى 1.5 بار ثم يتبع ذلك فاصل لرذاذ الماء السائل ليصبح البخار الخارج من LP1 بخاراً مشبعاً ليدخل الجزء الثاني من التوربين منخفض الضغط LP2 ويتمدد فيه حتى ضغط المكثف. أما البخار الداخل إلى وحدة التحلية فيتم سحبه من بين نقطة الخروج من قطاع الضغط المنخفض الأول إلى دخول قطاع الضغط المنخفض الثاني بعد فصل رذاذ الماء السائل منه.

عند وصول البخار إلى نقطة السحب 9 يكون معدل سريان البخار 646 كيلوجرام/ثانية (kg/s). وإذا تم تزويد وحدة التحلية بكل البخار الواصل إلى نقطة 9 يكون الجزء الأول من توربين الضغط المنخفض LP1 هو توربين ضغط خلفي وعندها نحصل على أعلى نسبة من إنتاج الماء إلى إنتاج الطاقة الكهربائية.

وعند استخدام وحدة تحلية يكون نسبة الكسب فيها (Gain ratio) يساوي 8 على سبيل المثال (نسبة ماء التحلية المنتج إلى البخار المستخدم) وبفرض أن كسر الجفاف عند نقطة 9 يساوي 90% وتكون كمية البخار المشبع 581.4 كيلوجرام/ثانية (kg/s) تصبح كمية ماء التحلية الناتجة 4651.2 كيلوجرام/ثانية (kg/s) (أي 88 مليون جالون إمبراطوري يومياً) وفي هذه الحالة سيقل إنتاج التوربين البخاري من الطاقة بمقدار 213.86 ميجاوات كهربائي (MW_e). وهذا الفقد يسمى الفقد الميكانيكي المكافئ للحرارة المزودة لمحطة التحلية ويساوي 46 كيلوجول شغل/كيلوجرام (kJ/kg) ماء تحلية وعند أخذ كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة بمضخات وحدة التحلية بالغليان متعدد التأثير تساوي 2 كيلووات ساعة/متر مكعب (kWh/m^3) أي 7.2 كيلوجول شغل/كيلوجرام (kJ/kg) ماء تحلية يكون المجموع الكلي للطاقة الكهربائية المستهلكة لواحد كيلوجرام ماء تحلية مساوياً 53.2 كيلوجول شغل/كيلوجرام (kJ/kg) أو 14.8 كيلووات ساعة/متر مكعب (kWh/m^3).

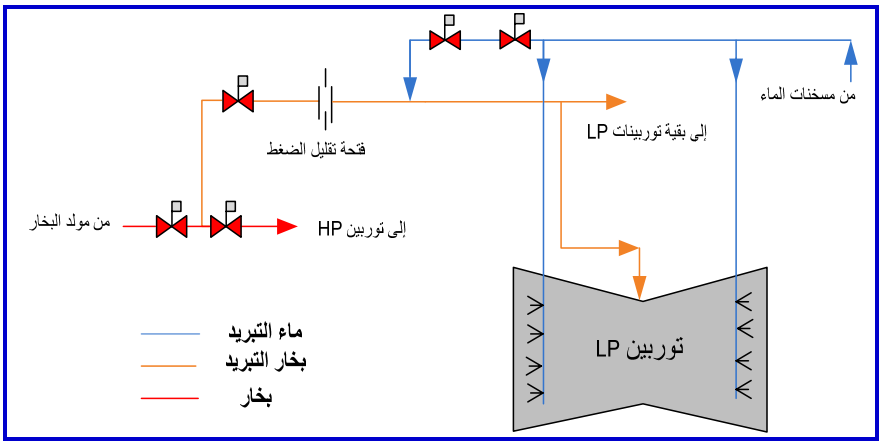
وعند استخدام توربين سحب – مكثف حيث يتم سحب جزئي من البخار المتمدد في التوربين إلى وحدات التحلية ويترك باقي البخار ليتمدد في النصف الثاني من توربين الضغط المنخفض وإذا كانت كمية ماء التحلية المطلوبة 40 مليون جالون إمبراطوري يومياً (MIGD) (2105 كيلوجرام/ثانية (kg/s)) فذلك يتطلب بخاراً مشبعاً بمعدل 263.0 كيلوجرام/ثانية (kg/s) بفرض أن معامل الكسب (نسبة ماء

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

التحلية إلى البخار) يساوي 8 وبفرض أن كسر الجفاف للبخار المسحوب من التوربين 90% تكون كمية البخار المسحوبة للتحلية تساوي 292 كيلوجرام/ثانية (kg/s). وإذا كان معدل البخار في التوربين عند نقطة السحب تساوي 646 كيلوجرام/ثانية (kg/s) ويسحب منها 292 كيلوجرام/ثانية (kg/s) فسيترك 354 كيلوجرام/ثانية (kg/s) ليتمدد في آخر جزء من التوربين.

ويلاحظ أن كمية البخار الساري في التوربين يقل بتقليل الحمل على التوربين وبفرض أن الحمل قد انخفض إلى النصف وبالتالي قل معدل سريان البخار إلى 390 كيلوجرام/ثانية (kg/s) وتم سحب كل الكمية المطلوبة لوحدة التحلية (292 كيلوجرام/ثانية) ويكون معدل سريان البخار الباقي للتمدد في الجزء الأخير من التوربين حوالي 95 كيلوجرام/ثانية (kg/s).

ومن الملاحظ هنا أن الجزء الأخير من التوربين قد تم تصميمه ليسرى فيه البخار بمعدل 646 كيلوجرام/ثانية (kg/s) في حالة عدم سحب بخار لوحدات التحلية وإذا قل معدل سريان البخار فيه إلى 95 كيلوجرام/ثانية (kg/s) عندما يقل الحمل إلى 50% وتزويد وحدات التحلية بالبخار المطلوب لها فمن الممكن أن يسخن هذا الجزء من التوربين ولذا يجب تبريده. كما يبين الشكل 25.



شكل 25: طريقة تبريد قطاع الضغط المنخفض للتوربين البخاري عند انخفاض الحمل الكهربائي واستمرار وحدة التحلية في سحب البخار.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٤.٥ تكاليف التحلية النووية.

تتضمن تكاليف تحلية مياه البحر تكلفة مباشرة كتكلفة رأس المال وتكلفة الطاقة المستهلكة في عملية التحلية بالإضافة إلى تكاليف التشغيل والصيانة، وهناك تكاليف أخرى غير مباشرة (أو غير مرئية) كالتأثير الضار لعملية التحلية على البيئة مثل تكلفة انطلاق غازات الدفيئة إلى الجو نتيجة احتراق الوقود الأحفوري اللازم لتزويد عملية التحلية بالطاقة وتكلفة التأثير الضار على البيئة البحرية نتيجة طرد كميات كبيرة من مياه البحر المالحة الناتجة من عملية التحلية، كما أن درجة حرارة هذه المياه عادة ما تكون مرتفعة قليلاً عن درجة حرارة مياه البحر. كما تحتوي على بعض المواد الكيميائية المستخدمة لمنع الترسبات. وحيث أن البحر عالم متكامل بثرواته الطبيعية والجمالية لذا ينبغي الحفاظ عليه ولا شك أن تكلفة الإساءة إلى البيئة أو تكلفة الإجراءات المناسبة لدرء تلك الأضرار يجب إضافتها إلى تكلفة عملية التحلية.

وتعد تكلفة الطاقة المستهلكة في عمليات التحلية المختلفة من أهم بنود التكاليف المباشرة ويمكن تلخيص كمية الطاقة المستخدمة لتشغيل كل نوع من هذه العمليات كالآتي:

١. تستهلك طريقة التناضح العكسي (SWRO) 4-6 كيلووات ساعة/متر مكعب (kWh/m^3) طاقة كهربائية أو ميكانيكية.

٢. تستهلك طريقة الغليان متعدد التأثير (MEB) طاقة حرارية في حدود 250-300 كيلوجول/كجم (kJ/kg) وتستهلك هذه الطريقة أيضاً طاقة كهربائية لتشغيل المضخات في حدود 2 كيلووات ساعة/ متر مكعب (kWh/m^3) ويمكن تقدير المكافئ الميكانيكي لمجموع الطاقة الحرارية والطاقة الكهربائية بمقدار 11كيلووات ساعة/ متر مكعب (kWh/m^3).

٣. تستهلك طريقة التبخير الفجائي متعدد المراحل (MSF) طاقة حرارية في حدود 250-300 كيلوجول/كجم كما تستهلك طاقة كهربائية لتدوير المضخات في حدود 4 كيلووات ساعة/متر مكعب (kWh/m^3)، ويقدر المكافئ الميكانيكي لمجموع الطاقتين بمقدار 21كيلووات ساعة/ متر مكعب (kWh/m^3).

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ومن خلال تقديرات كمية الطاقة المستخدمة السابقة يمكن تقدير تكلفة الطاقة اللازمة لإنتاج متر مكعب من المياه بالدولار ($/m^3) لكل من تقنيات التحلية المذكورة، وذلك عن طريق استخدام تقديرات مختلفة لتكلفة الطاقة المستخدمة لنوعين من محطات الطاقة والتي تم حسابها في الباب السابق.

أ. فعند استخدام محطات الطاقة التي تستخدم التوربينات الغازية/البخارية (الدورة المركبة) والتي تستخدم الوقود التقليدي تم حساب تكلفة الطاقة بحوالي 0.094 دولار لكل كيلووات ساعة ($/kWh)، ويمكن إيجاد تكلفة الطاقة اللازمة لإنتاج متر مكعب من المياه باستخدام محطات تحلية مختلفة كالتالي:

- تكلفة الطاقة اللازمة لإنتاج متر مكعب من المياه ($/m^3) بواسطة (MSF) $= 21 \times \frac{kWh}{m^3} \times 0.094 \frac{\$}{kWh}$

$$= 1.97 \frac{\$}{m^3}$$

- تكلفة الطاقة اللازمة لإنتاج متر مكعب من المياه ($/m^3) بواسطة (MEB) $= 11 \times \frac{kWh}{m^3} \times 0.094 \frac{\$}{kWh}$

$$= 1.034 \frac{\$}{m^3}$$

- تكلفة الطاقة اللازمة لإنتاج متر مكعب من المياه ($/m^3) بواسطة (SWRO) $= 6 \times \frac{kWh}{m^3} \times 0.094 \frac{\$}{kWh}$

$$= 0.564 \frac{\$}{m^3}$$

ب. وعند استخدام محطات الطاقة النووية التي تستخدم مفاعلات (AP600) أو (AP1000) تم حساب تكلفة الطاقة المستخدمة بحوالي 0.061 دولار لكل كيلووات ساعة ($/kWh)، تكون تكلفة الطاقة اللازمة لإنتاج متر مكعب من المياه باستخدام محطات تحلية مختلفة كالتالي:

- تكلفة الطاقة اللازمة لإنتاج متر مكعب من المياه ($/m^3) بواسطة (MSF) $= 21 \times \frac{kWh}{m^3} \times 0.061 \frac{\$}{kWh}$

$$= 1.28 \frac{\$}{m^3}$$

- تكلفة الطاقة اللازمة لإنتاج متر مكعب من المياه ($/m^3) بواسطة (MEB) $= 11 \times \frac{kWh}{m^3} \times 0.061 \frac{\$}{kWh}$

$$= 0.67 \frac{\$}{m^3}$$

- تكلفة الطاقة اللازمة لإنتاج متر مكعب من المياه ($/m^3) بواسطة (RO) $= 6 \times \frac{kWh}{m^3} \times 0.061 \frac{\$}{kWh}$

$$= 0.36 \frac{\$}{m^3}$$

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

مما سبق يتضح أن التحلية بطريقة التناضح العكسي عند استخدام الطاقة النووية هي الأكثر وفراً في تكلفة الطاقة السنوية المستهلكة في عملية التحلية إذا ما قورنت بطريقة التبخير الفجائي متعدد المراحل عند استخدام الطاقة التقليدية المتبعة في الكويت، فإذا كان الاستهلاك اليومي لمياه التحلية يقدر بحوالي 1.25 مليون متر مكعب يومياً فإن فرق تكلفة الطاقة هو:

$$1.25 \text{ Millions } \frac{m^3}{day} \times 365\ day \times \frac{\$}{m^3}\ (0.36 - 1.97) = 734.5 \text{ مليون دولار سنوياً}$$

ويبين الجدول 6 تقدير تكلفة رأسمال محطات التحلية من عدة دراسات منشورة، أهمها ما قام به (Reddy) [6].

جدول (6) تكاليف رأس المال والطاقة اللاّزمة لإنتاج متر مكعب من المياه بطرق تحلية مختلفة.

طريقة التحلية	RO	MEB	MSF
درجة حرارة التشغيل، ^oC	أقل من 45	أقل من 70	أقل من 120
متوسط استهلاك الطاقة، kWh/m^3	6	11	21
تكلفة الطاقة اللاّزمة لإنتاج متر مكعب من المياه باستخدام المحطة المركبة، $\$/m^3$	0.564	1.034	1.97
تكلفة الطاقة اللاّزمة لإنتاج متر مكعب من المياه باستخدام المحطة النووية $\$/m^3$	0.36	0.67	1.28
*تكلفة رأس المال، $\$/m^3$	750	850	900

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

قائمة الأشكال

شكل 1: رسم توضيحي لدورة البخار في المحطات المشتركة لإنتاج الطاقة الكهربائية ومياه التحلية في دولة الكويت .. ٨٢
شكل 2: رسم توضيحي لمحطة الزور المشتركة لإنتاج الطاقة الكهربائية وتحلية المياه وهذه المحطة تنتج 300 ميجاوات طاقة كهربائية و196 ميجاوات طاقة حرارية ٨٣
شكل 3: فرق الإنثالبي بين البخار الداخل والخارج من التوربين الذي يمثل الشغل النوعي للبخار على خريطة الإنثالبي – الإنتروبي للمحطات النووية والمحطات التقليدية ٨٦
شكل 4: مكان وضع فاصل الرذاذ وإعادة التسخين بين قطاعي الضغط المرتفع والضغط المنخفض للتوربين البخاري .. ٨٧
شكل 5: خط البخار على خريطة الإنثالبي – الإنتروبي عند تمدده من نقطة خروجه من مفاعل الماء الخفيف المضغوط إلى ضغط المكثف ٨٨
شكل 6: خط البخار على خريطة الإنثالبي – الإنتروبي عند تمدده من نقطة خروجه من مفاعل الماء المضغوط إلى ضغط 3 بار ثم إزالة الماء ودخول البخار المشبع عند ضغط 3 بار إلى التوربين وخروجه عند ضغط المكثف وكسر جفاف 88%..... ٩٠
شكل 7: خط البخار على خريطة الإنثالبي – الإنتروبي إذا خفض ضغطه بعد خروجه من المفاعل إلى 35 بار ثم جرى تمدده في قطاع الضغط المرتفع والضغط المنخفض في التوربين بحيث يبقى كسر الجفاف 88% أو أعلى طوال فترة تمدده إلى ضغط المكثف..... ٩١
شكل 8: خط البخار على خريطة الإنثالبي – الإنتروبي عند فصل الرذاذ وإعادة تسخين البخار عند ضغط متوسط بين ضغط الدخول وضغط المكثف ٩٢
شكل 9: فاصل الرذاذ ٩٣
شكل 10: رسم توضيحي لمبادل حراري يبين إعادة تسخين البخار بعد خروجه من قطاع الضغط المرتفع للتوربين ... ٩٣
شكل 11: تأثير عدد المسخنات الاسترجاعية على كفاءة وشغل دورة البخار ٩٥
شكل 12: دورة البخار عند استعمال مفاعل الماء المضغوط تبين فاصل الرذاذ وإعادة التسخين بعد قطاع الضغط المرتفع للتوربين ٩٦
شكل 13: تأثير كسر الجفاف الخارج من قطاع الضغط العالي للتوربين على كفاءة المحطة النووية ٩٩
شكل 14: التحلية بنظام التبخير الفجائي متعدد المراحل المستخدم في دولة الكويت ١٠١
شكل 15: طريقة التحلية بالتناضح العكسي ١٠٢
شكل 16: نظام التحلية بطريقة الغليان متعدد التأثير ١٠٤
شكل 17: دورة البخار عند استخدام توربين بخاري ذو ضغط خلفي لمحطة قوى نووية لتعمل بالمفاعل AP600 ..... ١٠٨
شكل 18: محطة مشتركة تعمل بالمفاعل AP600 وتستخدم توربين مكثف – سحب لتغذية البخار إلى محطة التحلية ١٠٩
شكل 19: تغير ضغط البخار عند نقط مختلفة من توربين بخاري عند تغير الحمل الكهربائي على التوربين ١٠٩
شكل 20: دورات فاصلة لتمنع تسرب أي مواد مشعة لدورة التحلية ١١٠

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

شكل 21: محطة تحلية تعمل بنظام الغليان متعدد التأثير بمبخرات رأسية ومفاعل تسخين نووي ١١١
شكل 22: محطة تحلية تعمل بنظام متعدد التأثير بمبخرات أفقية ومفاعل تسخين نووي ١١١
شكل 23: ربط دورة بخار مفاعل نووي بوحدات تحلية التناضح العكسي والتبخير الفجائي متعدد المراحل ١١٢
شكل 24: ربط مفاعل المـــاء الخفيف المضغوط بوحدة تحليـــة بالغليان متعـــدد التأثيـــر تعمل عند درجـــات حـــرارة منخفضـــة ١١٣
شكل 25: طريقة تبريد قطاع الضغط المنخفض للتوربين البخاري عند انخفاض الحمل الكهربائي واستمرار وحدة التحلية في سحب البخار ١١٥

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

قـــائمة الجداول

جدول (1) محطات الطاقة النووية الرئيسية في العالم ٨٠
جدول (2) بيانات المحطات المشتركة الرئيسية لإنتاج الطاقة الكهربائية وتحلية المياه بدولة الكويت ٨١
جدول (3) حالات البخار في محطات الطاقة النووية ومحطات الطاقة التقليدية ٨٤
جدول (4) حالة البخار عند نقاط الدورة الرئيسية في محطة الطاقة النووية (AP600) ٩٨
جدول (5) محطات التحلية العاملة بالطاقة النووية والمقترحة ١٠٦
جدول (6) تكاليف رأس المال والطاقة اللاّزمة لإنتاج متر مكعب من المياه بطرق تحلية مختلفة ١١٨

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

المراجـــع

1. M. A. Darwish, F. M. Al-Awadhi, Ali Akbar, and Ali Darwish. Alternative Primary Energy for Power-Desalting Plants in Kuwait: The Nuclear Option I. Desalination and Water Treatment. 1 (2009) 25-41.
2. M. A. Darwish, M. E. Eleshaky, Najem Al Najem, and Bader AlSheriaan. Alternative Primary Energy for Power-Desalting Plants in Kuwait: The Nuclear Option Part II: The Steam Cycle and its Combination with Desalting Units. Desalination and Water Treatment. 1 (2009) 42-57.
3. Status of Nuclear Desalination in IAEA Member States, International Atomic Energy Agency, Technical report IAEA-TECDOC-1524, January 2007.
4. Optimization of Seawater Desalination with 200 MW Nuclear Heating Reactor, ANNEX III in Optimization of the coupling of nuclear reactors and desalination systems, IAEA-TECDOC-1444, June 2005.
5. Nuclear power reactors in the world. IAEA, Vienna, June 2007. (IAEA-RDS-2/27).
6. K. V. Reddy. Review and evaluation of desalination cost and cost methodologies. International Journal of Nuclear Desalination. 2008- Vol. 3, No.1 pp.79-94.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

الباب الرابع

حادثة تشرنوبيل وإمكانية تكرارها

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

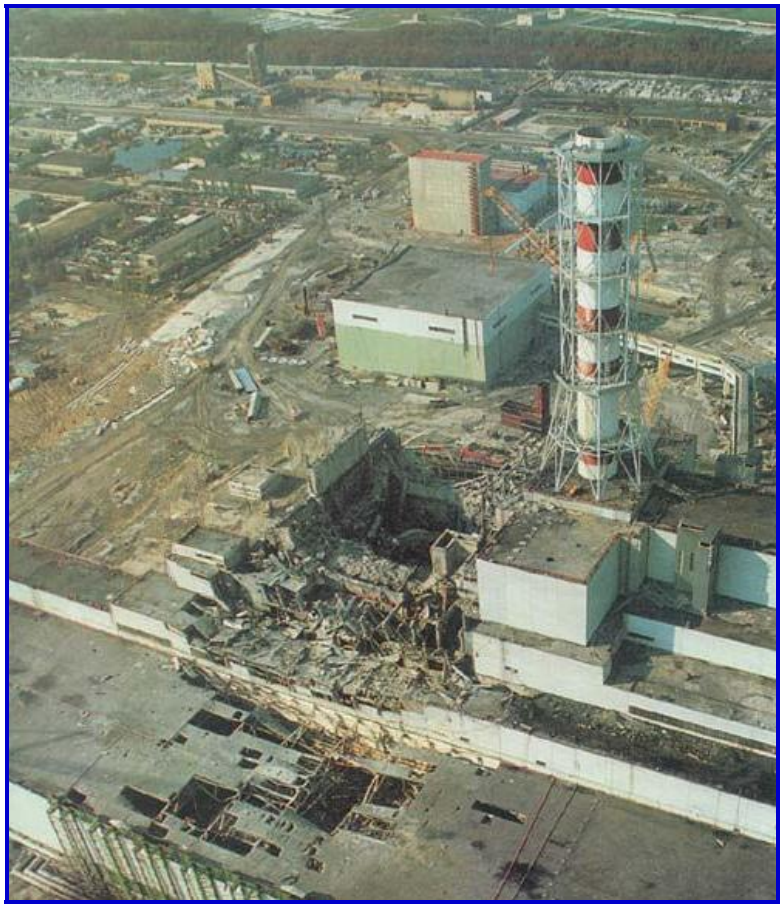
١. مقدمـــة

كانت محطة الطاقة النووية بمدينة تشرنوبيل تحتوي على أربعة مفاعلات (Nuclear Reactors) من نوع RMBK1000، قدرة كل منها واحد جيجاوات (1 GW)، أي قادرة على إنتاج ألف ميجاوات طاقة كهربائية (1000 MW)، وقد تم إنشاء المفاعل الأول عام 1976 والثاني عام 1978 والثالث عام 1981 والرابع عام 1983. وهذه المحطة المكونه من أربعة مفاعلات كانت حينذاك تنتج 10% من مجموع الطاقة الكهربائية في أوكرانيا، وكان هناك مفاعلان آخران من النوع نفسه قيد الإنشاء سعة كل منها ألف ميجاوات (1000 MW).

وفي تمام الساعة الواحدة و23 دقيقة و45 ثانية من صباح يوم السبت الموافق 26 إبريل عام 1986 حدثت زيادة في الطاقة الحرارية الناتجة من المفاعل رقم 4 أدت إلى انفجار شامل للمفاعل نتيجة ارتفاع ضغط البخار الذي مزق غطاء المفاعل، فكشف قلب المفاعل وانتشرت كميات كبيرة من حبيبات وغازات مشعة معظمها سيزيوم (Cesium) 137 وإسترونشيوم (Strontium) 90. كما أدى تمزق غطاء المفاعل إلى تعرض ما يقرب من 1700 طن من الجرافيت، الذي يستخدم كمهدئ (Moderator) للنيوترونات أثناء الانشطار، للهواء الجوي (الأوكسجين)؛ وبما أن الجرافيت يعد نوعاً من أنواع الفحم لذا فهو شديد الاحتراق الأمر الذي أدى إلى احتراقه وزيادة نسبة انطلاق الحبيبات المحملة بالإشعاع، ولم يكن هناك طريقة لاحتواء تلك المواد المشعة كالتي توجد في المفاعلات التجارية والتي تعمل بالماء الخفيف المضغوط أو بالغليان وتنتجها الولايات المتحدة وأوروبا واليابان. (انظر الصورة 1)

وقد دفعت حادثة تشرنوبيل الجمهور إلى التخوف الشديد من المحطات النووية. ولطمأنة المهتمين بهذا الشأن يجب توضيح أن هناك فروقاً أساسية بين مفاعل تشرنوبيل والمفاعلات التجارية التي ذكرت في الأبواب السابقة، مثل مفاعلات الماء الخفيف المضغوط (PWR) ومفاعلات الماء المغلي (BWR) وهذه الفروق تجعل تكرار ما حدث أمراً غير متوقع، بل يمكن القول إنه غير ممكن. وهذا ما سيوضحه هذا الباب مع ذكر ما حدث في مفاعل تشرنوبيل بالتفصيل. وقبل المضي في تفسير ما حدث قد يكون من المناسب إعطاء فكرة عن تركيب مفاعل تشرنوبيل (RBMK1000) وخصائصه [1].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

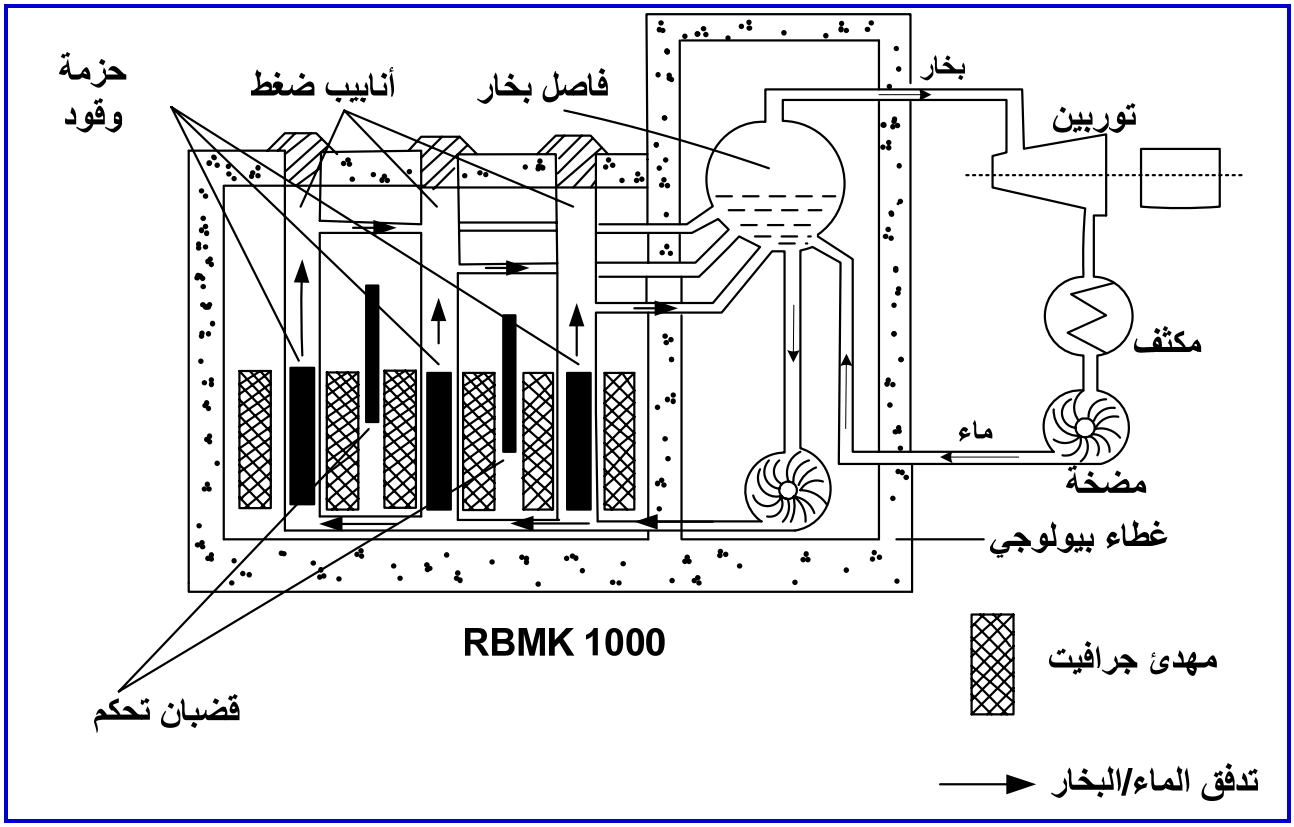


صورة 1: مفاعل تشرنوبيل رقم 4 بعد الحادثة [1].

٢. تركيب مفاعل تشرنوبيل وخصائصه

يستخدم المفاعل الروسي RBMK1000 الماء العادي لامتصاص الحرارة من الوقود النووي، مثل مفاعلات الماء الخفيف بالغليان (BWR)، ويمر ماء تبريد وقود المفاعل بسرعة وتحت ضغط مرتفع خلال أنابيب لنقل حرارة الانشطار، مثل مفاعلات الماء الثقيل المضغوط (PHWR)؛ كما يستخدم المفاعل الروسي مادة الجرافيت كمهدئ للنيوترونات (Moderator) مثل مفاعلات الجرافيت، وهذا التصميم مختلف وغريب ولا يوجد مثله في أيٍّ من محطات الطاقة النووية التي تستخدم المفاعلات التجارية المعروفة، إذ كان مكرساً إلى درجة كبيرة لإنتاج البلوتونيوم (plutonium) بغرض صناعة القنابل النووية وفي الوقت نفسه لإنتاج طاقة كهربائية وهو أول تصميم لمفاعل نووي يولّد طاقة كهربائية قام به الاتحاد السوفيتي (سابقاً). ويعرض الشكل 1 رسماً توضيحياً لمكونات مفاعل تشرنوبيل.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 1: رسم توضيحي لمكونات مفاعل تشرنوبيل [2].

وسنوجز فيما يلي شرح أهم مكونات هذا المفاعل وخصائصه:

أ. **الوقود:** كان الوقود المستخدم في مفاعل تشيرنوبيل هو ثاني أكسيد اليورانيوم بدرجة إثراء 2% U-235 (ويمكن لذلك استخدام اليورانيوم الطبيعي الفلزي بهدف تسهيل عملية إنتاج البلوتونيوم) والوقود على شكل أقراص صغيرة موضوعة داخل أنبوب من المادة المغلفة طولها 3.65 متر (شكل قضبان الوقود) ويمثل كل 18 قضيب وقود حزمة وقود، وتوضع حزم الوقود في قنوات من سبائك الزركلوي (أنابيب ضغط) طولها سبعة أمتار (840 قناة) حيث يجري تبريد كل قناة منها بضخ ماء عادي (خفيف) يسمح له بالغليان ويخرج عند درجة حرارة 290 درجة مئوية كما يمكن رفع أو إدخال أي حزمة وقود أثناء تشغيل المفاعل.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ب. **مهدئ النيوترونات:** يتكون مهدئ النيوترونات في مفاعل تشرنوبيل من كتل من الجرافيت تعمل على تهدئة النيوترونات حتى تتمكن نوَّى اليورانيوم من الإمساك بها ليزيد الانشطار. ويزيد من انتقال الحرارة بين هذه الكتل خليط من النيتروجين والهيليوم. ويوجد في كتل الجرافيت ثقوب تمر فيها الأنابيب التي توضع فيها قضبان الوقود (انظر شكل 1)، ويمر ماء التبريد بسرعة خلال هذه الأنابيب لنقل حرارة الانشطار إلى هذا الماء، حيث يعمل الماء هنا كناقل للحرارة وليس لتهدئة النيوترونات، إذ يقوم الجرافيت بذلك.

ومن ناحية أخرى، فإن ماء التبريد يقوم بامتصاص بعض النيوترونات، وبالتالي يتناقص عدد النيوترونات المتاحة التي ترتطم بذرة اليورانيوم (U235) حيث يعمل الماء كمُسَمِّم (poison) لأنه يؤدي إلى تقليل أو تسميم الانشطار المتسلسل.

ج. **ماء تبريد قلب المفاعل:** هناك دورتان منفصلتان لتبريد المفاعل كل واحدة منهما تعمل بواسطة أربع مضخات لمرور الماء خلال القنوات أو الأنابيب التي تحوي قضبان الوقود لامتصاص كمية الحرارة المتولدة من الوقود. وهناك دورة تبريد طوارئ أخرى تقوم بالعمل إذا توقف العمل بإحدى دورات التبريد.

د. **قضبان التحكم:** تُصنع من كاربيد البورون (Boron Carbide) وتقوم بامتصاص النيوترونات للتحكم في كمية الانشطار النووي وعددها 211 قضيباً. ويدخل عدد قليل من قضبان التحكم القصيرة من قاع المفاعل إلى أعلاه، وأما العدد الرئيسي من قضبان التحكم فيجري إدخاله من أعلى المفاعل إلى أسفله، وهي طريقة لوقف المفاعل في حالات الضرورة إما يدويا أو أوتوماتيكيا.

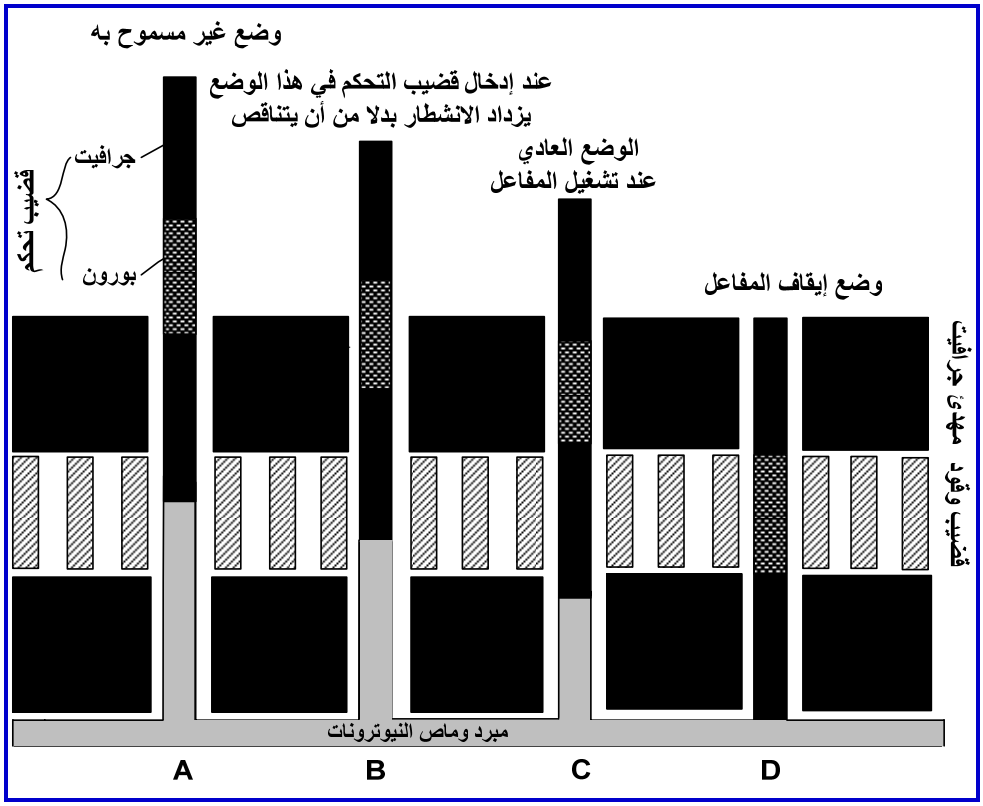
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ويلاحظ في تصميم قضبان التحكم لمفاعل تشرنوبيل والموضحة في الشكل 2، أن كل قضيب يحتوي على:

- جزء علوي وجزء سفلي مصنعين من الجرافيت الذي يعمل كمهدئ للنيوترونات حتى تزداد عملية الانشطار.
- جزء أوسط مصنوع من البورون، وهو الجزء الفعال الذي يقوم بتقليل أو إيقاف الانشطار النووي عن طريق امتصاص النيوترونات.

وفي حالة إيقاف المفاعل يكون قضيب التحكم في الوضع (D) بحيث يكون البورون في مستوى قضبان الوقود وبالتالي يمتص النيوترونات ويمنع الانشطار النووي.

أما عند تشغيل المفاعل، فيكون قضيب التحكم في الوضع (C)، حيث يكون الجرافيت في مستوى قضبان الوقود ويقوم بتهدئه النيوترونات ليتم الانشطار النووي.



شكل 2: رسم يوضح أوضاع قضبان التحكم في مفاعل تشرنوبيل.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ويرجع سبب انفجار مفاعل تشرنوبيل إلى حدوث انخفاض في كمية الحرارة الناتجة من الوقود بسبب وجود مسممات للانشطار النووي من الغازات مثل الزينون، وعندها يجري سحب قضيب التحكم إلى الوضع A (وهو وضع غير مسموح به) ليزيد الانشطار النووي. لقد كان من المفروض الانتظار في حالة وجود مسممات لعملية الانشطار حتى تختفي هذه المسممات مع الوقت. وقد أدى وضع قضيب التحكم في الوضع A إلى زيادة الانشطار النووي بدرجة كبيرة، فتقرر إدخال قضيب التحكم ليكون في وضع إيقاف المفاعل D؛ ولكن أثناء إدخال قضيب التحكم لتقليل (أو إيقاف) عملية الانشطار من الوضع A إلى الوضع B في اتجاه ايقاف المفاعل (الوضع D) تقابل جزء الجرافيت من قضيب التحكم مع قضبان الوقود أولاً، ثم تعثرت عملية الإدخال (نتيجة اعوجاج قضيب التحكم من الحرارة الشديدة)، ولأن الجرافيت مهدئ للنيوترونات ومنشط لعملية الانشطار (لأنه لا يمتص النيوترونات) زادت عملية الانشطار (بدلاً من تناقصها) وزادت طاقة الانشطار الناتجة.

والمعروف أن هناك أسباباً تجعل هذا النوع من المفاعلات غير مستقرة نتيجة التصميم، خصوصاً عند إنخفاض مستوى الطاقة كما حدث في تشرنوبيل. والسبب الأساسي لعدم الاستقرار هو:

- تصميم قضبان التحكم
- المعامل الموجب للبخار في قنوات التبريد أي أن زيادة وجود البخار يؤدي إلى زيادة الانشطار وبالتالي زيادة إنتاج المفاعل من الطاقة الحرارية.

٣. الفروق الأساسية بين مفاعل تشرنوبيل والمفاعلات التجارية التي تعمل بالماء الخفيف المضغوط أو الماء المغلي:

١. تستخدم المفاعلات التجارية التي تعمل بالماء الخفيف المضغوط أو بالماء المغلي، اليورانيوم المثري الذي تكون نسبة اليورانيوم U-235 فيه نحو 3% من الوزن، ويستخدم الماء الخفيف كمهدئ Moderator للنيوترونات حتى يتمكن اليورانيوم U-235 الإمساك بها وبدء عملية الانشطار. ويعمل مفاعل تشرنوبيل بوقود قليل الإثراء حوالي 2% U-235 وقد استخدم كذلك في هذا المفاعل اليورانيوم الطبيعي الذي يحتوي على حوالي 0.7% U-235. ولهذا يُستَخدم الجرافيت كمهدئ للنيوترونات، حيث يقوم بتقليل سرعة النيوترونات أكثر بكثير من الماء الخفيف كي

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

يتمكن نظير اليورانيوم U-235 بنسبته الضئيلة في اليورانيوم الطبيعي (مقارنة بالوقود النووي المثري) من الإمساك بالنيوترونات لتستمر عملية الانشطار النووي في اليورانيوم الطبيعي (وهو ما حدث في أول قنبلة نووية تم تطويرها بالولايات المتحدة).

٢. يجري نقل الحرارة المتولدة من الانشطار في المفاعلات التجارية، التي تستخدم الوقود المثري في مفاعلات الماء الخفيف المضغوط، بواسطة ماء الدورة الأولية الذي يُضخ تحت ضغط مرتفع فيتلامس مع ربطات الوقود النووي الموجودة في قلب المفاعل والمغمورة تماماً بالماء. ثم تنتقل هذه الحرارة من الدائرة الأولى إلى الدائرة الثانية في المولد البخاري فيتولد البخار الذي يدير التوربين البخاري وهذا بدوره يدير المولد الكهربائي، كما ذكرنا في الباب السابق؛ في حين أنه في مفاعلات الماء المغلي يجري تبخير جزء من الماء عند مروره على الوقود النووي ثم يفصل البخار من خليط الماء (بخار–سائل) ليُدير التوربين البخاري.

وأما مفاعل تشيرنوبل، فيستخدم الماء العادي لامتصاص الحرارة من الوقود النووي مثل مفاعلات الماء المغلي، ويمر الماء تحت ضغط مرتفع في أنابيب لنقل حرارة الانشطار مثل مفاعلات الماء الثقيل المضغوط، حيث يتحول الماء إلى بخار مشبع درجة حرارته 295 درجة مئوية ثم يجري فصل رذاذ الماء السائل عنه ليتجه البخار إلى التوربين فيديره.

٣. يستخدم الماء كمهدئ للنيوترونات في مفاعلات الماء الخفيف التجارية، وعند فقدان هذا الماء نتيجة حادث ما يتوقف الانشطار المتسلسل؛ أي يتوقف الاستمرار في إنتاج حرارة الانشطار، إذ إنه ليس هناك انشطار متسلسل من دون مهدئ وهو الماء في هذه الحالة.

أما في مفاعل تشرنوبيل، فتستخدم كتل من الجرافيت كمهدئ للنيوترونات، وتكون هذه الكتل موجوده بشكل دائم، ولا يتوقف الانشطار إلاّ عند وجود قضبان التحكم في وضعها الصحيح لامتصاص النيوترونات. وإذا حدث نقص في كمية الماء (الذي كان يعمل كمسمم أو مبطئ لعملية الانشطار) تزداد عملية الانشطار النووي (ومن ثم كمية الحرارة المتولدة). وفقدان الماء أمر خطير جداً.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٤. إذا ازداد الانشطار النووي في مفاعلات الماء الخفيف التجارية، تزداد درجة حرارة الماء إلى درجة الغليان، فيعمل البخار الناتج كحاجز بين الوقود والماء مما يقلل من عمل الماء كمهدئ للنيوترونات، وبالتالي يقلل الانشطار النووي وتقل درجة حرارة الماء، ويعتبر ذلك من مزايا الأمان في مفاعلات الماء الخفيف. ولهذا تسمى هذه المفاعلات بالمفاعلات المستقرة عند زيادة درجات الحرارة (Stable Reactors). لذا فإن أي زيادة في درجة حرارة ماء تبريد الوقود (نتيجة حدوث فشل لأي جهاز أو عند حدوث أي كسر) تقل عملية الانشطار النووي، وبالتالي تقل درجة الحرارة من دون أي تدخل من المشغلين.

ويختلف الوضع تماماً في مفاعل تشرنوبيل، فإذا ازدادت درجة حرارة الماء نتيجة لزيادة الانشطار النووي ترتفع درجة حرارة الماء مما يؤدي إلى غليانه، وعندها يقل التَسمُم النووي نتيجة عدم امتصاص الماء للنيوترونات فيتسارع الانشطار النووي وتزيد كمية الحرارة المتولدة. وهكذا لن يكون المفاعل مُستقراً بالنسبة إلى درجة الحرارة، إذ تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة إضافية في كمية الحرارة المتولدة وبالتالي تستمر الزيادة في درجة الحرارة وكمية الحرارة المتولدة. لذا يجب على المشغلين اتخاذ الإجراءات اللازمة منعاً لكون المفاعل غير مستقر عند زيادة درجة الحرارة.

٥. وتعد مفاعلات الماء الخفيف التجارية أكثر أماناً من مفاعل تشرنوبيل لأن الغرض الأساسي منها هو توليد الطاقة الكهربائية، بينما الغرض الأساسي من مفاعل تشرنوبيل هو إنتاج البلوتونيوم لتصنيع القنابل النووية. ويلاحظ أن كمية البلوتونيوم الناتجة من الإنشطار تزيد بزيادة نسبة U-238 إلى U-235، وبالتالي ينتج هذا النوع من المفاعلات، التي تستخدم يورانيوم طبيعي، كميات بلوتونيوم أكبر بكثير من مفاعلات الوقود المثري.

٦. ولا يمكن بقاء الوقود داخل مفاعل تشرنوبيل أكثر من ثلاثين يوماً، في حين يجري تغيير الوقود في مفاعلات الماء الخفيف كل عامين أو ثلاثة. كما أن تغيير الوقود في مفاعلات الماء الخفيف يجري بسحب حزمة أو أكثر من حزم الوقود التي تحتوي على قضبان كثيرة من الوقود بينما تُغيَّر قضبان الوقود في مفاعل تشرنوبيل كُلٍ على حدة، وقد كان عدد قضبان الوقود 1700 قضيباً وكانت عملية التغيير تجري من دون إيقاف المفاعل.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٧. تحاط مفاعلات الماء الخفيف التجارية بمبنى خرساني واق مبطن بألواح من الصلب ومقاوم للضغط ومانع لتسرب الإشعاعات (يسمى مبنى احتواء الإشعاعات)، بينما لم يكن ذلك موجودا في مفاعل تشرنوبيل، لأن تغيير قضبان الوقود في مفاعل تشرنوبيل يحتاج إلى فضاء متسع ونشاط زائد مما جعل بناء مبنى واق حول المفاعل أمراً غير عملي.

لذا فقد اقتصر الاحتواء (أو الوقاية) من الإشعاعات فقط حول الأنابيب التي تمر عبرها قضبان الوقود وليس المفاعل ككل. وقد أجمع الخبراء أنه لو أحيط مفاعل تشرنوبيل بمبنى احتواء مثل مباني الحماية، التي تقام حول مفاعلات الماء الخفيف التجارية لما خرجت الحبيبات والغازات المشعة إلى الجو.

٤. كارثة تشرنوبيل

يوضح هذا الجزء الظروف التي أحاطت بمفاعل تشيرنوبل قبل حصول الكارثة. من المعروف عند حدوث قطع للتيار الكهربائي الخارجي لأي سبب من الأسباب، يتم توقيف المفاعل آليا (Scram) وذلك عن طريق إدخال قضبان التحكم إلى داخل المفاعل ليتوقف الانشطار النووي كما سبق شرحه. غير أنه يجب استمرار تبريد المفاعل حتى عندما يتوقف الانشطار النووي، لأن وقود المفاعل يستمر في إطلاق حرارة التلاشي (Decay Heat) والتي تبلغ من 1 إلى 2% من الحرارة الكلية.

ولضمان استمرار تبريد المفاعل لفترة كافية بعد إيقافه لامتصاص حرارة التلاشي المتولدة بعد الإيقاف يجب ضخ كميات هائلة من المياه تقدر بنحو 28 طن من الماء في الساعة تمر خلال كل قناة بها قضيب وقود لخفض درجة حرارة قضبان الوقود ضماناً لأمان وسلامة قلب المفاعل، الذي يوجد فيه 1700 قناة في كل واحدة منها قضيب وقود.

ولذلك كان في مفاعل تشرنوبيل ثلاثة مولدات ديزل كهربائية إحتياطية لإدارة مضخات دورة التبريد عند توقفه. وهذه المولدات تتطلب من 60 إلى 75 ثانية أو أكثر للوصول إلى كامل طاقتها الاسمية التي تبلغ نحو 5.5 ميجاوات (MW) والتي تستخدم لإدارة جميع مضخات دورة تبريد المفاعل عند انقطاع التيار الكهربائي الخارجي. وقد اعتبر مهندسو المحطة أن المدة اللازمة لإدارة وحدات الديزل لتشغيل مضخات

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

التبريد فترة طويلة لا ينبغي توقف المضخات خلالها. ولذلك تم اقتراح إجراء تجربة للتأكد من تبريد قلب المفاعل مباشرة بعد إيقاف عمله في حالة الطوارئ عن طريق استغلال الطاقة الميكانيكية الناتجة من استمرار دوران التوربين لدقائق (بسرعة منخفضة نسبياً) بعد توقف المفاعل عن توليد الكهرباء لتشغيل مضخات تبريد المفاعل الرئيسية. ونظراً لتغير فولتية المولد الكهربائي عند انخفاض سرعة التوربين فقد تقرر إجراء تجربة استخدام جهاز لتنظيم الفولتية حتى تتزود محركات مضخات التبريد بتيار كهربائي ثابت الفولتية أثناء خفض سرعة التوربين لاستمرار تشغيل هذه المضخات لدقائق معدودة حتى يتم وصول مولدات الديزل إلى حملها الكامل.

وقد تقرر إجراء التجربة المقترحة على أن يقوم المفاعل أولاً بإدارة التوربين والمولد ثم يوقف المفاعل فتنخفض سرعة التوربين، وعندها يزود من المولد تيار كهربائي ثابت الفولتية وذلك أثناء خفض السرعة لتشغيل المضخات وقد سارت الأمور كما يلي:

١. في الواحدة من بعد ظهر يوم الجمعة الموافق 25 إبريل، بدأت تجربة إيقاف المفاعل. ورأى المشغّلون أن يتحكموا بأنفسهم في المفاعل بدلاً من التحكم التلقائي وتم بالفعل فصل نظام التحكم التلقائي لتبريد المفاعل في حالة الطوارئ في الساعة الثانية بعد الظهر (وهو أمر لم يكن مسموحاً به).
٢. دعت الحاجة إلى تحميل المفاعل، فتأجلت التجربة حتى الحادية عشر مساءً من اليوم نفسه.
٣. حين بدأ خفض طاقة المفاعل من 1600 ميجاوات حراري (MW_t) إلى المستوى المطلوب لإجراء التجربة وهو 700 ميجاوات حراري (MW_t) جرى هذا الخفض بسرعة كبيرة مما أدّى إلى تسميم المفاعل (أي وجود مقدرة كبيرة في ماء التبريد لامتصاص النيوترونات التي تؤدي إلى إبطاء الانشطار النووي نتيجة لتسمم الماء بالنيوترونات) فتناقصت طاقة المفاعل كثيراً إلى 300 ميجاوات حراري (MW_t) بدلا من 700 ميجاوات حراري (MW_t). وحسب قواعد التشغيل، يمنع التشغيل عند مستوى منخفض أقل من 700 ميجاوات حراري (MW_t)، إذ إن التشغيل عند هذه المستويات المنخفضة شديد الخطورة. وكان من المفروض إيقاف المفاعل، ولكن المشرفين على التجربة تجاهلوا هذا الأمر واستمروا في التجربة.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٤. ولزيادة قدرة المفاعل إلى المستوى المطلوب وهو 700 ميجاوات حراري جرى سحب معظم قضبان التحكم حتى بعد مستويات الأمان المحددة.

٥. في الساعة 1:05 من صباح يوم السبت الموافق 26 إبريل، جرى تشغيل مضخات إضافية كجزء من التجربة بواسطة مولد التوربين البخاري عند انقطاع التيار الكهربائي الخارجي، وبالتالي فإن كميات المياه التي تم ضخها بدرجة كبيرة عند مستوى منخفض زادت من طاقة المفاعل؛ وهذا إجراء غير مسموح به حسب قواعد التشغيل، لأن الماء مسمم للانشطار النووي. وقد خفض ذلك القدرة أكثر فجرى سحب قضبان التحكم أكثر لزيادة الانشطار، وعندها صار الموقف خطيراً جداً إذ ان فقدان الماء في هذه الحالة سيجعل المفاعل في حالة حرجة جداً، فطاقته ستتضاعف في كل ثانية. وقد أدى تجاهل هذا الأمر من قبل المشغلين إلى حدوث الكارثة.

٦. عند الساعة 1:22، تم إيقاف سريان الماء من دون إدخال قضبان التحكم وفي الساعة 1:22:30، نبه الحاسوب العاملين إلى أن المفاعل أصبح خطراً ويجب إيقافه فوراً ولكن المشغل تجاهل ذلك.

٧. وعندما توقف سريان الماء بدأ تبخر الماء في المفاعل مما أدى إلى تقليل تسميم المفاعل وتسارع الانشطار النووي، وكان من المفروض إدخال قضبان التحكم بالكامل إلى قلب المفاعل.

٨. وفي الساعة 1:23:40، تم إعطاء الأمر بإدخال قضبان تحكم الطوارئ، ولكن هذا الإدخال بطيء بطبيعته كما لم يتمكن المشغلون من إدخالها بسبب التلف الذي حدث لقلب المفاعل نتيجة ارتفاع درجة الحرارة والذي أدى إلى اعوجاج قضبان التحكم ومن ثم إلى زيادة الانشطار. وقد بلغت كمية الحرارة الناتجة أعلى مئة مرة من كمية الحرارة المحددة في تصميم المفاعل.

٩. أدى الارتفاع الرهيب في درجة الحرارة ($3000^{o}C$) إلى إسالة وتبخير كثير من الأشياء، كما أدى الارتفاع في درجة الحرارة إلى تفاعل الماء مع بعض المعادن وإطلاق غاز الهيدروجين السريع الاشتعال. (انظر صور 2-4 للمفاعل بعد الانفجار)

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

صورة 2: منظر من الجو لانفجار البخار في مفاعل تشرنوبيل 4 [1].

صورة 3: قطع الجرافيت التي قذف بها انفجار المفاعل وتبين القطعة الكبيرة من الجرافيت (الذي يعمل كمهدئ) ويظهر فيها أحد ممرات قضبان التحكم [1] .

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

صورة 4: مفاعل تشرنوبيل 4 بعد تغطيته بالخرسانه [1].

١٠. وعند الساعة 1:24 صباحاً حدث الانفجار، والملاحظ هنا أن هذا الانفجار كان نتيجة زيادة الضغط داخل المفاعل، كما يحدث عند انفجار مولد بخاري عادي؛ وليس مماثلاً لما يحدث في القنابل النووية، لأن الانفجار النووي يتطلب وجود نسبة كبيرة من اليورانيوم المثري والتي لم تكن موجودة في هذه الحالة.

وكانت المشكلة بعد الانفجار هو وقف الحريق، وقد وصل رجال الإطفاء في الساعة 1:30 وتم إخماد معظم الحرائق في الساعة 4:54 وتم الإخماد التام في الساعة الخامسة صباحاً.

١١. وقد بدأ رجال الإطفاء إخماد النار بصب الماء، ولكن ذلك لم ينجح في إطفائها فتقرر إسقاط مواد الإطفاء من طائرة هليوكوبتر، وقد تم إسقاط 5000 طن من البورون والأحجار والرمل والرصاص على موقع المفاعل بدءاً من 28 إبريل وحتى 2 مايو. وكان سبب إسقاط البورون هو امتصاص النيوترونات ووقف احتمال حدوث انشطار، كما أن الرصاص يتحول إلى سائل بسرعة، وبالتالي يغطي ما تبقى من المفاعل ويمنع عنه الأوكسجين (الهواء) لإيقاف الحريق.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٥. أهم أسباب كارثة تشرنوبيل

يمكن حصر أسباب هذه الكارثة في سببين رئيسيين، الأول أخطاء بشرية حدثت أثناء التشغيل؛ ويرجع الثاني إلى أخطاء كانت موجودة في تصميم المفاعل نفسه ، كما سبق بيانه وسيتم توضيحه فيما يلي:

١. لا شك أن مشغلو المفاعل خالفوا قواعد التشغيل التي وُضعت حسب تصميم المفاعل، كما أنهم تجاهلوا متطلبات الأمان. وليس أدل على ذلك من أن نظام تبريد قلب المفاعل التلقائي في حالة الطوارئ تم توقيفه تماماً قبل الحادث، واستمرار محاولة تشغيل المفاعل عندما كانت قدرته 28% لعدم استقراره عند الطاقة المنخفضة. ولا شك في أن مَردُّ ذلك هو عدم إلمام مشغلي المفاعل بقواعد وفيزيائية المفاعل وعدم تدريبهم جيداً.

وتعتبر هذه الكارثة درس مهم في تشغيل المفاعلات النووية، حيث يعتبر التدريب الجيد للعاملين والتزامهم الصارم بالتعليمات من الضروريات القصوى لتفادي أي أخطاء كارثية في هذا المضمار.

٢. لا شك أيضا أن هناك عيوباً في التصميم أدت إلى الكارثة، مثل زيادة قدرة المفاعل عند زيادة البخار فيه (مما يزيد الحرارة الناتجة وكمية البخار، فيكون المفاعل غير مستقر) وهذا التصميم غير متبع في المفاعلات التجارية الحديثة سواءً الأمريكية منها أوالأوروبية.

٣. كان تصميم قضبان التحكم التي يتم إدخالها إلى المفاعل لتقليل الانشطار، سيئاً للغاية إذ يتكون من جزء أوسط مُصنع من كاربيد البورون (ممتص للنيوترونات) وجزئين علوي وسفلي مُصنعين من الجرافيت (مهدئ للنيوترونات). وبالتالي عند إدخال قضيب التحكم من أعلى إلى أسفل بهدف مقابلة الجزء الأوسط من قضيب التحكم (كاربيد البورون) لقضيب الوقود لتقليل الانشطار يتقابل الجزء السفلي من قضيب التحكم المصنع من الجرافيت (مهدئ النيوترونات) مع قضيب الوقود أولاً مما يؤدي لزيادة الانشطار وعند مواصلة إدخاله يتقابل وسط قضيب التحكم مع قضيب الوقود فيقل الانشطار.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

وقد أدت حادثة تشرنوبيل إلى إضافة تعديلات على جميع المفاعلات المماثلة لمفاعل شرنوبيل (RMBK) والعاملة في أوكرانيا وفي بعض البلدان الأخرى وأهم هذه التعديلات:

- تغيير جميع قضبان التحكم وذلك بزيادة الجزء الفعال والمصنوع من كاربيد البورون.
- زيادة نسبة تخصيب اليورانيوم لتزيد نسبة اليورانيوم (U-235) من 1.8% إلى 2.4% مما يجعل المفاعل أكثر استقراراً عند الطاقة المنخفضة.
- تسريع عملية التوقف التلقائي للمفاعل وتحسين الأمان فيه.

لقد بينت الدراسات الدولية أن تكرار كارثة مثل كارثة تشرنوبيل، أصبحت مستحيلة بعد هذه التعديلات التي أجريت. وقد تقرر تأكيد الضوابط التي وضعتها الولايات المتحدة والدول الغربية لمنع حدوث أي حوادث نووية بهذا الحجم وأهم هذه الضوابط هو:

١. عدم الترخيص لأي نوع من المفاعلات التي قد تؤدي أي ظروف فيها إلى تكرار حادثة تشرنوبل، كأن:

   أ. تصبح غير مستقرة إذا فقدت الماء.

   ب. تصبح غير مستقرة عند زيادة درجة الحرارة.

   ج. لا يكون لها مبناً واقياً محيط بها.

٢. لا يسمح بإجراء تجربة على المفاعل من دون دراسة تفصيلية جيدة مسبقة وبوجود خبراء في طبيعة عمل المفاعلات.

٣. إذا ما حدث انتشار لمواد مشعة فيجب احتواؤها بالمفاعل ومنعها من الخروج إلى الجو.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٦. حوادث المفاعلات النووية

على الرغم من وجود أكثر من 12700 مفاعل.عام في 32 دولة، إلاّ أنه لم تحدث في محطات الطاقة النووية خلال الخمسين عاماً الماضية سوى حادثتين كبيرتين هما:

١. حادثة مفاعل جزيرة ثري مايل أيلاند التجاري (Three Mile Island) عام 1979 حيث أُتلف نصف قلب المفاعل بانصهاره، ولكن تم احتواء المواد المشعة و لم ينصرف أي منها إلى الجو كما أنه لم تحدث أي إصابات بشرية.

٢. حادثة مفاعل تشرنوبيل عام 1986 وهو مفاعل غير تجاري و لم تستعمل مفاعلات مثله خارج الاتحاد السوفييتي سابقاً. فقد حدث انفجار البخار في هذا المفاعل ثم تبعه حريق كبير في الجرافيت مما أسفر عن مقتل 31 شخصاً بالإضافة إلى التلوث الإشعاعي للجو الذي انعكس على صحة الناس، ووصل عدد القتلى إلى 56 شخصاً.

ويبين جدول 1 عدد الحوادث التي تعرضت لها محطات الطاقة النووية وبعض محطات الطاقة التقليدية وعدد الوفيات في هذه الحوادث.

جدول (1) مقارنة الحوادث التي حدثت بمحطات الطاقة الكهربائية حسب الطاقة الأولية المستخدمة [4]

نوع الوقود المستخدم	عدد الوفيات الفورية (1972-1992)	من هم ؟	عدد الوفيات لكل تيراوات–عام طاقة كهربائية*
الفحم	6400	عمال	342
غاز طبيعي	1200	عمال وأناس عاديين	85
محطات هيدروليكية	4000	أناس عاديين	883
وقود نووي	31	عمال	8

* مليون ميجاوات طاقة كهربائية منتجة لمدة عام.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

وتجدر الإشارة هنا إلى الآتي:

١. خلال تشغيل أكثر من 12,700 مفاعل.عام من التشغيل المدني للمفاعلات، منذ عام 1960 حتى الآن (انظر شكل 3) لم يقع أي حادث تعرضت فيه عامة الناس إلى إشعاع أكبر من الإشعاعات الطبيعية التي نتعرض لها، سوى حادث شرنوبيل. كما لم يتعرض أي شخص من العاملين بالمفاعلات النووية لتوليد الكهرباء – باستثناء حادث تشرنوبيل– إلى الوفاة نتيجة تعرضه للإشعاع.

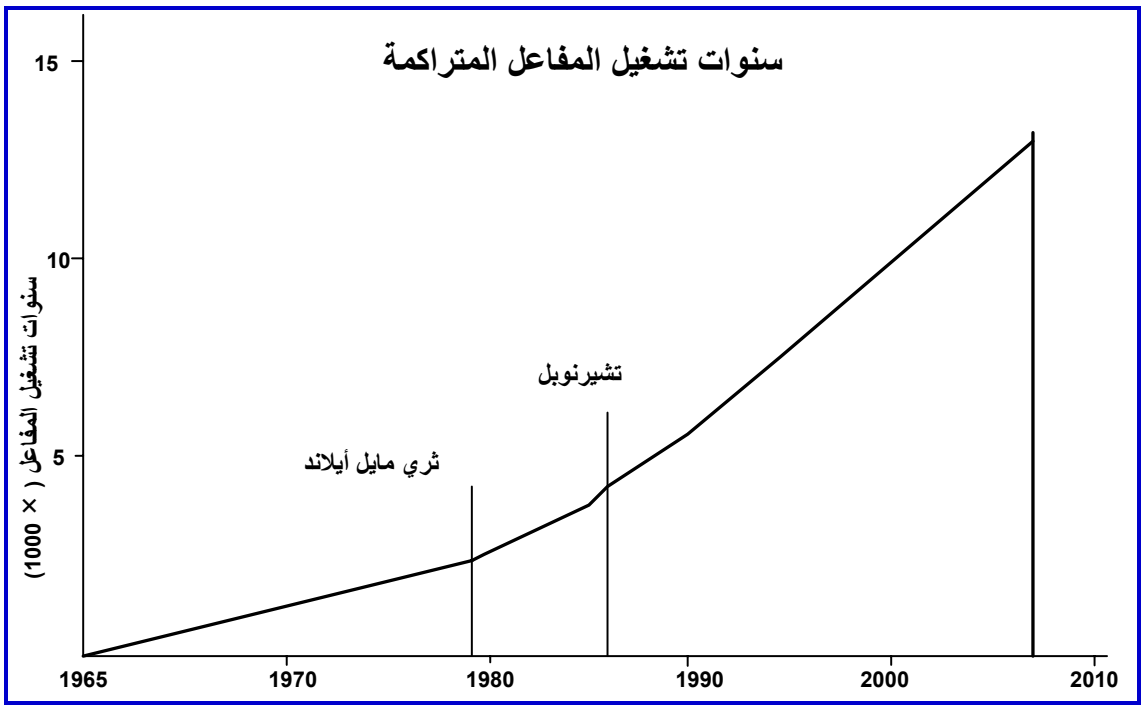
٢. من المستحيل أن ينفجر مفاعل تجاري تحت أي ظرف نتيجة انشطار نووي متسلسل كما يحدث في القنابل النووية إذ أن تصميمها يمنع ذلك تماماً.

٣. يتطلب حدوث انشطار نووي متسلسل بدون تحكم في القنابل النووية أن تكون نسبة اليورانيوم (U-235) شديد الإثراء نحو 90% أي أكثر بكثير من النسبة الموجودة في اليورانيوم المثري المستعمل في المفاعلات التجارية والتي تقدر بنحو 4%.

٤. تصميم مفاعلات القوى النووية الحديثة يضمن سلامة هذه المفاعلات أثناء التشغيل وحتى عند وقوع أي حادث نتيجة خطأ في التشغيل.

٥. بينت وكالة هيئة الرقابة النووية الأمريكية (US Nuclear Regulatory Commission) أن احتمال حدوث انصهار لقلب المفاعل في المفاعلات القديمة أصبحت واحد في المليون وفي المفاعلات الحديثة واحد في كل 10 مليون. ولم يكن الأمان في المحطات النووية وليد الصدفة، فهو نتيجة دراسات وتجارب جادة طوال خمسين عاماً لمواجهة أخطار تسرب المواد المشعة ومنع احتمال حدوث انشطار نووي خارج عن نطاق السيطرة.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل 3: عدد المفاعلات مضروباً في عدد السنوات منذ بدأ تشغيل المحطات النووية [3].

٥. الأمان في تصميم المفاعلات لمحطات الطاقة النووية

عند تصميم مفاعلات الطاقة النووية الحديثة يؤخذ في الحسبان تعدد نُظم الأمان بدءً باستخدام أجهزة مجربة عالية المعولية (high reliability) وذات احتمالات منخفضة في مشكلات التشغيل. كما يؤخذ في الاعتبار هامش أمان كبير في التصميم وفي اختيار المواد، إلى جانب استخدام نُظم متعددة للكشف عن المشكلات والتحكم في التشغيل عند حدوث تلف أو تسرب مواد مشعة أوحتى عند حدوث أي انصهار للوقود، بحيث يتم احتواء المواد المشعة داخل المفاعل نفسه.

ويجب وضع سلسلة من نُظم الأمان، مع بدائل لكل منها لمواجهة أي أخطاء قد تحدث من قبل المشغلين. وتشمل نُظم الأمان وضع سلسلة من الحواجز بين قلب المفاعل (مصدر الإشعاعات) وبين الجو المحيط.

وكمثال للحواجز التي تؤمن عدم انتشار المواد المشعة من الوقود، يوضع عدد من أقراص الوقود (أكسيد اليورانيوم) الصغيرة في أنبوب مصنوع من سبائك الزركونيوم ليكون قضيب وقود. ويتم احتواء قضبان الوقود في وعاء ضغط من الصلب (جسم المفاعل) يصل سمكه إلى 30 سم على الأقل. غير أن أهم عوامل

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

الأمان هو معامل درجة الحرارة السالب (أو معامل البخار السالب)؛ وهذا يعني أن زيادة درجة الحرارة يؤدي إلى انخفاض الانشطار النووي. كما أن زيادة درجة الحرارة تؤدي إلى تكوّن بخار مما يوقف وظيفة الماء كمهدئ للنيوترونات. وبالتالي، تقل عدد النيوترونات التي تسبب الانشطار فينخفض هذا الانشطار ودرجة الحرارة تلقائية [5].

وبجانب قضبان التحكم التي يتم انزالها إلى قلب المفاعل لتمتص النيوترونات وتقلل (أو توقف) الانشطار النووي، هناك نظام تبريد طوارئ لقلب المفاعل يعمل على امتصاص كمية الحرارة الزائدة التي قد تؤدي إلى تلف قلب المفاعل. كما أن هناك نُظم تعمل بطريقة طبيعية وتلقائية عند حدوث خلل فتوقف المفاعل. وقد كان هناك تخوف دائم من احتمالية فقدان ماء تبريد المفاعل نتيجة وجود كسر في الأنابيب؛ غير أنه لو حدث هذا فسيتم إيقاف عملية الانشطار النووي ويبرّد قلب المفاعل بطرق طبيعية حتى في غياب الأجهزة التي تحتاج إلى طاقة كهربائية لتشغيلها.

إضافة إلى ذلك فقد تم إدخال تعديلات على المفاعلات المشابهة لمفاعل تشرنوبيل (RBMK) والتي لاتزال تعمل في روسيا وليتوانيا وعددها 12 مفاعلاً مما يجعل الانشطار النووي لا يزداد بتكون البخار كما حدث في مفاعل تشرنوبيل، كما تم إدخال أجهزة تحكم تلقائية لا يمكن العبث بها أو إيقافها كما حدث مع مشغلي مفاعل تشرنوبيل. وقد أخذ الإتحاد السوفييتي السابق بقواعد السلامة المطبقة في الغرب عند تصميم مفاعلاته الجديدة أو تعديل مفاعلاته القديمة [6].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

قائمة الصور

صورة 1: مفاعل تشرنوبيل رقم 4 بعد الحادثة ١٢٤

صورة 2: منظر من الجو لانفجار البخار في مفاعل تشرنوبيل 4..... ١٣٤

صورة 3: قطع الجرافيت التي قذف بها انفجار المفاعل وتبين القطعة الكبيرة من الجرافيت (الذي يعمل كمهدئ) ويظهر فيها أحد ممرات قضبان التحكم ١٣٤

صورة 4: مفاعل تشرنوبيل 4 بعد تغطيته بالخرسانة ١٣٥

قائمة الأشكال

شكل 1: رسم توضيحي لمكونات مفاعل تشرنوبيل ١٢٥

شكل 2: رسم يوضح أوضاع قضبان التحكم في مفاعل تشرنوبيل ١٢٧

شكل 3: عدد المفاعلات مضروباً في عدد السنوات منذ بدأ تشغيل المحطات النووية ١٤٠

قائمة الجداول

جدول (1) مقارنة الحوادث التي حدثت بمحطات الطاقة الكهربائية حسب الطاقة الأولية المستخدمة ١٣٨

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

المراجع

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_disaster.

2. http://www.world-nuclear.org/info/chernobyl/inf07.htm.

3. http://www.world-nuclear.org/info/inf06.html.

4. Bernard L. Cohen, The Nuclear Engineering Option, Plenum Press,1990.

5. Summary on the Post – Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident, Safety Series No. 75 INSAG-1, IAEA, Vienna, 1986.

6. Environmental Radioactivity from Natural, Industrial and Military Sources", Merril Eisenbud and Thomas Gessel, Revised 4th, Edn, Academic Press, London, 1997.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

الباب الخامس

الطاقة النووية وقضايا البيئة

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

١. مقدمـــة

تؤدي الطاقة الكهربائية دوراً مهماً في حياتنا وتزداد الحاجة إليها باستمرار في كل مكان بالعالم، إلاّ أنه تنشأ عن توليدها أضرار بيئية وآثار سيئة على صحة الإنسان، وذلك نتيجة انبعاث الغازات الناجمة عن احتراق الوقود الأحفوري الذي يستخدم في محطات الطاقة الكهربائية التقليدية، مثل زيت الوقود والغاز الطبيعي والمسال وكذلك الفحم الحجري. فعند احتراق الوقود (combustion) يتم تحويل جزء من طاقته الكيميائية إلى طاقة كهربائية وينطلق الجزء الباقي من تلك الطاقة إلى الجو (atmosphere) على شكل غازات نتيجة الاحتراق. ويحتوي الوقود الأحفوري أساساً على الكربون والهيدروجين إضافة إلى نسب ضئيلة من الكبريت والنيتروجين والأوكسجين والرماد.

وكمثال على ذلك فإن زيت الوقود الثقيل (heavy oil) المستعمل بكثرة في محطات الطاقة التقليدية يبلغ تحليله الوزني بالنسب المئوية: 86% كربون (C) و9% هيدروجين (H_2) و2.4% كبريت (S) و1.2% نيتروجين (N_2) و0.8% أوكسجين (O_2) و0.3% رماد و0.3% رطوبة (ماء). وبالمثل، فإن التحليل الوزني (بالنسب المئوية) للغاز الطبيعي يبلغ: 74% كربون (C) و24% هيدروجين (H_2) و1.7% نيتروجين (N_2) و0.3% أوكسجين (O_2).

أما نواتج الاحتراق، فهي غازات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وأول أكسيد الكربون (CO) وبخار الماء (H_2O) وثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وأكاسيد النيتروجين (NO_x) وأوكسجين (O_2) ونيتروجين (N_2) وبعض حبيبات الرماد عند درجات حرارة عالية؛ كما أن هناك غازات أخرى تنبعث نتيجة الاحتراق مثل غاز الميثان وغازات هيدروكربونية (تعرف باسم المركبات العضوية المتطايرة). وتوفر هذه الغازات الساخنة الطاقة الحرارية اللازمة لتوليد بخار يتمدد في توربين بخاري في محطة توليد طاقة بخارية أو لتسخين هواء مضغوط ليتمدد في توربين غازي بمحطات الطاقة التي تعمل بالتوربينات الغازية.

وفي المقابل، فإنه لا يصدر عن استخدام الوقود النووي في محطات الطاقة النووية أي انبعاث لهذه للغازات كتلك التي تنجم عن احتراق الوقود الأحفوري في محطات الطاقة التقليدية.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

وفي هذا الفصل سيجري تسليط الضوء على بعض آثار الغازات المنبعثة من محطات الطاقة التقليدية والتعريف بظاهرتي الاحتباس الحراري (Greenhouse Effect) والاحترار العالمي (Global Warning)، ثم بيان مزايا استخدام الطاقة النووية في توليد الطاقة الكهربائية وتحلية مياه البحر خاصة في دولة الكويت وفي بعض الدول العربية.

٢. أنواع الغازات المنبعثة من محطات الطاقة التقليدية وآثارها.

١.٢ ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)

يعتبر ثاني أكسيد الكبريت من الغازات الرئيسية الملوثة للبيئة، إذ يؤدي التعرض إلى تركيزات مرتفعة منه إلى أضرار على البيئة وصحة الإنسان حيث يسبب أمراض التنفس والرئة كما حدث في دولة الكويت بعد الغزو العراقي لها إثر إحراق آبار البترول فيها. كما يؤدي تعرض بعض النباتات إلى تركيز مرتفع من ثاني أكسيد الكبريت إلى القضاء عليها. ويمكن أن تسبب أكاسيد الكبريت المنبعثة من احتراق الوقود إلى تصاعد غازات كبريتية وبعض حبيبات الكبريتيك التي تحجب الرؤية ويمكن أن تتساقط كأمطار حمضية تتلف النباتات وتصدأ الأسطح المعدنية.

وتقدر نسبة ثاني أكسيد الكبريت المنبعث من محطات الطاقة بحوالي 69% من الانبعاث الكلي لهذا الغاز، وتقدر نسبته المنبعثة نتيجة احتراق الوقود في الصناعة بحوالي 13%؛ كما يقدر البنك الدولي أن نسبة انبعاثه من وسائل النقل من 2% إلى 6%، وهذا يوضح أهمية وضع حد لانبعاث هذا الغاز من محطات الطاقة [2].

٢.٢ أكاسيد النيتروجين (NO_x)

يتكون أول أكسيد النيتروجين (NO) من اتحاد ذرتي نيتروجين وأوكسجين عند درجات حرارة مرتفعة أثناء احتراق الوقود. وعند انبعاثه من محطات الطاقة الكهربائية إلى الهواء، يتحول أول أكسيد النيتروجين (NO) إلى ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2). ويؤدي هذا الغاز إلى تلوث الهواء حتى عند تركيزات منخفضة منه، مسبباً اضطرابات وأمراض في الجهاز التنفسي، خاصة عند الأطفال، أما وجوده بتركيزات عالية فيعتقد أنه يؤذي الرئتين والكبد ويتسبب في الفشل الكلوي كما أنه يحدث سديم وهي رطوبة جوية وغبار ودخان وتجمُّعهما في الجو يؤدي إلى الحد من مدى الرؤية (smog). كما أن ثاني أكسيد النيتروجين غاز حمضي يمكن أن يسبب تساقط أمطاراً حمضية تتلف النباتات وتصدأ الأسطح المعدنية. وقد يتفاعل مع

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

الأوكسجين ليكون الأوزون ozone (O_3) الذي يعتبر ملوثاً للهواء وضاراً بصحة الإنسان في التروبوسفير (الغلاف السفلي للأرض) (troposphere). أما في الستراتوسفير (stratosphere) (من 10 إلى 40 كيلومتر فوق سطح الأرض) فيعتبر الأوزون من الغازات المفيدة لأنه يشكل طبقة واقية من أشعة الشمس فوق البنفسجية والتي تسبب سرطان الجلد وحروق الجلد. ومن الجدير بالذكر، أن ثاني أكسيد النيتروجين له أثر سيء على هذه الطبقة من الأوزون، لأن الأوزون عبارة عن جزيئات من الأوكسجين وعند مرور الأشعة فوق البنفسجية القادمة من الشمس على هذه الطبقة تتحلل هذه الجزيئات إلى ذرات نشطة تتحد سريعاً بعضها مع بعض مكونة جزيئات ثلاثية الذرة تسمى جزيئات الأوزون؛ أي إن جزيء الأوكسجين (O_2) يتحول بفعل الأشعة فوق البنفسجية إلى ($O+O$)، ثم إلى ($O+O_2$) الذي يتحول بدوره إلى الأوزون (O_3). وعندما يصطدم أحد جزيئات أول أكسيد النيتروجين (NO) الناتجة من احتراق الوقود، بجزيء الأوزون، ينحل هذا الجزيء ويكون ثاني أكسيد النتروجين وجزيء الأوكسجين أي أن اتحاد (O_3+NO) ينتج عنه (O_2+NO_2). ويؤدي هذا التفاعل إلى اختفاء جزيئات الأوزون ومن ثمّ إلى إضعاف طبقة الأوزون التي تقي الأرض من أشعة الشمس فوق البنفسجية.

٣.٢ أكاسيد الكربون (CO_x)

يَنتج أول أكسيد الكربون (CO) من عملية الاحتراق غير الكامل للوقود مثل الغاز الطبيعي أو الفحم أو الخشب. لذا، تعد عوادم السيارات أحد المصادر الرئيسية لتكوين غاز أول أكسيد الكربون، وهو غاز عديم اللون والرائحة إلا أنه غاز سام للغاية. وأما ثاني أكسيد الكربون (CO_2) فينتج من عملية الاحتراق الكامل للوقود، ويعد من الغازات الضرورية للنباتات. وهو من الغازات الطبيعية الموجودة في الغلاف الجوي.

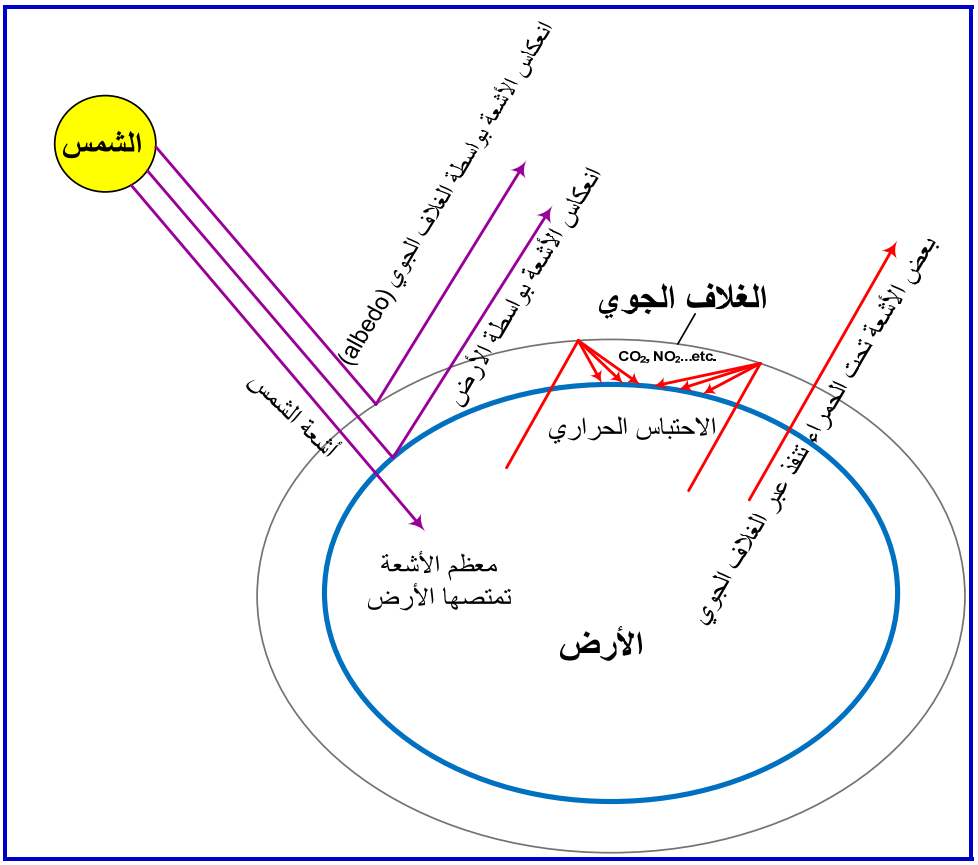
ومن الجدير بالذكر أن غازات مثل ثاني أكسيد الكبريت أوثاني أكسيد النيتروجين تتفاعل كيميائياً ويمكن إزالتها من الجو خلال أيام إلا أن ثاني أكسيد الكربون غاز ثابت كيميائياً ولا يتفاعل ويمكن أن يبقى في الجو لمئة عام، كما أنه المسبب الرئيسي لظاهرة الاحتباس الحراري (greenhouse effect) والاحترار العالمي (global warming) كما سيتضح في هذا الباب.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٣. الاحتباس الحراري والاحترار العالمي

١.٣ الاحتباس الحراري (greenhouse effect)

عند سقوط أشعة الشمس على الأرض يجري امتصاص جزء منها من قبل الأرض مما يؤدي إلى تسخينها ثم تعيد الأرض جزءاً من هذه الحرارة إلى الفضاء بالإشعاع مرة أخرى (أشعة تحت حمراء طويلة الموجات)، (infrared radiation) إلا أن وجود بعض الغازات في الغلاف الجوى يحول دون وصول جزء من هذه الأشعة إلى الغلاف الخارجي للأرض؛ ومن بين هذه الغازات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وبخار الماء (H_2O) وثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) والميثان (CH_4) ومركبات غاز الكلوروفلورو كربون (CFCs). وتقوم هذه الغازات بامتصاص الأشعة الصادرة عن الأرض وتشع جزءًا منها إلى الأرض، مما يؤدي إلى دفءٍ نسبي للأرض. ولهذا سميت هذه الغازات "غازات الدفيئة" (أو الصوبة) ولولاها لوصلت درجة حرارة الأرض إلى 19 درجة مئوية تحت الصفر. وتسمى ظاهرة احتفاظ الغلاف الجوي للأرض بجزءٍ مما تشعه الأرض من تلك الغازات بظاهرة الاحتباس الحراري، كما هو مبين في الشكل 1.



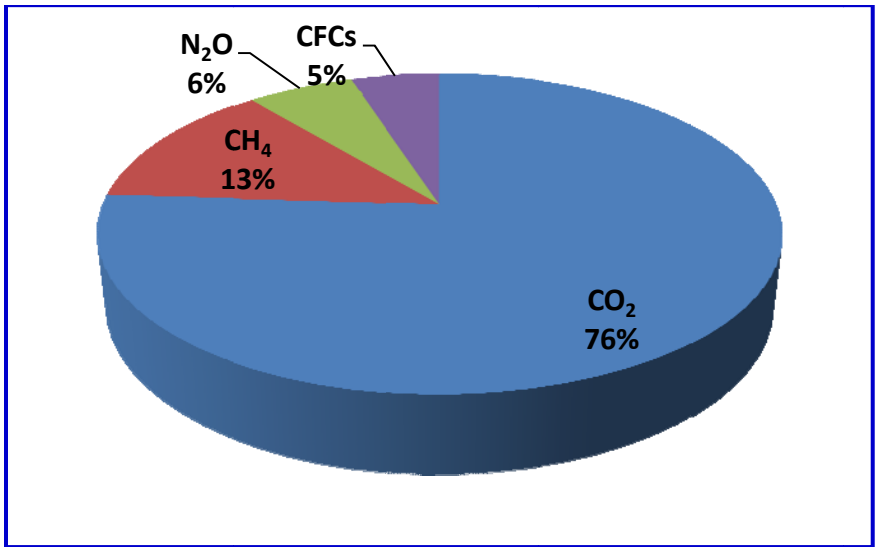
شكل 1: رسم يوضح ظاهرة الاحتباس الحراري.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٢.٣ الاحترار العالمي (global warming)

تعد غازات الدفيئة هي المسئولة عن حفظ درجة حرارة الأرض عند قيمة معينة يسهل العيش معها كما ذكر سابقاً؛ ولكن إذا زاد تركيز هذه الغازات عن معدلاتها الطبيعية، فإنها ستؤدي إلى زيادة درجة حرارة المناخ (climate) أو ما يسمى بالاحترار العالمي (global warming)، وهذه الظاهرة غير مرغوب فيها نظراً لتأثيراتها السلبية على الأرض، وقد زاد متوسط درجة حرارة الأرض قرب سطح الهواء أو المحيط منذ منتصف القرن العشرين فبلغ متوسط هذه الزيادة خلال القرن الماضي ما يقارب 0.74 ± 0.18 درجة مئوية كما يتوقع استمرار هذه الزيادة خلال العقود القادمة [6]. وقد أكد تقرير الأمم المتحدة الذي أصدرته الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC)، أن النشاط البشري (anthropogenic) هو المسئول عن زيادة انبعاث غازات الاحتباس الحراري والمسبب الرئيسي لظاهرة الاحترار العالمي؛ وأن بعض الظواهر الطبيعية مثل البراكين أو التغير الشمسي، ليس لها تأثيرات ملموسة على تغير المناخ [7]. وقد تم تأكيد هذه الحقائق من قِبَل أكاديميات البحث العلمي في أكثر من أربعين دولة صناعية متقدمة [8].

ويعتبر غاز ثاني أكسيد الكربون هو المسبب الرئيسي للاحتباس الحراري بسبب امتصاصه للحرارة المرتدة من الأرض إذ يمثل ما يقارب 76% من إجمالي غازات الدفيئة كما في الشكل 2 [11]، وقد ازدادت هذه النسبة بدرجة كبيرة في العقود الماضية.



شكل 2: نسب غازات الدفيئة (من دون بخار ماء) المسببة للاحتباس الحراري [11].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

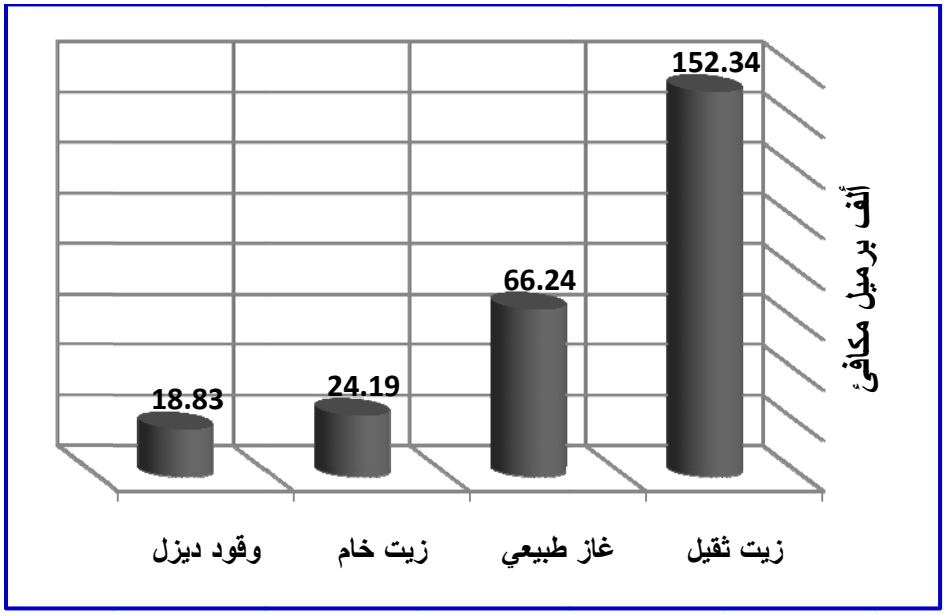
وقد بينت القياسات أن هناك زيادة مستمرة في نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، فقد ازدادت من 315 جزء بالمليون بالحجم (ppmv) عام 1958 إلى 370 جزء بالمليون بالحجم (ppmv) عام 2001 ثم إلى 387 جزء بالمليون بالحجم (ppmv) عام 2008 أي ما يقرب من 40% منذ بداية الثورة الصناعية.
كما تبين أن معدل الزيادة في غازات الاحتباس الحراري تتناسب طرداً مع الزيادة في الانتاج الاقتصادي العالمي الذي يُقاس بالانتاج العالمي الكلي (gross world product-GWP) والذي يعتمد مباشرة على إنتاج الطاقة الكهربائية، ومن ثم فإن هذا الإنتاج يعكس النشاط البشري في التصنيع.

وقد لا تشكل الزيادة الحالية في درجة الحرارة في حد ذاتها مشكلة حقيقية، ولكن المشكلة هي التغير المحتمل في المناخ في ظل استمرار الزيادة في احراق الوقود الأحفوري لتوليد الطاقة، والانبعاث المتزايد لملايين الأطنان من غاز ثاني أكسيد الكربون إلى الجو، وهذا ما أوضحه تقرير الأمم المتحدة الذي جاء فيه أن كمية ثاني أكسيد الكربون في الجو ستبلغ حداً مرتفعاً عام 2100 مما يؤدي إلى الاحترار العالمي بدرجات متفاوتة تتراوح ما بين 1.4 و5.6 درجة مئوية وذلك حسب كمية الغازات المنبعثة [7, 9].
كما أن هناك عدة ظواهر أخرى تدل على زيادة درجة حرارة المناخ، مثل تقلص جبال الجليد في أماكن كثيرة من العالم وانخفاض سماكة الجليد في نصف الكرة الأرضية الشمالي وانخفاض نسب هطول الأمطار الموسمية وارتفاع مستوى سطوح البحار، وانخفاض معدل سقوط الثلوج في القطب الشمالي والجنوبي.
وقد أكدت البيانات العالمية الموثوقة على أن تغير المناخ هو نتيجة للاحترار العالمي [10].

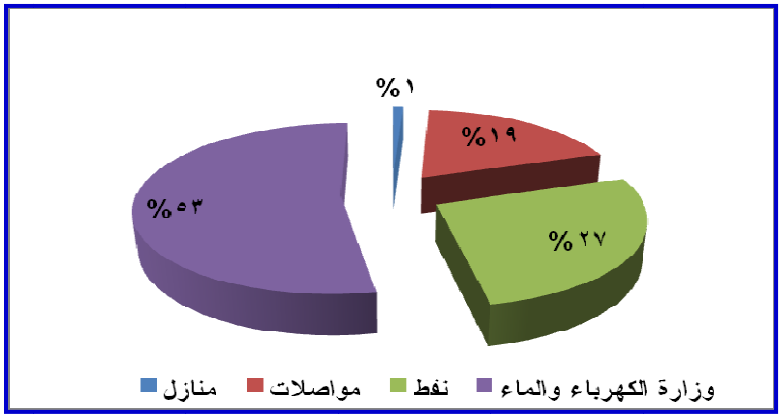
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

٤. كمية الغازات المنبعثة من محطات الطاقة الكهربائية وتقطير المياه في دولة الكويت.

لقد قدرت طاقة الوقود المستهلك في محطات الطاقة الكهربائية في دولة الكويت خلال عام 2008 بألف برميل مكافئ يومياً (bblE/d)، وتتكون هذه الطاقة من عدة أنواع من الوقود كالآتي: 66.24 غاز طبيعي و24.19 زيت خام و18.83 وقود ديزل و152.34 زيت ثقيل، ومجموع هذه الكميات من طاقة الوقود تمثل 53% من طاقة الوقود الكلية المستهلكة في دولة الكويت، كما هو موضح في الشكلين 3 و4 [1]. ومن المعروف أن البرميل المكافئ الواحد هو وحدة طاقة تساوي 6.1 جيجاجول (GJ). ومن ثمّ فإن الطاقة المستهلكة لإنتاج الطاقة الكهربائية وتقطير مياه البحر عام 2008 بلغت 95.5 مليون برميل سنوياً أو ما يعادل 582.5 مليون جيجاجول (MGJ).



شكل 3: كميات وأنواع الوقود المستهلك لإنتاج الطاقة في دولة الكويت عام 2008.



شكل 4: النسب المئوية لأنواع الوقود المستهلك لإنتاج الطاقة بدولة الكويت عام 2008 [1].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

ويمكن بسهولة حساب كمية الغازات الناتجة من عملية احتراق زيت الوقود الثقيل واللازمة لإنتاج 1 كيلووات ساعة كهرباء و1 متر مكعب ماء مقطر، وذلك إذا توفر التحليل الوزني لهذا الوقود، وسيجري توضيح هذه الحسابات لاحقاً.

١.٤ حساب كمية الغازات الناتجة من عملية احتراق الوقود لإنتاج (1 kWh) كهرباء.

إذا كان هناك محطة قوى بخارية تعمل بزيت الوقود الثقيل (مكوناته مثلا 87%كربون، 10% هيدروجين، 2%كبريت، 0.5% نيتروجين) وتصل كفاءتها إلى 30% فإنه يمكن حساب طاقة الوقود الحرارية المغذية لهذه المحطة لتوليد طاقة كهربائية مقدارها 1 كيلووات ساعة (kWh) (3600 كيلوجول شغل) كالآتي:الطاقة الحرارية المغذية = الطاقة الكهربائية المنتَجة (kJ)/ كفاءة المحطة

الطاقة الحرارية المغذية لكل كيلووات ساعة كهرباء $= \left(\frac{(\sec)3600 \times (kWh)\ 1}{0.3}\right) = 12000$ كيلوجول (kJ)

وبفرض أن الحرارة الناتجة من احتراق واحد كيلوجرام من هذا الوقود تساوي 42,000 كيلوجول فإن:

كمية الوقود اللاّزم حرقها لإنتاج واحد كيلووات ساعة كهرباء $= \left(\frac{12{,}000}{42{,}000}\right) = 0.29$ كيلوجرام (kg)

كمية الكربون المحترق= نسبة الكربون المئوية في الوقود×كمية الوقود (kg)

$= 0.87 \times 0.29 =$ 0.2523 كيلوجرام كربون (kg)

- كمية ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الناتج من الاحتراق حسب التفاعل $C + O_2 \rightarrow CO_2$ تساوي:

$\frac{44}{12} \times 0.2523 =$ 0.925 كيلوجرام ثاني أكسيد الكربون لكل كيلووات ساعة ($\frac{kg}{kWh} CO_2$)

- كمية ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الناتج من الاحتراق حسب التفاعل $S + O_2 \rightarrow SO_2$ تساوي:

$\frac{64}{32} \times 0.02 \times 0.29 =$ 0.0116 كيلوجرام (11.6 جرام) ثاني أكسيد الكبريت لكل كيلووات ساعة ($\frac{kg}{kWh} SO_2$)

- كمية أكسيد النيتروجين (NO) الناتج من الاحتراق حسب التفاعل $N + O_2 \rightarrow NO$ تساوي:

$\frac{30}{14} \times 0.005 \times 0.29 =$ 0.0031 كيلوجرام (3.1 جرام) أكسيد النيتروجين لكل كيلووات ساعة ($\frac{kg}{kWh} NO$)

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

وتعدكمية الغازات المنبعثة من محطات الطاقة الكهربائية لتوليد كيلووات ساعة (kWh) والتي تم حسابها هنا على سبيل المثال مقاربة لتلك القياسات المسجلة في بعض المصادر حيث تم قياس الغازات المنبعثة من هذه المحطات لكل كيلووات ساعة كالآتي: 1.02 كيلوجرام ثاني أكسيد الكربون (CO_2) و8.96 جرام ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) و2.01 جرام أكسيد النيتروجين (NO) و0.15 جرام مواد متطايرة [3].

ويبين جدول 1 متوسط كميات غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعثة من محطات طاقة مختلفة لكل كيلووات ساعة طاقة كهربائية. وقد سُجلت هذه الكميات في بعض الدول الأوروبية، ويوضح الجدول الكميات التي تنبعث من هذا الغاز عند حرق الوقود الأحفوري [5].

جدول (1) متوسط انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون (جرام لكل كيلووات ساعة) من محطات طاقة مختلفة [5].

طريقة توليد الكهرباء	جرام CO_2 لكل كيلووات ساعة أثناء التشغيل	جرام CO_2 لكل كيلووات ساعة في بقية الدورة	مجموع CO_2
الفحم 600 (MW)	892	111	1003
زيت الوقود	839	149	988
الغاز	844	68	912
ديزل	726	159	895
كهروضوئية شمسية	0	97	97
محطات قوى مائية	0	5	5
طاقة نووية	0	5	5
طاقة الرياح	0	3	3

٢.٤ حساب كمية الغازات الناتجة من عملية احتراق الوقود لإنتاج متر مكعب من المياه المقطرة

إن جميع محطات الطاقة البخارية في الكويت التي يجري فيها توليد الطاقة الكهربائية هي محطات مشتركة لتوليد الطاقة الكهربائية وتحلية المياه (cogeneration power distillation plants). وكما ذُكر سابقاً، يجري في هذه المحطات استخدام تقنية التبخير الفجائي متعدد المراحل، ويبلغ معدل استهلاك الطاقة المكافئة الميكانيكية لكل متر مكعب من المياه المقطرة ما يقارب 20 كيلووات.ساعة/مترمكعب (20 kWh/m^3) [4].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

وبناء على كمية الغازات المنبعثة لكل كيلووات ساعة طاقة كهربائية – المذكورة سابقاً – فإنه يمكن حساب كمية تلك الغازات المنبعثة لإنتاج متر مكعب (m^3) من المياه المقطرة من ماء البحر كالتالي:

- 1.02 (kg/kWh) × 20 (kWh/m^3) = 20.4 كيلوجرام CO_2 لكل مترمكعب من مياه التحلية.
- 8.96 (g/kWh) × 20 (kWh/m^3) = 179.2 جرام SO_2 لكل مترمكعب من مياه التحلية.
- 2.01 (g/kWh) × 20 (kWh/m^3) = 40.2 جرام NO لكل مترمكعب من مياه التحلية.

٣.٤ إنتاج الطاقة الكهربائية من محطات الطاقة التقليدية في دولة الكويت ودول الخليج العربية

ازدادت السعة المركبة لمحطات الطاقة الكهربائية في دولة الكويت ودول الخليج العربية خلال الفترة من عام 2003 إلى 2007، كما ازداد إنتاج الطاقة الكهربائية لهذه الدول خلال الفترة نفسها (انظر جدول 2 وجدول 3).

ويوضح جدول 3 أن نسبة إنتاج الطاقة الكهربائية قد ازداد في معظم هذه الدول خلال خمس سنوات إلى ما يقارب من 30%؛ أي إن معدل الزيادة يصل إلى 6% سنوياً. فعلى سبيل المثال كان إنتاج الطاقة الكهربائية في دولة الكويت 34105 جيجاوات ساعة (GWh) عام 2003 وازدادت إلى 44244 جيجاوات ساعة (GWh) عام 2007، ومن المتوقع أن يصل إنتاج الطاقة الكهربائية إلى 50,327 جيجاوات ساعة (GWh) عام 2010 [14].

جدول (2) السعة المركبة لمحطات الطاقة (MW) في بعض الدول العربية من عام 2003 إلى 2007 [13].

الدولة	2003	2004	2005	2006	2007	2007 Peak load
الكويت	9763	9763	10763	10763	10848	**9177**
السعودية	28500	29300	32301	35885	36559	**33503**
الإمارات	12172	13550	15710	17280	18474	**13438**
قطر	2655	2900	2829	3028	3164	**3009**
البحرين	2629	2629	1849	2500	2500	**1971**
عمان	2550	2750	3166	3325	3858	**3300**
مصر	17675	18569	19039	19766	20266	**18511**

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

جدول (3) إنتاج الطاقة الكهربائية (GWh) في بعض الدول العربية من عام 2003 إلى 2007 [13]

الدولة	2003	2004	2005	2006	2007
الكويت	34105	35639	39550	41277	**44244**
السعودية	149767	156506	176134	181434	**194969**
الإمارات	49450	52417	60698	66768	**76106**
قطر	11160	11718	13238	14033	**15029**
البحرين	7715	8178	8698	9220	**10020**
عمان	10320	10836	11485	12059	**13011**
مصر	88874	94840	100927	108332	**117824**

ويمكن تقدير كمية الغازات المنبعثة من محطات الطاقة في دولة الكويت وباقي دول الخليج العربية عام 2007 كما هو مبين في جدول 4. وتوضح الحسابات التالية كيفية إيجاد القيم المبينة في جدول 4 كمثال على ما هي الحالة في دولة الكويت:

- كمية CO_2 المنبعثة $= 44244 \times 10^6 \times kWh \times 1.02 \frac{kg}{kWh} CO_2 =$ 45.13 مليون طن.
- كمية SO_2 المنبعثة $= 44244 \times 10^6 \times kWh \times 8.96 \frac{g}{kWh} SO_2 =$ 396.43 ألف طن.
- كمية NO المنبعثة $= 44244 \times 10^6 \times kWh \times 2.01 \frac{g}{kWh} NO =$ 88.93 ألف طن.

جدول (4) كمية الطاقة الكهربائية المنتجة في دول الخليج العربية عام 2007 وتقديرات انبعاث الغازات منها.

الدولـــــة	GWh	CO_2 Million ton/y	SO_2 1000 ton/y	NO 1000 ton/y
الكويت	44244	45.13	396.43	88.93
السعودية	194969	198.87	1746.92	391.89
الإمارات	76106	77.63	681.91	152.97
قطر	15029	15.33	134.66	30.21
البحرين	10020	10.22	89.78	20.14
عمان	13011	13.271	116.578	26.152
مصر	117824	120.18	1055.70	236.83

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

وبالمثل، فقد زادت كمية المياه التي تنتجها محطات التقطير في دولة الكويت من 374 مليون مترمكعب (m^3) عام 2000 إلى 543.3 مليون مترمكعب (m^3) عام 2007 أي بزيادة سنوية قدرها 5% [2]، ولذا يُتوقع أن يبلغ إنتاج المياه المقطرة 615.8 مليون مترمكعب عام 2010 إن استمرت الزيادة بهذا المعدل.

ويمكن حساب كمية الغازات المنبعثة نتيجة إنتاج 543.3 مليون متر مكعب من المياه المقطرة عام 2007 كالتالي:

- الطاقة الكهربائية المكافئة = 543.3 (Million m^3) × 20 (kWh/m^3) × 10866 × 10^6 (*kWh*)
- كمية CO_2 المنبعثة = 1.02 × (*kWh*) 10^6 × 10866 $\frac{kg}{(kWh)} CO_2$ = 11.08 مليون طن.
- كمية SO_2 المنبعثة = 8.96 × (*kWh*) 10^6 × 10866 $\frac{g}{(kWh)} SO_2$ = 97.36 ألف طن.
- كمية NO المنبعثة = 2.01 × (*kWh*) 10^6 × 10866 $\frac{g}{(kWh)} NO$ = 21.84 ألف طن.

كما يبين جدول 5 كمية غازات الاحتباس الحراري والغازات الملوثة للجو المتوقعة في بعض الدول العربية عام 2010، حيث تم حساب القيم الموجودة في هذا الجدول بفرض أن وزن برميل الوقود الواحد يساوي 0.136 طن وأن احتراق وقود كل برميل يعطي 6.1 جيجاوات وأن نسبة الكربون في الوقود 86% وكمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعثة تساوي 44/12 من وزن الكربون. وقد تم حساب كمية غاز ثاني أكسيد الكبريت المنبعث على أساس 340 جرام لكل جيجاجول وأكسيد النيتروجين على أساس 29 جرام لكل جيجاجول من الحرارة.

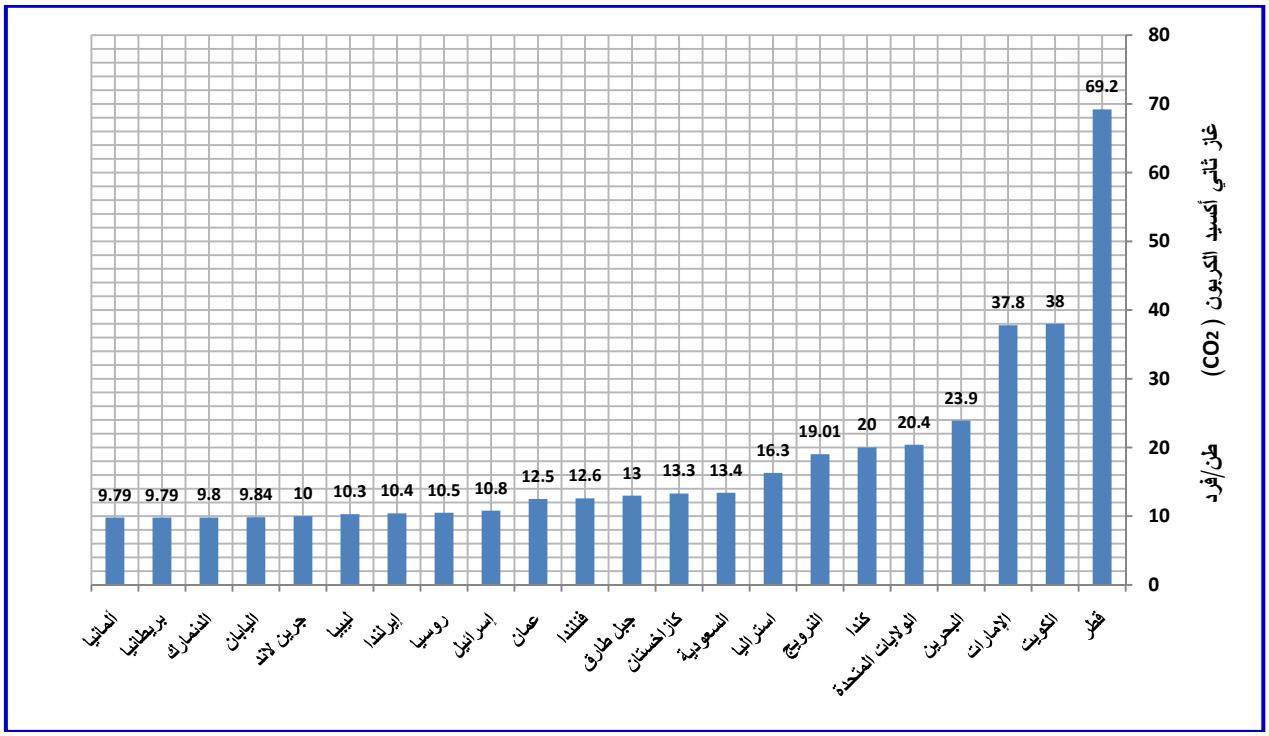
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

جدول (5) استهلاك الوقود المتوقع في بعض من الدول العربية وما يتبعها من انبعاث الغازات عـــــام 2010.

الدولة	الوقود المستهلك عام 2007 ألف برميل يوميا	معدل الزيادة السنوية	عـــــام 2010					
			الوقود المستهلك			الطاقة مستهلكة	ثاني أكسيد الكربون المنبعث CO_2	ثاني أكسيد الكبريت المنبعث SO_2	أكسيد النيتروجين NO
			ألف برميل يوميا	مليون برميل سنويا	مليون طن سنوياً	ألف مليون جيجاجول/عام	مليون طن في العام	ألف طن في العام	ألف طن في العام
الكويت	588.7	7.45	730.32	266.75	36.28	1627.175	114.4	553.24	209.91
السعودية	2650	9.2	3450.75	1260.39	171.41	7688.379	540.52	2614.05	991.80
الإمارات	960	6.2	1149.86	419.99	57.12	2561.939	180.11	871.06	330.49
قطر	533.5	5.85	632.71	231.1	31.43	1409.71	99.11	479.30	181.85
البحرين	279.3	3.7	311.46	113.76	15.47	693.936	48.79	235.94	89.52
عمان	159.2	4.8	183.24	66.93	9.1	408.273	28.7	138.81	52.67
مصر	1240.1	3.73	1384.11	505.55	68.75	3083.855	216.8	1048.5	397.82

وعند مقارنة ما ينبعث من غاز ثاني أكسيد الكربون بالنسبة إلى كل فرد نجد (كما هو مبين في شكل 5) أن ثلاث من دول الخليج العربية تتصدر قائمة أكثر دول العالم انبعاثاً لهذا الغاز عام 2004، بالنسبة إلى كل فرد فيها، وهي: قطر والكويت ودولة الإمارات العربية المتحدة بينما تحتل الولايات المتحدة الأمريكية المركز الخامس (20.4 طن لكل فرد). مما يستدعي أن تحدَّ الكويت من إنتاج ثاني أكسيد الكربون عن طريق تنويع طرق إنتاج الطاقة الكهربائية، والتحول إلى استخدام الطاقة النووية والطاقات المتجددة مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية وذلك إلى جانب الاقتصاد في استهلاك الطاقة الكهربائية والمياه المقطرة.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050



شكل (5) كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعث لكل فرد في بعض دول العالم [15].

٥. المزايا البيئية لاستخدام الطاقة النووية في دولة الكويت.

لقد بيّنا في الباب الثاني أن أول وأهم مزايا استخدام الطاقة النووية لإنتاج الطاقة الكهربائية هو قلة تكلفة إنتاجها مقارنةً بأكفأ محطات الطاقة التقليدية (التي تعمل بزيت الوقود أو الغاز الطبيعي) والتي تستخدم الدورة المركبة حيث تصل كفاءتها إلى 55% في الأجواء الباردة وإلى 46% في الأجواء الحارة مثل الكويت أثناء الصيف. وثمة مزايا أخرى ذات طبيعة بيئية لاستخدام الطاقة النووية سنوضحها في هذا الباب.

١.٥ الحد من الاحترار العالمي (global warming).

يُعد التقليلُ من انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئة أحد أهم مزايا استخدام الطاقة النووية لإنتاج الطاقة الكهربائية، حيث تؤدي زيادة نسبة هذه الغازات إلى ارتفـــاع درجة حرارة الأرض. ولإعطاء فكرة عن كمية ثاني أكسيد الكربون التي يمكن تجنب انبعاثها لو بنيت محطة نووية سعتها 3000 ميجاوات (MW) والمقترحة في الباب الثاني، وإذا كانت ستعمل على الحمل الأساسي بمعامل حمل 90%، فإنها ستنتج طاقة كهربائية قدرها 23,652 جيجاوات ساعة (GWh) خلال عام واحد. ولو تم إنتاج هذه الكمية بواسطة أكثر محطات الطاقة التقليدية كفاءة وهي محطات الدورة المركبة من التوربينات الغازية/التوربينات البخارية التي تبلغ كفاءتها 46%، فإن معدل طاقة الوقود التي ستستهلكه هذه المحطة

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

سيبلغ (185.1×10^6) جيجاجول (GJ) وإذا استعمل زيت وقود حرارته النوعية 40 ميجاجول لكل كيلوجرام (MJ/kg) فإن استهلاك هذه المحطة سيبلغ (4.63×10^6) طن من زيت الوقود. وسينتج عن احتراق هذا الوقود إحراق كمية كربون قدرها 4.164 مليون طن؛ وبالتالي، فإن كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة من تلك المحطة خلال عام واحد سيبلغ 15.27 مليون طن. كما أنه إذا تم استعمال الغاز الطبيعي بدلا من زيت الوقود فسيتطلب ذلك حرق 4.4 مليون متر مكعب منه وسينبعث عن حرقها 15 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون وسبعون طناً من ثاني أكسيد الكبريت وثلاثون ألف طن من أكاسيد النيتروجين و950 طن من الميثان.

لذا فإن استخدام الوقود النووي سيحد من انبعاث هذه الغازات والتي تؤدي إلى احترار عالمي، مع ما قد يصحبه من انصهار لطبقات الجليد في القطبين الشمالي والجنوبي وزيادة مستوى سطوح البحار مما قد يؤدي إلى غرق كثير من المدن والمنشآت.

٢.٥ التقليل من التلوث الناتج عن الغازات المنبعثة.

يعد اليورانيوم مصدراً نظيفاً وعالي التركيز للطاقة حيث بالإمكان إنتاج أكثر من 45,000 ميجاوات ساعة (MWh) من الطاقة الكهربائية باستخدام طن واحد من اليورانيوم الطبيعي، دون أن يصدر عن استخدامه أي غازات كباقي أنواع الوقود الأحفوري. ولإنتاج الكمية نفسها من الطاقة لا بد من إحراق 20,000 طن من الفحم أو 80,000 برميلاً من الزيت أو 13 مليون متر مكعب من الغاز الطبيعي (انظر جدول 6) وهذا يبين مدى صعوبة نقل الوقود الأحفوري لمحطات إنتاج الطاقة الكهربائية ومدى الحاجة إلى أماكن للتخزين. كما أن الكمية الهائلة من الغازات الناتجة عن احتراق الوقود التقليدي سينشأ عنها تلوث الهواء الجوي، إضافة إلى أن غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعث هو أحد غازات الدفيئة الذي قد يذوب في مياه البحار مما يجعله مصدر تلوث للحياة البحرية والشعب المرجانية فيها.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

جدول (6) إنتاج الطاقة الحرارية من أنواع وقود مختلفة (ميجاجول لكل كيلوجرام) [5].

الترتيب	نوع الوقود	الطاقة الحرارية ميجاجول لكل كيلوجرام
1	يورانيوم طبيعي	500000
2	زيت خام	46-45
3	غاز طبيعي	39
4	فحم أسود	30-13
5	أخشاب حرق	16
6	فحم بني	9

٣.٥ تكاليف الأضرار البيئية الناتجة عن المحطات التقليدية

تم تقدير تكلفة الأضرار البيئية التي تنشأ من توليد الطاقة الكهربائية بطرق مختلفة كما هو مبين في الجدول 7 حيث بلغت تكلفة الأضرار لكل كيلووات ساعة بالطاقة النووية 0.04 $ دولار لكل كيلووات ساعة و1.04 $ دولار لكل كيلووات ساعة للغاز الطبيعي، وبذلك يحقق استخدام المحطة النووية والتي سعتها 3000 ميجاوات (MW) المقترحة في الباب الثاني والتي تنتج 23,652 جيجاوات ساعة (GWh) وفراً في تكلفة الأضرار البيئية الناتجة من الغازات المنبعثة من حرق الغاز الطبيعي قدره 23,652 مليون دولار.

وقد بينت دراسة قامت بها كوريا الجنوبية أن تكلفة تجنب انبعاث ثاني أكسيد الكربون تبلغ 19.55$ لكل طن ثاني أكسيد الكربون [16]، أي إن استعمال المحطة المقترح إنشاؤها في الباب الثاني ستوفر 299 $ مليون دولار سنوياً. هذا وقد أوضحت الدراسات أن الطاقة النووية لا ينبعث منها أي من غازات الدفيئة أثناء عملية إنتاج الطاقة الكهربائية وأنها الطاقة الوحيدة التي يمكنها تقليل انبعاث غازات ثاني أكسيد الكربون وبعض غازات الدفيئة الأخرى مع الاحتفاظ بالقدرة على إنتاج الطاقة الكهربائية.

جدول (7) تكلفة الأضرار البيئية الناتجة من محطات الطاقة الكهربائية المختلفة [12].

نوع المحطة	تكلفة الأضرار البيئية (دولار/كيلووات ساعة)
الرياح	0.008 - 0.005
النووية	0.04
المائية	0.073
كهروضوئية شمسية	0.376 - 0.231
الغاز الطبيعي	1.04
الفحم	6.02 - 1.59

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

إضافة إلى ذلك، فإن زيت البترول هو الوقود الأساسي المستعمل في دولة الكويت وهو نوع الوقود الوحيد الذي يمكن استخدامه للسيارات والشاحنات والطائرات والبواخر والباصات والقطارات وبدونها لا يمكن أن تعمل وسائل النقل. وله أيضاً استعمالات مختلفة إذ يدخل في صناعات البلاستيك والأسفلت والشمع وفي جميع أنواع زيوت التشحيم. ويحبذ كثير من الخبراء عدم استخدامه في محطات الطاقة الكهربائية عندما يمكنها استخدام وقود آخر أقل تكلفة.

وكذلك الحال بالنسبة للغاز الطبيعي الذي له استعمالات مثل الزيت إذ يستخدم حالياً في مصر ودول كثيرة في المنازل وفي تسيير السيارات وفي صناعات البلاستيك، والغاز الطبيعي هو الوقود الرئيسي في دول الخليج كونه أقل كلفة من الزيت ويعتبره البعض وقوداً نظيفاً إلا أن له استعمالات أفضل من حرقه في محطات الطاقة الكهربائية، كما أنه ينتج كميات هائلة من غازات الدفيئة (أو غازات الاحتباس الحراري) مثل ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتريك.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

قائمة الأشكال

شكل 1: رسم يوضح ظاهرة الاحتباس الحراري ١٤٧

شكل 2: نسب غازات الدفيئة (من دون بخار ماء) المسببة للاحتباس الحراري ١٤٨

شكل 3: كميات وأنواع الوقود المستهلك لإنتاج الطاقة في دولة الكويت عام 2008 ..... ١٥٠

شكل 4: النسب المئوية لأنواع الوقود المستهلك لإنتاج الطاقة بدولة الكويت عام 2008 ..... ١٥٠

شكل 5: كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعث لكل فرد في بعض دول العالم ١٥٧

قائمة الجداول

جدول (1) متوسط انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون (جرام لكل كيلووات ساعة) من محطات طاقة مختلفة ١٥٢

جدول (2) السعة المركبة لمحطات الطاقة (MW) في بعض الدول العربية من عام 2003 إلى 2007 ..... ١٥٣

جدول (3) إنتاج الطاقة الكهربائية (GWh) في بعض الدول العربية من عام 2003 إلى 2007 ..... ١٥٤

جدول (4) كمية الطاقة الكهربائية المنتجة في دول الخليج العربية عام 2007 وتقديرات انبعاث الغازات منها ١٥٤

جدول (5) استهلاك الوقود المتوقع في بعض من الدول العربية وما يتبعها من انبعاث الغازات عـــــام 2010..... ١٥٦

جدول (6) إنتاج الطاقة الحرارية من أنواع وقود مختلفة (ميجاجول لكل كيلوجرام) ١٥٩

جدول (7) تكلفة الأضرار البيئية الناتجة من محطات الطاقة الكهربائية المختلفة ١٥٩

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

المراجع

[1] Kuwait Energy Profile, Kuwait Ministry of Oil Statistical data on 2008 Energy Consumption, http://tonto.eia.doe.gov/country/country_energy_data.cfm?fips=KU.

[2] A.A. Ramadan, Coastal and Air Pollution Department, Kuwait Institute for Scientific Research, Total SO_2 Emissions from Power Stations and Evaluation of their Impact in Kuwait Using a Gaussian Plume Dispersion Model, American Journal of Environmental Sciences 4 (1): 1-12, 2008.

[3] E. S. Rubin, Introduction to Engineering and the Environment, McGraw Hill, 2001.

[4] M.A. Darwish, Desalting fuel energy cost in Kuwait in view of $75/barrel oil price, Desalination, 208 (2007) 306–320.

[5] Australia's uranium-Greenhouse friendly fuel for an energy hungry world, House of Representatives Standing Committee on Industry and Resources, November 2006, Canberra, Australia.

[6] Global warming, From Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Global_warming.

[7] IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

[8] Royal Society (2005). "Joint science academies' statement: Global response to climate change". http://royalsociety.org/displaypagedoc.asp?id=20742. Retrieved on 19 April 2009.

[9] Sunlight, From Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Sunlight

[10] http://www.thewe.cc/weplanet/news/air/co2_record_high_levels_in_the_atmosphere.htm

[11] Nick Hopwood and Jordan Cohen Greenhouse Gases and Society http://www.umich.edu/~gs265/society/greenhouse.htm.

[12] Timothy J. Wallington, Jayaraman Srinivasan,Ole John Nielsen,Ellie J. Highwood, (2004), GREENHOUSE GASES AND GLOBAL WARMING, in *Environmental and Ecological Chemistry*, [Ed. Aleksandar Sabljic], in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford ,UK, [http://www.eolss.net].

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

[13] Annual Statistical Report 2008 Organization of Arab Petroleum Exporting Countries (OAPEC), http: //www. oapecorg .org.

[14] Statistical Year Book, Ministry of Energy, State of Kuwait, year 2006

[15] List of countries by carbon dioxide emissions per capita, From Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_carbon_dioxide_emissions_per_capita

[16] www.abcnews.com/sections/us/global106.html

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

شرح المصطلحات

Glossary

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

A

Accumulator	مركم	نظام حماية سلبية عبارة عن خزانات بها مياه مضغوطة بغاز النيتروجين، تضخ ما بها من مياه ذاتيا عند انخفاض ضغط دائرة المفاعل الأولية لتعويض فقدان جزئى لسائل تبريد المفاعل.
(Air Ejector)	قاذف هوائي	جهاز لطرد الهواء من مكثف دورة البخار في محطة الطاقة النووية للحفاظ على ضغطه عند حد معين أقل من الضغط الجوي.
(Albedo)	الأشعة المنعكسة من الشمس	حجم الإشعاع الشمسي الذي ينعكس من على سطح أو جسم ويعبر عنه بالنسبة المئوية من أشعة الشمس الساقطة وهي نسبة مرتفعه بالنسبة للأسطح المغطاة بالجليد ومنخفضة للأسطح المغطاة بالنباتات والمحيطات وتعتمد على مقدار الغيوم.
(Alpha Particles)	جسيمات ألفا	جسيمات مشحونه لها 2 بروتون و2 نيوترون تنبعث من نواة أثناء التلاشي (Decay) الإشعاعي ويمكن إيقاف أشعة ألفا بواسطة سطح من الورق.
(Anthropogenic)	نشاط إنساني	النشاط الذي يقوم به الإنسان أو ينشأ عنه ومنها حرق الوقود الأحفوري الذي ينشأ عنه إنبعاث غازات الدفيئة مثل ثاني أكسيد الكربون.
(AP600)		الاسم التجاري لمفاعل الماء الخفيف المضغوط الذي قدرته 600 (MWe) ميجاوات كهرباء وهو من إنتاج شركة وستنجهاوس الأمريكية.
(AP1000)		الاسم التجاري لمفاعل الماء الخفيف المضغوط الذي قدرته 1000 (MWe) ميجاوات كهرباء وهو من إنتاج شركة وستنجهاوس الأمريكية.
(Atmosphere)	الجـــو	غلاف الغازات حول الأرض ويتكون الجو الجاف غالباً من غازات النيتروجين (النسبة الحجمية 78.1%) والأكسجين (النسبة الحجمية 20.9%) مع نسب بسيطة من غاز الأرجون (Argon) (النسبة الحجمية 0.93%) الهيليوم وغازات الصوبة النشطة مثل ثاني أكسيد الكربون (النسبة الحجمية 0.035%) والأوزون. ويحتوي هذا الغلاف على بخار الماء بنسب متغيره (النسبة الحجمية التقليدية حوالي 1%).
(Atom)	الذرة	أصغر جزء في العنصر يعطي الخواص الكيميائية للعنصر وتتكون الذرة من بروتونات ونيوترونات وإلكترونات.
Atomic) (Number	الرقم الذري	يعبر الرقم الذري عن عدد البروتونات (وبالتالي الإلكترونات) الموجودة بالذرة وتحدد الصفات الكيميائية للذرة.
(Atomic Weight)	الوزن الذري	وزن الذرة ومعظمها وزن البروتونات والنيوترونات في الذرة.
(Auxiliary Feed-Water)	نظام ماء تغذية مساعد	ماء تغذية بديل يتم تزويد المحطة به أثناء بدء تشغيل المحطة أو أثناء إيقافها.
(Availability)	إتاحية	أكبر كمية شغل ممكن استخلاصها من نظام خلال عملية ليكون في اتزان مع الجو المحيط وتكون العملية إنعكاسية.
(Annual Fixed Payment Ratio)	نسبة الدفعة السنوية الثابتة	نسبة الدفعة السنوية الثابتة المدفوعة وفاءً للقرض مقسوماً على قيمة القرض الكلي.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

B

(Back Pressure Turbine-BPT)	توربين بخاري ذو ضغط خلفي	توربين بخاري يتمدد فيه البخار فيديره ثم يخرج البخار كله عند ضغط محدد مطلوب لوحدات تحلية أو تسخين مثلا.
(Background Radiation)	الخلفية الاشعاعية (الطبيعية)	الإشعاع الموجود في الجو الطبيعي ويتضمن الأشعة الكونية (Cosmic Rays) والإشعاعات من المواد المشعة الموجودة في الهواء والماء أو الأرض أو الأشياء الحية.
(Bar)	بار	وحدة لقياس الضغط تساوي 100 كيلوباسكال وقيمتها قريبة للضغط الجوي.
(Barium)	باريوم	عنصر كيميائي رمزه Ba ورقمه الذري 56 وهو من معادن الأرض القلوية.
(Barrel of Oil)	برميل زيت وقود	حجم برميل البترول يساوي 42 جالون أمريكي أو 34.97 جالون إمبراطوري (أو 159 لتر).
(Barrel of Oil Equivalent)	مكافئ برميل وقود	مكافئ برميل وقود هي وحدة طاقة تساوي تقريباً الطاقة الناتجة من إحتراق برميل وقود زيت خام وتقدرها المصادر بكمية 6.1 جيجاجول (GJ).
(Base load Electricity)	كهرباء الحمل الأساسي	الطاقة الكهربائية التي تنتجها محطات الطاقة على مدى 24 ساعة (وعادة ما تستخدم المحطات الكبيرة التي تنتج الطاقة الكهربائية بأقل تكلفة ممكنة) وهذا عكس حمل الذروة (Peak Load) الذي يستخدم لمواجهة الأحمال القصوى خلال ساعات قليلة.
(Beta Particle)	جسيمات بيتا	جسيم له شحنه سالبة (إلكترون واحد) ينطلق من نواة ذرة أثناء الاضمحلال الإشعاعي، ويمكن إيقاف أشعة بيتا بلوح من الخشب سمكه 25 ملليمتر أو صحيفة رقيقة من الألومنيوم.
(Blow-down)	سائل مصروف	عملية تصريف ماء من قاع مولد البخار أو وحدات التحلية لمنع تجمع المواد المترسبة.
(Boiler)	غلاية	غلاية تقوم بتحويل الماء السائل إلى بخار وتزود بالحرارة نتيجة احتراق وقود.
(Boiling Water Reactor BWR)	مفاعل الماء المغلي	مفاعل يستخدم الماء العادي (الخفيف) لتبريد المفاعل وكمهدئ للنيوترونات ويتم فيه غليان الماء داخل المفاعل ليتحول إلى بخار يدار به التوربين البخاري لمحطة الطاقة النووية.
(Boron)	البورون	عنصر البورون يقوم بإمتصاص النيوترونات ويستخدم في المفاعلات للتحكم في عملية الإنشطار الخاصة بالوقود النووي ويستخدم البورون في تصنيع قضبان تحكم المفاعلات كما يتم إذابته في ماء مفاعلات الماء المضغوط بغرض التحكم في عملية الإنشطار أو ضخه في حالات الطوارئ.
(Boron Carbide)	كاربيد البورون (B_4C)	مادة شديدة الصلابة تستخدم في جسم الدبابات وفي القمصان المقاومة للرصاص، ومن أهم خواصه قدرته على امتصاص النيوترونات لذا يستخدم في صنع قضبان التحكم في المفاعلات.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

C

(Candu)	كاندو	الاسم التجاري لمفاعل الماء الثقيل الذي تنتجه كندا. والذي يعمل بوقود اليورانيوم الطبيعي والمهدأ والمبرد بالماء الثقيل. ومصطلح CANDU مأخوذ من الحروف الثلاث الأولى لكلمة Canada والحرف الأول لكلمة Deuterium والحرف الأول لكلمة Uranium
(Capacity)	قدرة أو سعة	قدرة محطة الطاقة لإنتاج معدل طاقة مثل 1000 ميجاوات أو محطة تحلية لإنتاج ماء مقطر مثلا 100 مليون جالون يومياً.
(Capacity Factor)	معامل القدرة	كمية الطاقة الكهربائية التي تنتجها محطة خلال فترة ما (وعادة ما تكون عاما كاملاً) مقسوماً على كمية الطاقة التي كان يمكن أن تنتجها هذه المحطة إذا تم تشغيلها بطاقتها الكاملة لمدة أربعة وعشرون ساعة يومياً خلال هذه الفترة.
(Carbon Dioxide-CO_2)	ثاني أكسيد الكربون	غاز موجود في الطبيعة بنسبة 350 جزء في المليون كما أنه أحد نواتج إحتراق الوقود الأحفوري مثل الغاز الطبيعي أو زيت البترول أو الفحم.
(CASKS)	صناديق	صندوق مغلق يصنع عادة من الخرسانة أو الخزف توضع به النفايات النووية.
(Cataract)	إعتام عدسة العين	الغشاوة التي تحيط بعدسة العين والتي قد تنشأ من الإشعاعات النووية.
(Chain Reaction)	التفاعل المتسلسل	يعرف التفاعل المتسلسل أيضاً بالإنشطار المتسلسل ويمثل سلسلة متعاقبة من الأحداث الدائمة (Self Sustaining) وهي الأحداث التي تقع عندما يشطر نيوترون نواة فينبعث منها نيوترونات أخرى (على الأقل نيوترون واحد) تقوم بشطر نواة أخرى فتبعث نيوترونات أخرى وهكذا.
(Charging Pump)	مضخة شحن	مضخة ضغط مرتفع (قليلة السريان الحجمي نوعاً) تقوم بتغذية دورة تبريد المفاعل بماء تعويض أثناء التشغيل العادي كما تقوم بدور مضخة حقن للماء عند حدوث شرخ أو كسر بسيط في دورة تبريد الوقود عندما لا يتطلب الأمر حقن كمية كبيرة من الماء.
(Chemical Addition Tank)	خزان المواد الكيميائية المضافة	خزان يحتوي على حامض البوريك الذي يتم إضافته لدورة تبريد مفاعل الماء المضغوط للتحكم في عملية الإنشطار.
(Chemical and Volume Control System)	نظام التحكم في كيمياء وحجم ماء التبريد	يقوم هذا النظام في مفاعلات الماء المضغوط بتزويد دورة تبريد المفاعل بكمية مناسبة من حامض البوريك للتحكم في المفاعل كما يحفظ حجم مناسب من ماء التبريد في دورة التبريد ويقوم أيضاً بتنقية ماء التبريد بواسطة راتنجات التبادل الأيوني (Ion Exchange Resin).
(Chemical Energy)	الطاقة الكيميائية	الطاقة التي تنبعث نتيجة إحتراق الوقود الأحفوري مثلا خلال التفاعلات الكيميائية.
(Circulating Water System)	نظام ماء تبريد المكثف الدوار	نظام الماء الذي يوفر ماء التبريد لمكثف محطة الطاقة الكهربائية لتكثيف بخار الماء القادم من التوربين البخاري إلى المكثف.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

(Cladding)	أغلفة الوقود النووي	التغليف الخارجي لقضيب الوقود النووي والمانع للتسرب والمصنوع عادة من الصلب غير قابل للصدأ أو من خليط الزركونيوم أو الألومونيوم ويمثل التغليف حاجزاً لمنع خروج المواد المشعة من قضبان الوقود إلى سائل تبريد المفاعل ويمثل أول حاجز وقائي.
(Climate)	المناخ	يمكن تعريف المناخ على أنه متوسط حالة الجو خلال مدة معينة (عقد مثلاً) كدرجات الحرارة والرياح وتساقط الأمطار.
(Cogeneration Power Distillation Plants CPDP)	المحطات المشتركة لإنتاج الطاقة الكهربائية والمياه المقطرة	محطة طاقة حرارية تقوم بإنتاج الطاقة الكهربائية من الطاقة الحرارية للوقود وتنتج في نفس الوقت مياه محلاة من ماء البحر – وجميع محطات الطاقة بالكويت محطات مشتركة لتوليد الطاقة وتحلية المياه.
(Cold Leg)	الفرع (أو الساق) البارد	أنبوب في مفاعل الماء المضغوط ينتقل فيه ماء تبريد المفاعل من مضخة دورة تبريد إلى وعاء المفاعل ليتم تسخينه.
(Cold Shutdown)	إيقاف المفاعل البارد	حالة المفاعل عندما يتم إدخال جميع قضبان التحكم إلى المفاعل وعندما تكون درجة حرارة ماء تبريد المفاعل أقل من 93 درجة مئوية.
(Combustion)	إحتراق الوقود الأحفوري	عملية كيميائية ينتج عنها طاقة حرارية يتم فيها تفاعل الكربون والهيدروجين الموجود في الوقود مع الأوكسجين (الموجود عادة في الهواء) فيتحول إلى ثاني أكسيد الكربون وماء. وقود+أوكسجين ⟵ حرارة+ماء +ثاني أكسيد الكربون ويلزم لبدء عملية الإحتراق وصول الوقود السائل إلى درجة حرارة تسمى درجة حرارة الوميض (Flash Temperate) وتوفر كمية الأوكسجين (أي الهواء) اللازم لعملية الإحتراق.
(Condensate Storage Tank)	خزان ماء التكثيف	خزان ماء يتم فيه تخزين ماء نقي لتعويض ماء التكثيف أثناء تشغيل المحطة ولتعويض الماء في المولد البخاري المتصل بمفاعل الماء المضغوط لتبريد المولد البخاري عند توقف المفاعل ويمكن إستخدامه كماء طوارئ لمفاعلات الماء المغلي في حالة فقد ماء تبريد المفاعل.
(Condensate)	ماء التكثيف	الماء الناتج من تكثيف بخار الماء في مكثف محطة الطاقة.
(Condenser)	مكثف	مبادل حراري يتم فيه تكثيف بخار الماء الخارج من التوربين البخاري عند ضغط منخفض (أقل من الضغط الجوي).
(Condensing Extraction Turbine)	توربين سحب – تكثيف	توربين بخاري يتمدد فيه البخار من الضغط المرتفع إلى ضغط معين يتم عنده سحب جزء من البخار المتمدد بينما يتمدد باقي البخار إلى المكثف.
(Containment Air Recirculation)	نظام تدوير الهواء لتنظيف وتبريد مبنى الإحتواء	نظام للتخلص من كمية الحرارة والمواد المشعة من جو مبنى الإحتواء في حالة حصول حادث في المفاعل.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

(Containment Isolation)	عزل مبنى الإحتواء	إغلاق جميع طرق الهواء من مبنى الإحتواء لمنع تسرب هواء المبنى إلى الخارج.
(Containment Spray System)	نظام رش مبنى الإحتواء بالماء	نظام يقوم برش ماء بارد في مبنى الإحتواء في حالة إرتفاع الضغط (نتيجة وجود بخار ماء في المبنى) فيقوم الماء المرشوش بتكثيف بخار الماء ليقلل الضغط ويزيل النويدات المشعة.
(Containment)	مبنى إحتواء	مبنى محكم السد من الهواء (Air Tight) مصنع من الخرسانة المسلحة ومبطن من الداخل بألواح من الصلب يضم المفاعل لإحتواء المواد الإشعاعية من الإنبعاث للجو الخارجي في حالة حصول حادث للمفاعل وهو يمثل ثالث حاجز وقائي.
(Contamination)	التلوث الإشعاعي	ترسب مواد مشعة غير مرغوب بها على سطح مبنى أو مساحة أو جسم أو أفراد.
(Control Rod)	قضيب تحكم	هو قضيب يحتوي على مادة تقوم بإمتصاص النيوترونات يتم إدخالها إلى المفاعل وتمنع قضبان التحكم النيوترونات من التسبب في حدوث إنشطارات زائدة في وقود المفاعل أو الإستمرار في التفاعل النووي المتسلسل وعادة ما يكون من مادة الكاربيد أو الكادميوم.
(Control Room)	غرفة التحكم	مركز تشغيل المحطة النووية ويتم فيها مراقبة أجهزة المحطة والتحكم فيها.
(Controlled Shutdown)	إيقاف محكوم	طريقة لتخفيض قدرة المفاعل ببطء من قدرة معينة حتى الإيقاف.
(Coolant)	مائع التبريد	مائع – عادة ماء – يقوم بتبريد المفاعل وينقل الحرارة الناتجة من المفاعل لمكان آخر. وفي مفاعلات الماء الخفيف (العادي) يقوم الماء أيضا بالعمل كمهدئ (أو مبطئ) النيوترونات حتى تتمكن من إجراء عملية الإنشطار.
(Core Spray System)	نظام رش قلب المفاعل	نظام طوارئ لتبريد قلب مفاعل الماء المغلي حيث يتم رش ماء بارد مباشرة على مجموعة الوقود في قلب المفاعل في حالة فقد ماء تبريد ماء المفاعل.
(Core)	قلب المفاعل	مجموعات الوقود النووي في المفاعل والتي تنتج الطاقة النووية التي تتحول إلى طاقة حرارية.
Cooling component water	ماء تبريد المعدات بالمفاعل	ماء يبرد المفاعل ويطرد حرارته للجو أثناء طرد حرارة التلاشي.
(Critical Mass)	الكتلة الحرجة	أقل كتلة من الوقود اللازمة لإستبقاء التفاعل المتسلسل.
(Criticality)	الحرجية	النقطة التي عندها يستطيع المفاعل إجراء تفاعل متسلسل.
(Crossover Leg)	فرع (أو ساق) التوصيل	أنبوب في دورة ماء تبريد مفاعل الماء المضغوط ينتقل فيه ماء التبريد من المولد البخاري إلى مضخة ماء تبريد المفاعل.
(Cycle Efficiency η)	كفاءة الدورة	يعبر عادة عن كفاءة دورة إنتاج الشغل من الطاقة الحرارية بكمية الشغل الناتج إلى الطاقة الحرارية المدفوعه.
(Combined Cycle –CCGT)	دورة التوربين الغازي المركبة	دورة إنتاج طاقة تستخدم توربين غازي كدورة علوية ويتم استخدام الغازات الساخنة المطرودة من التوربين الغازي لتوليد بخار يتم استعماله لإدارة توربين بخاري في دورة بخار تسمى الدورة السفلية.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

D

(Deaerator)	نازع الهواء	جهاز يستعمل في محطات الطاقة أو محطات التحلية لطرد الهواء المذاب في الماء عادة باستخدام بخار.
(Decay Heat)	حرارة التلاشي	بعد إغلاق المفاعل يستمر إنتاج كمية من الحرارة نتيجة إستمرار بعض الإشعاعات من المواد المشعة بالمفاعل وتسمى حرارة التلاشي.
(Decontamination)	إزالة التلوث	عملية إزالة التلوث الإشعاعي بالتنظيف أو الغسيل بالكيماويات.
(Depleted Uranium)	يورانيوم منضب (مستنفذ)	يورانيوم به نسبة يورانيوم-235 (U-235) أقل من النسبة الموجودة في اليورانيوم الطبيعي (ناتج من استخلاص اليورانيوم 235 من اليورانيوم الطبيعي كمنتج ثانوي). ويمكن خلط اليورانيوم المنضب مع يورانيوم عالي الإثراء (من الأسلحة النووية) ليستخدم وقوداً للمفاعلات.
(Desalted Water)	مياه محلاه	ماء بحر أو مياه آبار أو مياه قليلة الملوحة يتم فصل جزء من المياه بعملية أوعمليات التحلية (التقطير، التناضح العكسى، التجمد...) لتصبح مياه محلاه وتتركز باقى الأملاح فى الجزء الباقى منه (مياه أجاج).
(Deuterium)	ديوتيريوم هيدروجين ثقيل	أحد نظائر الهيدروجين وتحتوي نواته على بروتون ونيوترون وبالتالي تحتوي ذرته على إلكترون واحد وهو موجود في الماء العادي بنسبة حوالي ١٥٤ جزء في المليون.
(Deuterium Oxide)	الماء الثقيل أو أكسيد الديوتيريوم (D_2O)	يحتوي الماء الثقيل على نسبة ديوتيريوم (أو هيدروجين ثقيل) أعلى من النسبة الموجودة في الماء العادي الذي تبلغ نسبته به 156 جزء في المليون.
(Diesel Generator)	مولد ديزل كهربائي	مولد ديزل كهربائي يستخدم لإدارة نظام السلامة في المفاعل في حالة عدم توفر طاقة كهربائية لتشغيل النظام.
(Discharge)	صرف ماء تبريد المكثف	خروج ماء تبريد المكثف دافئاً بعد قيامه بتكثيف البخار.
(Disposed Fuel)	الوقود النووي المستهلك	الوقود النووي المستهلك المراد التخلص منه.
(Distilled Water)	ماء مقطر	ماء يتم الحصول عليه من خلال عملية التحلية بالتقطير أي تحويل جزء من الماء الملحي إلى بخار نقي يتم تكثيفه فيصبح ماءً نقياً.
(Distillation Mechanical Equivalent Consumption/m^3)	الطاقة الميكانيكية المكافئة المستهلكة لتحلية متر مكعب من ماء البحر	الطاقة الميكانيكية المكافئة للطاقة الحرارية المستهلكة لإنتاج متر مكعب واحد من الماء المقطر مضافاً إلى الطاقة الميكانيكية اللازمة لاستخدامها في عملية الضخ بمحطات التحلية.
(Dose)	جرعة	كمية الطاقة الممتصه نتيجة التأين الإشعاعي لكل كيلوجرام من الخلايا المستقبلة للإشعاع وعادة ما تقاس بوحدات راد (Rad).

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

(Dose Rate)	معدل الجرعة	الجرعة الممتصة في الثانية بوحدات راد/ثانية.
(Dosimeter)	مقياس جرعات	جهاز كغرفة تأين توضع في الجيب أو يتم لبسها وتستعمل لتسجيل وقياس جرعة الإشعاع التي يتلقاها الشخص خلال فترة زمن معنية.
(Dry Well)	بئر جاف	جزء من مبنى الاحتواء (أسفل المبنى) لمفاعل الماء المغلي.
(Dryness Fraction)	كسر الجفاف	نسبة البخار في خليط مكون من ماء سائل وبخار.

E

(Efficiency)	كفاءة	تعرف كفاءة محطة إنتاج الطاقة بالشغل الناتج مقسوماً على الحرارة المدفوعة.
(Electron)	إلكترون	جسيم من تركيب الذرة وأصغر منها بكثير وزنه يصل إلى 1\1837 من وزن البروتون.
(Electric Generator)	مولد كهربائي	جهاز يقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية وعادة ما يكون مركب على عمود مشترك مع التوربين البخاري أو الغازي في محطات الطاقة.
(Emergency Core Cooling System)	نظام طوارئ لتبريد المفاعل	نظام طوارئ تم تصميمه لضخ كمية ماء تبريد كافية لقلب المفاعل للحفاظ على قضبان الوقود في قلب المفاعل مغمورة بالماء وتبريد قلب المفاعل عند حصول أي حادث.
(Emergency Station Transforms)	محطة محول للطوارئ	محول يقوم بتغذية المحطة بالطاقة الكهربائية في حالة فشل تحويل طاقة كهربائية للمحطة من الشبكة.
(Enriched Fuel)	وقود مثري	وقود نووي به نسبة تركيز يورانيوم-235 (U-235) أعلى من تركيزه في اليورانيوم الطبيعي وكافية لاستدامة التفاعل المتسلسل في المفاعل.
(Enrichment)	إثراء	عملية كيميائية أو ميكانيكية لزيادة نسبة نظير معين. وفي إثراء اليورانيوم يتم زيادة نسبة اليورانيوم U-235 والذي تكون نسبته 0.711 في اليورانيوم الطبيعي لتصبح هذه النسبة من 3% إلى 5% فيصبح وقوداً مثرياً لمفاعلات الماء الخفيف. أما الأسلحة النووية فتزيد نسبة إثراء اليورانيوم بها حتى 90% من اليورانيوم-235 (U-235).
(Enthalpy)	إنثالبي	الحرارة الكلية الكامنة في البخار (أو الهواء) ويعبر عادة عن قيمتها النوعية بوحدات الكيلوجول.
(Entropy)	إنتروبي	خاصية مثل الانثالبي للبخار مثلا وتعبر عن القصور الحراري أو الفوضى (اللاتجانس) في توزيع الطاقة وتربطها علاقة بكمية الطاقة ودرجة الحرارة المطلقة ووحداتها النوعية كيلوجول/ (كجم كلفن).
(Exergy)	الإتاحية	أكبر كمية شغل يمكن الحصول عليها من نظام خلال عملية ليكون في اتزان مع الجو المحيط وتكون العملية انعكاسية.
(Extraction Steam)	البخار المستنزف	البخار المسحوب من عدة مراحل من التوربين البخاري لتسخين مياه التغذية العائد من المكثف لمولد البخار أو لعملية تسخين.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

F

(Feed Water Cooling Injecting System)	نظام حقن ماء التبريد	يتم في مفاعلات الماء المغلي حقن جزء من مياه التغذية (المتجمع بعد المكثف في خزان ماء التكثيف) تحت ضغط مرتفع في الساق الباردة للمفاعل كوسيلة أمان في حالة حدوث كسر بسيط في نظام تبريد ماء المفاعل.
(Feed Water Heaters)	مسخنات مياه التغذية	مبادلات حرارية تقوم بتسخين ماء التكثيف المتجمع بعد المكثف أثناء ضخه كماء تغذية إلى مولد البخار في مفاعلات الماء الخفيف المضغوط أو إلى المفاعل نفسه في مفاعلات الماء المغلي وتتم عملية التسخين بواسطة بخار يتم سحبه من التوربين البخاري. وعادة ما تكون هذه المسخنات مغلقة أي لا يختلط فيها بخار التسخين مع ماء التغذية باستثناء مسخن واحد يسمى السخان المفتوح أو نازع الهواء حيث تكون وظيفته بجانب تسخين ماء التغذية نزع الهواء (أساساً الأوكسجين) منه حتى لا يسبب الصدأ في مولد البخار في حالة مفاعل الماء المضغوط.
(Feed Water)	ماء التغذية	ماء التغذية هو الماء الذي يتم ضخه إلى مولد البخار في محطة الطاقة الكهربائية التقليدية وكذلك في مفاعلات الماء المضغوط في الساق الباردة للمفاعل (سواء كان خفيفاً أو ثقيلا). وأما في مفاعلات الماء المغلي فإنه يتم ضخ ماء التغذية للمفاعل نفسه.
(Fertile Material)	مادة خصبة	هي المادة التي يمكن تخصيبها لتصبح مادة مخصبة نتيجة إمتصاصها نيوترون (أو نيوترونات) وعادة ما يتبع ذلك اضمحلال إشعاعي. ومن الأمثلة الهامة للمواد القابلة للتخصيب اليورانيوم-238 (U-238) الذي يمكن تحويله إلى بلوتونيوم-239 (U-239) وهو مادة انشطارية أي قابلة للانشطار وتستخدم في المفاعلات وفي السلاح النووي وكذلك الثوريوم-232 (Th-232) الذي يتحول إلى ثوريوم-233 (U-233) وهو مادة انشطارية أي قابلة للانشطار.
(Fissile Material)	مادة إنشطارية	مادة لها نواة (Nuclide) يمكن إنشطارها بواسطة نيوترونات حرارية (Thermal Neutrons) مثل اليورانيوم U-235 والثوريوم U-233 والبلوتونيوم-U 239.
(Fission)	عملية الإنشطار	ترمز عملية الإنشطار إلى شطر (Splitting) نواة ذرة بواسطة نيوترون حيث يتم في عملية الإنشطار إصطدام نيوترون بنواة ذرة خصبه (مثل نواة U-235) فتمسك النواة بالنيوترون ثم تنشطر مطلقة طاقة كبيرة ونيوترونات. وقد تقوم هذه النيوترونات بالإصطدام بنويات (جمع نواة) خصبه أخرى وتبدأ سلسلة من التفاعل الإنشطاري.
(Fission Fragment) (or Product)	شظايا (أو نواتج) الإنشطار	عند إنشطار نواة إلى جزئين وإنبعاث طاقة ونيوترونات منها فإن نواتج عملية الإنشطار تسمى شظايا (أو نواتج) الإنشطار وقد تكون هذه النواتج في حالة إتزان أو حالة عدم إتزان (أي غير متزنه أو مشعه) ومن نواتج الإنشطار الهامة: النظائر شديدة الإشعاع والمتكرر حدوثها مثل البرومين (Bromine) والسيزيوم (Caesium) والأيودين (Iodine) والكريبتون (Krypton) والروبيديوم (Rubidium) والاسترونشيوم (Strontium) والزينون (Xenon) وتمثل هذه النواتج وكذلك نواتج تلاشيها (Decay Product) المكونات الأساسية للنفايات النووية.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

(Fissionable Material)	مادة قابلة للإنشطار	هي التي يمكن امتصاصها أو انشطارها للنيوترونات (السريعة) لتتحول إلى مادة أخرى منشطرة وهي تختلف عن المادة المخصبة التي يتم إنشطارها بواسطة اصطدامها بنيوترونات.
(Flux)	دفـــــق	قياس لعدد النيوترونات المارة خلال مقطع المفاعل (دفق النيوترونات) خلال فترة معينة لقياس شدة تفاعل الإنشطار.
(Fossil Fuels)	الوقود الأحفوري	الوقود الأحفوري مثل الفحم والغاز الطبيعي وزيت البترول والمكون أساساً من الكربون والهيدروجين ويتفاعل مع الأكسجين الموجود في الهواء لإنتاج طاقة حرارية.
(Fuel Assembly)	تجميعة الوقود	هي قضبان الوقود التي يتم ترتيبها في مجموعات ثم وضعها في وعاء المفاعل لتكون قلب المفاعل وكل مجموعة تتكون من 60 إلى 300 قضيب وقود.
(Fuel Cycle)	دورة الوقود	يرمز هنا إلى دورة الوقود النووي وتعني خطوات تصنيع الوقود النووي وتشمل عمليات تصنيعة من خام اليورانيوم حتى إستعماله في المفاعلات ثم بعد ذلك عمليات التخلص منه كنفايات نووية أو إعادة تصنيعه ليستعمل مرة أخرى بالمفاعلات كوقود نووي.
(Fuel Pellets)	أقراص وقود	وقود يورانيوم في شكل إسطوانة خزفية طولها تقريبا 1/2 بوصه وقطرها 3/8 بوصة ويتم رصها داخل أنبوبة طويلة ثم يحكم غلقها وسدادها لتكون قضيب وقود.
(Fuel Reprocessing)	إعادة معالجة الوقود	معالجة كيميائية للوقود بعد إستعماله في المفاعل ويتم فيها فصل الوقود إلى وقود يعاد إستعماله من اليورانيوم والبلوتونيوم وبعض النفايات يتم التخلص منها.
(Fuel Rod)	قضيب الوقود	يتكون من أنبوبة مملوءة بكبسولات من الوقود النووي ومحكمه السداد على الوقود ويتراوح طول الأنبوب من 3 إلى 4.2 متر ومصنعة من الصلب غير قابل للصدأ أو من إحدى سبائك الزركونيوم وتعبأ بغاز خامل تحت ضغط أقل من الضغط الجوي.
(Fusion)	الإندمـــاج	عملية الإندماج عكس عملية الإنشطار. والإندماج تفاعل نووي حيث تجتمع نويات (جمع نواة) خفيفة ليكونوا نواة ثقيلة وحدوث إنبعاث طاقة حرارية. وتحدث هذه العملية بإستمرار في الكون وأهمها في قلب الشمس حيث تتراوح درجة الحرارة من 10 إلى 15 مليون درجة مئوية وفيها يتحول الهيدروجين إلى هيليوم ويعطي الطاقة التي تحفظ الحياة على الأرض.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

G

(Gain ratio)	معامل الكسب	تستخدم في عمليات التحلية بالطرق الحرارية وتعبر عن عدد كيلوجرامات المياه المقطرة التي يتم الحصول عليها من كل واحد كيلوجرام من بخار التسخين الذي تزود به وحدة التحلية.
(Gamma Rays)	أشعة جاما	هى أشعة كهرومغناطيسية ذات الطاقة الأعلى وذلك لأنها تنتج من التصادمات النووية وكذلك من العناصر المشعة (حيث تصل طاقة أشعة جاما إلى مليون الكترون فولت) ، وهي ذات الطول الموجي الأقصر في الطيف وشديدة النفاذية ومماثلة لأشعة إكس باستثناء أنها تنبعث من نواة ذرة. وأفضل وسيلة لوقف نفاذها إستخدام ساتر من مادة شديدة الكثافة مثل الرصاص أو الماء أو الخرسانة الثقيلة.
(Gas Turbine)	توربين غازي	توربين غازي لتوليد طاقة كهربائية يعمل في محطات الطاقة النووية كوحدة احتياطية (أي مساندة) في حالة الطوارئ وتعمل بزيت الوقود أو بالغاز الطبيعي.
(Giga Joule)	جيجا جول	الجول هو وحدة الطاقة فى النظام المترى (بذل وحدة قوة لمسافة متر N.m) و ألف ميجاجول وتساوي مليون كيلوجول أوتساوي بليون جول.
(Geiger Mueller) Counter)	عداد جيجر	جهاز للكشف وقياس شدة إشعاع بيتا وإشعاع جاما.
(Gray-Gy)	جراي	وحدة قياس جرعة من الطاقة الممتصة نتيجة الإشعاع التأيني لكل جرام من المادة الممتصة وقيمتها 100 وحدة راد (Rad).
(Green House Gases Effect) or (Global warming)	احترار الأرض بسبب غازات الدفيئة	تسخين كوكب الأرض بسبب وجود طبقة غازات حول الأرض تقوم بإمتصاص الأشعة فوق الحمراء الصادرة من الأرض. كما تقوم هي نفسها بإصدار هذه الإشعاعات وتتكون هذه الغازات (وتسمى غازات الصوبة أو غازات الدفيئة) من بخار الماء وثاني أكسيد الكربون والميثان. وبالتالي فإن تلك الغازات تحبس الحرارة داخل طبقات الغلاف السفلي للجو.
(Greenhouse Gases) GHG	غازات الدفيئة أو غازات الصوبة	هي الغازات التي تمتص الإشعاع الحراري ذو الموجات الطويلة (Infrared Radiation) الصادرة من سطح الأرض أو من الغلاف الجوي ويعاد اشعاعه في جميع الاتجاهات ومنها الإتجاه إلى أسفل (أي إلى سطح الأرض).
(Gross power)	الطاقة الكلية	الطاقة الكلية التي تنتجها المحطة ثم يخصم جزء منها لتشغيل معدات المحطة ويصبح الباقي طاقة صافية للتصدير.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

H

(Heat Exchanger)	مبادل حراري	جهاز (أو وسيلة) يتم فيه إنتقال الحرارة من مادة إلى أخرى مثل مولد البخار في محطات الماء المضغوط أو مسخن ماء التغذية أو في المكثف في محطات الطاقة.
(Heavy Oil)	زيت وقود ثقيل	سائل بترولي يتم حرقه في الأفران أو الغلايات لتوليد طاقة حرارية وعادة ما يمثل الزيت المتبقي بعد عمليات تقطير البترول الخام ولذلك يسمى في بعض الأحيان الزيت المتبقي residual وعادة ما يعطي الرقم 5 والرقم 6.
(Heavy Water)	ماء ثقيل	الماء الثقيل يحتوي على نسبة ديوتيريم (D) أكثر من نسبتها في الماء العادي والتي تبلغ واحد في 6,500 (أي 154 جزء في المليون (ppm) والديوتيريم هو نظير للهيدروجين ويسمى الهيدروجين الثقيل وهو نظير متزن تتكون نواته من واحد بروتون وواحد نيوترون وبالتالي تحتوي ذرته على واحد إلكترون (أي أن الرقم الذري يساوي واحد والوزن الذري يساوي اثنين) بينما ذرة الهيدروجين العادي تحتوي على بروتون وإلكترون (أي ليس لها نيوترون) وبالتالي كل من رقمها الذري ووزنها الذري يساوي واحد ويمكن أن تزيد (D_2O) في الماء الثقيل حتى تصل إلى 100%. ويستخدم الماء الثقيل كمهدئ في مفاعلات الماء الثقيل لإبطاء النيوترونات لكي يتسنى لها التفاعل مع اليورانيوم الموجود في المفاعل ويزيد الماء الثقيل كفاءة عملية الإنشطار (مقارنة بالماء العادي) ولهذا فإن مفاعلات الماء الثقيل أكثر كفاءة في توليد البلوتونيوم من اليورانيوم U-238 واليورانيوم–233 من الثوريوم –232 مقارنة بمفاعلات الماء الخفيف.
(Heavy Water Reactor)	مفاعل ماء ثقيل	مفاعل ماء ثقيل مضغوط يتم فيه استعمال الماء الثقيل في دورة المفاعل الأولية التي تمتص حرارة الإنشطار الناتجة من الوقود النووي (عادة ما يكون يورانيوم طبيعي قليل الإثراء) كما يستعمل الماء الثقيل فيه كمهدئ نيوترونات.
(High Pressure Safety Injection-HPSI)	نظام أمان بالحقن عند ضغط مرتفع	نظام أمان يتم تصميمه لتزويد المفاعل بكمية قليلة من الماء تحت ضغط مرتفع لإبقاء الوقود في المفاعل مغطى بالماء ليتم تبريده وذلك في حالة فقد قليل في نظام ماء تبريد المفاعل نتيجة تسرب بسيط من هذا النظام.
(High Pressure Turbine - HP)	قطاع الضغط المرتفع في التوربين	أول قطاع في التوربين الذي يزود ببخار له ضغط مرتفع وخارج مباشرة من مولد البخار فيقوم بتحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية (دواره) ينتجها عامود التوربين.
(Highly Enriched Uranium)	يورانيوم شديد الإثراء	اليورانيوم الذي تزيد فيه نسبة اليورانيوم–235 (U-235) عن 20% يسمى يورانيوم عالي التركيز ويستخدم أساساً في إنتاج أسلحة نووية أو وقود في المفاعلات التي تسير الغواصات النووية. ويورانيوم الأسلحة النووية قد يحتوي على نسبة 90% من اليورانيوم–235.
(Horizontal Tube Evaporators – HTE)	مبخرات أنابيب أفقية	مبخرات تستعمل عادة في وحدات التحلية بالغليان متعدد التأثير وتركب به أنابيب أفقية ويتكثف بخار التسخين داخل الأنابيب بينما يتبخر جزء من الماء الملحي على سطح الأنابيب الخارجية.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

I

(IAEA)	الوكالة الدولية للطاقة الذرية	وكالة دولية تتبع الأمم المتحدة ومقرها جنيف تعني باستعمال الطاقة الذرية للأغراض السلمية
(In core Instrumentation)	أجهزة القياس بقلب المفاعل	الأجهزة المركبة في قلب المفاعل لرصد درجة حرارة قلب المفاعل ومدى إحتراق الوقود النووي ومستوى الطاقة (Power Level) ومستوى النيوترونات.
(Independent Spent Fuel Storage Installation)	تخزين مستقل للوقود	طريقة مستقلة لتخزين الوقود المستعمل بعد استهلاكه في المفاعل ويتم تخزينها في برميل جاف خارج بركة الوقود المستعمل تمهيداً لنقلها إلى مكان التخزين الدائم كنفاية.
(Inflation rate)	معدل التضخم	نسبة الزيادة في الأسعار وتعبر أيضا عن نسبة النقص في قوة النقود على شراء شئ ما وعادة ما يعطي التضخم بالنسبة المئوية خلال عام واحد.
(Infrared Radiation)	إشعاع ذو موجات طويلة	الإشعاع الحراري الصادر من الأرض أو الجو أو السحب ويعرف بإشعاع الموجات الطويلة ويقع مدى طول موجاته بين 0.7 ميكرومتر (µm) إلى 1000 (µm) (أي أطول من مدى الرؤية).
(In-Situ Leach-ISL)	الإستخراج (أو الترويق) من الموضع الأصلي	التعدين (أو إستخراج المعادن) بالترشيح الكيميائي من مصدر التعدين ذو الصخور المسامية دون الحاجة إلى عمليات الحفر وتسمى أيضا بتعدين المحاليل وهي طريقة مستخدمة لإستخراج اليورانيوم من مناجم اليورانيوم.
(Installed Desalination Capacity)	قدرة وحدات التحلية المركبة	قدرة وحدات التحلية على إنتاج معدل معروف من مياه التحلية فمثلا–قدرة وحدات التحلية في الكويت على إنتاج 1.5 مليون متر مكعب يومياً أو 330 مليون جالون يوميا من المياه المحلاه.
(Installed Power Capacity)	قدرة وحدات الطاقة المركبة	قدرة محطات الطاقة الكهربائية على إنتاج معدل معين من الطاقة الكهربائية فمثلا تستطيع محطات الطاقة في الكويت إنتاج ما يزيد عن 10 جيجاوات (10,000 ميجاوات) طاقة كهربائية.
(Intake Structure)	منشأة المدخل	المنشأة التي يتم بناءها عند مدخل الماء الخارجي (عادة ماء البحر) لمحطة الطاقة النووية الذي سيتم استخدامه كماء تبريد لمكثف محطة الطاقة أو كماء تبريد وتغذية لوحدات تحلية مياه البحر.
(Interest rate)	معدل الفائدة	الثمن الذي يدفعه المستدين لاستعمال المال الذي لا يملكه ويعبر عنه بالنسبة المئوية التي يدفعها المستدين سنوياً.
(Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC)	الهيئة الدولية الحكومية المعنية بتغير المناخ	أحد هيئات الأمم المتحدة المهتمة بالبيئة وقد أنشأت عام 1988 وتقوم بتقدير الآثار البيئية والاجتماعية والاقتصادية لتغير المناخ ووضع استراتيجيات لمواجهة هذه الظاهرة وفازت اللجنة بجائزة نوبل للسلام عام 2007.
(Ion Exchange)	تبادل أيوني	عملية كيميائية تتبادل فيها الأيونات (عملية عكسية) بين محلول ومادة صلبة وتستخدم للتنقية الدقيقة للمياه (polishing) في بعض النظم.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

(Ion)	أيون	ذرة أو جزئ مشحون كهربائيا وكمثال يتفكك كلوريد الصوديوم (NaCl) ليكون أيون موجب (Na^+) وأيون سالب (Cl^-).
(Isentropic Efficiency)	الكفاءة الايزنتروبية	تعبر الكفاءة الايزنتروبية عن مقدار الشغل الناتج من تمدد مائع أدياباتيكيا (كالبخار أو الهواء المضغوط) إلى الشغل المثالي الناتج من تمدد هذا المائع أدياباتيكيا وانعكاسيا أي تمدد يعطي شغلا أكثر.
(Isotopes)	النظائر	النظائر هي أشكال مختلفة من مركبات كيميائية لها نفس عدد البروتونات (وبالتالي نفس عدد الإلكترونات) في ذراتها ولكن لها أعداد مختلفة من النيوترونات. ومن أمثلة النظائر: نظير اليورانيوم–235 (U-235) له 92 بروتون و143 نيوترون. ونظير اليورانيوم –238 (U-238) له 92 بروتون و146 نيوترون ولليورانيوم 14 نظير، وبينما لا تؤثر عدد النيوترونات جوهرياً في كيمياء النظائر ولكنها تغير خواص المادة عند التفاعل النووي.

K

(Kilo)	كيلو	كلمة تسبق كلمة أخرى لتعني ألف فمثلا كيلوجرام (كجم) معناها ألف جرام وكيلووات (kW) تعني ألف وات.
(Kilo Watt)	كيلووات	ألف وات (انظر تعريف وات).
(Kilo Watt hour -kWh)	كيلووات ساعة	الكيلووات ساعة هي وحدة من الطاقة مكافئة لمعدل كيلووات (1000 جول في الثانية أو1000 وات) من الطاقة يتم استهلاكها (أو إنتاجها) لمدة ساعة من الوقت. وهي تساوي 3.6 مليون جول (أو 3.6 ميجاجول) ووحدة الكيلووات ساعة هي وحدة قياس للطاقة تستخدم مجال استهلاك الطاقة الكهربائية.
(Krypton)	كريبتون	عنصر كيميائي رَمزه Kr ورقمه الذري 36 وعادة ما يكون غاز لا لون له ولا طعم ولا رائحة.

L

(Light Water LW)	ماء عادي	الماء العادي ورمزه H_2O (أو H-O-H) يتكون كيميائياً من ذرتي هيدروجين مرتبطة بذرة أكسجين، ويمكن أن يكون سائلاً أو بخاراً أو صلباً حسب ضغطه ودرجة حرارته كما أنه مادة ليس لها طعم ولا لون ولا رائحة ولها قدرة فائقة على إذابة مواد كثيرة وتسمى في بعض الأحيان مذيب لذا يندر وجودها في حالة نقية 100%
(Light Water Reactor-LWR)	مفاعل الماء الخفيف	المفاعل الذي يستخدم ماء عادي (خفيف) كمبرد للوقود وكمهدئ للنيوترونات ومعظم المفاعلات التجارية هي من نوع مفاعلات الماء الخفيف وقد تكون مفاعل ماء مضغوط (أي يمر الماء خلال قلب المفاعل تحت ضغط ودرجة حرارة مرتفعة غير أنها لا تصل إلى درجة الغليان) أو مفاعل الماء المغلي حيث يتم تبخير جزء من ماء تبريد الوقود النووي أثناء سريانه داخل المفاعل.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

(Load Factor)	عامل الحِمل	تسمى أحيانا Capacity Factor ويعبر عن نسبة الإنتاج الفعلي للطاقة الكهربائية خلال مدة معينة (عام مثلا) إلى الطاقة الكهربائية التي كان من الممكن إنتاجها خلال العام لو استمر تشغيل المحطة بدون توقف.
(Loss of Coolant Accident-LOCA)	حادث فقد ماء التبريد	عند وقوع حادث نتيجة كسر في أنبوب أو تعثر في صمام مفتوح مما يؤدي إلى فقد في كمية ماء تبريد المفاعل يتم إيقاف المفاعل تلقائياً ثم تفعيل نظام الطوارئ لتبريد قلب المفاعل.
(Low Pressure Coolant/Safety Injection System)	نظام أمان لحقن مبرد ماء تحت ضغط منخفض	نظام أمان يصمم لضخ كميات كبيرة من المياه تحت ضغط منخفض للحفاظ على قلب المفاعل مغطى بالماء وذلك لتبريده في حالة حدوث كسر كبير يؤدي إلى فقد كمية من ماء تبريد المفاعل.
(Low Pressure Turbine)	توربين الضغط المنخفض	توربين يدخل فيه البخار بعد خروجه من قطاع الضغط المرتفع فيتمدد فيه حتى يصل إلى المكثف.

M

(Mega Watt)	ميجاوات	واحد ميجاوات وحدة دولية لقياس معدل الطاقة (أي الطاقة بالنسبة للوقت) وتساوي مليون جول/ثانية (وات). أما واحد ميجاوات كهربائي (MWe) فتشير إلى معدل إنتاج الطاقة الكهربائية من مولد كهربائي وأما واحد ميجاوات حراري (MWt) فتشير إلى معدل إنتاج الطاقة الحرارية الناتجة من مفاعل نووي مثلاً والعلاقة بينهما تحددة كفاءة المحطة، فمثلاً إذا كان إنتاج الطاقة الحرارية من المفاعل 2700 ميجاوات (MW) وكفاءة المحطة تساوي إنتاج الطاقة الكهربائية مقسوماً على الطاقة الحرارية للمفاعل تساوي 1/3 وبالتالي فإن إنتاج الطاقة الكهربائية تساوي 900 ميجاوات كهرباء (MWe).
(Mega-M)	ميجا	كلمة تسبق كلمة أخرى لتعني مليون فمثلا مليون باسكال (MPa) يعبر عن الضغط بوحدات مليون باسكال أو ميجاجول يعبر عن الحرارة بوحدات مليون جول.
(Meltdown)	انصهار	زيادة كمية الحرارة المخزنة في قلب المفاعل والتي تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة وانصهار الوقود في حالة عدم وجود التبريد الكافي لهذا الوقود.
(Micro-µ)	ميكرو	كلمة تسبق كلمة أخرى لتعني واحد من المليون (وكمثال ميكرومتر أي واحد من المليون من المتر أو ميكروكيوري (Micro Curie) أي واحد من المليون من الكيوري.
(Milli-m)	ميللي	كلمة تسبق كلمة أخرى لتعني 1000/1 (واحد من الألف) وكمثال ميلليمتر يعني 1000/1 متر أو ميللي رم أي 1000/1 رم.
(Milling)	طحن	يتم طحن خام اليورانيوم وتجهيزه ميكانيكياً وكيميائياً بعملية تسمى الطحن milling.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

(Million Imperial Gallons Per Day-MIGD)	مليون جالون إمبراطوري يوميا	الجالون الإمبراطوري يساوي 4.564 لتر ومليون جالون إمبراطوري يساوي 4564 متر مكعب ويعبر عن قدرة وحدات التحلية بإنتاجها كمية مياه مقطرة بالمليون جالون إمبراطوري يومياً. وواحد مليون جالون إمبراطوري يساوي 52.62 كيلوجرام في الثانية.
(Mixed Oxide Fuel-MOX)	أكاسيد الوقود المختلطة	وقود نووي مصنع من خليط من أكاسيد البلوتونيوم واليورانيوم الطبيعي أو (المنضب).
(Mixture)	خليط	يعني هنا خليط من ماء سائل و بخار.
(Moderator)	مهدئ (مبطئ)	مادة تبطئ النيوترونات السارية في قلب المفاعل بحيث تسمح للنيوترونات بدء عملية الإنشطار والإستمرار في عملية الإنشطار. وهذه المادة هي الماء الخفيف في مفاعلات الماء الخفيف والماء الثقيل في مفاعلات الماء الثقيل والجرافيت في مفاعلات الجرافيت.
(Modes)	حالة المفاعل	تصنيف حالة المفاعل لتعبر عن مستوى طاقة المفاعل ودرجة حرارة ماء تبريد المفاعل وضغطه في مفاعلات الماء المضغوط ومن ضمن الحالات المعروفه (قدرة التشغيل، توقف ساخن، إيقاف ساخن، إيقاف بارد، تقويم (بدء تشغيل)، إعادة شحن الوقود).
(Moisture Separator/ Reheated)	فاصل رذاذ الماء/ مُعيد التسخين	جهاز يقوم بفصل رذاذ الماء (سائل) من البخار الخارج من قطاع توربين الضغط المرتفع ثم يعاد تسخين البخار قبل إدخاله إلى قطاع التوربين الضغط المتوسط (أو المنخفض).
(Multi Effect Boiling-MEB) or MED	التحلية بالغليان متعدد التأثير	في وحدات التحلية بالغليان متعدد التأثير يتم تزويد المبخر (التأثير) الأول بحرارة التسخين بحيث يقوم بإنتاج كمية بخار من الماء الملحي ثم يوجه هذا البخار الناتج إلى تأثير ثاني ليصبح مصدر حراري لتسخين هذا التأثير وينتج أيضاً كمية بخار من الماء الملحي في هذا التأثير، ثم يصبح البخار المتكون في التأثير الثاني مصدر حراري لتسخين التأثير الثالث وهكذا.
(Multi Stage Flash-MSF)	التحلية بالتبخير متعدد المراحل	يتم في هذه الطريقة تعريض ماء ملحي ساخن له درجة حرارة أعلى من درجة حرارة التشبع (المقابلة للضغط) في غرفة التبخير الذي يوجه لها الماء الملحي فيتبخر جزء منها فجأة وتتكرر هذه العملية في عدة مراحل يخفض فيها ضغط كل مرحلة عن الأخرى.

N

(Nano Filtration)	الفلترة النانوية	يستخدم في عملية الفلترة النانوية فلاتر شبة منفذه والتي إذا ضغط محلول ملحي إليها فإنها تسمح بإمرار الماء ولا تسمح بمرور الأملاح ذات الجزيئات الكبيرة وتستخدم في تطبيقات عديدة في معالجة المياه المبدئية بتنقيتها من المواد العالقة والميكروبات وعسر الماء مثل الكالسيوم والكبريتات والكربونات وأهم استخداماتها حديثا في المعالجات الأولية لعمليات التحلية وخاصة في وحدات التناضح العكسي وكذلك التقليل الحجمي للمياه المالحة المصروفة لزيادة نسبة الاسترجاع.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

(Nano)	نانو	كلمة تسبق كلمة أخرى لتعني واحد في البليون.
(Natural Circulation Steam Generator)	مولد بخاري بالسريان الطبيعي	مولد بخاري يسري بداخلة البخار والماء المراد غليانه بالسريان الطبيعي نتيجة فرق الكثافة بينهما.
(Natural Gas)	غاز طبيعي	غاز يتكون أساساً من غاز الميثان مع غازات أخرى ويستخدم حاليا بكثرة في تشغيل التوربينات الغازية وكوقود للمولدات البخارية.
(Natural Uranium)	اليورانيوم الطبيعي	هو اليورانيوم الموجود في الطبيعة ويتكون من 99.28% يورانيوم-238 (U-238) و0.7% يورانيوم-235 (U-235) و0.01% يورانيوم-234 (U-234) ويمكن إستخدامه كوقود في مفاعلات الماء الثقيل (الذي يستخدم الماء الثقيل كمهدئ وكذلك كوسيط تبريد بدون تخصيبه أو بتخصيبه.
(Net Efficiency η)	الكفاءة الصافية لمحطات الطاقة	تعبر الكفاءة الصافية لمحطات الطاقة عن صافي الشغل معبراً عنها بصافي الطاقة الكهربائية الناتجة بعد تلبية احتياجات الطاقة في المحطة نفسها مقسوماً على كمية الحرارة الناتجة من احتراق الوقود الذي تزود به المحطة.
(Neutron)	نيوترون	أحد تقسيمات الذرة – ليس له شحنه كهربائية ووزن النيوترون أكثر قليلا جداً من وزن البروتون (تكون النيوترونات والبروتونات نواة الذرة). ويسبب إنطلاق النيوترونات إستدامة (إستمرار) عملية الإنشطار النووي في قلب المفاعل.
(Nitric Oxide-NxOy)	أكاسيد النيتروجين	أي مركب ثنائي من النيتروجين والأوكسجين ولها سبعة مركبات منها الأشكال التالية: (NO) تسمى أكسيد النيتريك و(NO_2) تسمى ثاني أكسيد النيروجين و(N_2O) أكسيد النيتروز وتركيبات أخرى وهو غاز ملوث للجو ومن غازات الدفيئة.
(Noble Gases)	غازات نبيلة (لا تتحد)	بعض الغازات التي تنتج من عملية الإنشطار النووي تسمى غازات نبيلة ولا تتحد مع مواد أخرى. وعندما يتم استنشاقها فإنها تخرج فوراً وبدون سريان في الدم. ومن الغازات النبيلة الهيليوم والنيون والأرجون والكريبتون والزينون والرادون.
(Nozzle)	بوق	بوق يدخل سريان ذو ضغط مرتفع ويخرج منه عند ضغط منخفض ولكن عند سرعة مرتفعة.
(Nuclear Heating Reactor–NHR)	مفاعل نووي لإنتاج طاقة حرارية	مفاعل نووي الغرض منه إنتاج كمية حرارة لعملية معينة مثل عمليات التحلية أو التكييف وليس لإغراض إنتاج الكهرباء.
(Nuclear Fuel Cycle)	دورة الوقود النووي	تبدأ دورة الوقود النووي من تعدين اليورانيوم (أي إستخراجه من الأرض) ومروره بعدة عمليات تنتهي بعملية التخلص من النفايات التي تنتج من التفاعل النووي في محطات الطاقة النووية. وهناك دورتين معروفتين للوقود النووي أحدهما دورة مغلقة وأخرى مفتوحة. ففي دورة الوقود المغلقة يتم تعدين الوقود بسحق خام اليورانيوم وتحويله وإثرائه واستخدامه في عملية الإنشطار في المفاعل لإنتاج الطاقة الحرارية أو إنتاج نظائر مشعة (لأغراض صناعية أو طبية) ثم يتم إعادة التعامل مع الوقود المستهلك لإعادة إستعماله. أما في دورة الوقود المفتوحة فلا يتم إعادة اسهلاك الوقود المستعمل بعد إخراجه من المفاعل بل يتم التخلص منه أو تخزينه.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

(Nuclear Power Plant)	محطة طاقة نووية	محطة تقوم بتحويل الطاقة النووية إلى طاقة كهربائية.
(Nuclear Power Reactor)	مفاعل الطاقة النووية	يتم في المفاعل عملية الإنشطار والتحكم في تلك العملية لإنتاج طاقة من الوقود النووي (مثل اليورانيوم–235) التي تتحول إلى طاقة حرارية تستخدم لتوليد البخار وإنتاج طاقة كهربائية. والأساس في إستخدام الطاقة النووية لتوليد الطاقة الكهربائية في جميع أنواع المفاعلات واحد حيث يتم إنتاج الطاقة الحرارية (من إنشطار الوقود النووي) التي تستخدم في توليد البخار الذي يقوم بإدارة التوربينات البخارية (مثل معظم محطات الطاقة التقليدية) أو تسخين غازات تتمدد في توربينات غازية.
(Nuclear Radiation)	الإشعاع النووي	يتكون الإشعاع النووي من جزيئات ذرية أو موجات الكترومغناطيسية لها طاقة مرتفعة لدرجة أنها تفصل الإلكترونات من ذرات أو جزيئات (وتسبب تأينهم) ومن أمثلة المواد المؤينة إشعاعات ألفا وبيتا والنيوترونات.
(Nuclear Steam Supply System)	نظام تغذية البخار في محطة طاقة نووية	نظام في محطة الطاقة النووية يقوم بإنتاج البخار اللازم لإدارة التوربين البخاري. وفي محطات الطاقة النووية المستخدمة لمفاعلات الماء المغلي يتكون هذا النظام من المفاعل ومكوناته الداخلية أما التي تستخدم مفاعلات الماء الخفيف المضغوط فيتكون هذا النظام من المفاعل ووعاء الضغط الذي يحفظ ضغط الدائرة الأولى والمولد البخاري مرتفعين.
(Nucleus)	النواة	قلب الذرة الذي يحتوي على النيوترونات والبروتونات وبالرغم من أن قطر النواة يقرب من 1000/1 من قطر الذرة إلا أن النواة تحتوي تقريباً على كل وزن الذرة.
(Nuclide)	النويدة	نواة لها وضع خاص معروف عدد بروتوناتها (الرقم الذري) وعدد النيوترونات ومجموع عدد البروتونات والنيوترونات تساوي الوزن الذري.

O

(Organization of Arab Petroleum Exporting Countries)	منظمة الدول العربية المصدرة للبترول	وتضم الكويت، المملكة العربية السعودية، الإمارات العربية المتحدة، قطر، مملكة البحرين، العراق، سوريا، مصر، الجزائر، ليبيا، تونس.
(Ozone Layer)	طبقة الأوزون	طبقة في الغلاف الجوي تحتوي على تركيز مرتفع من غاز الأوزون وتقوم بامتصاص ما بين 19.3% إلى 99% من أشعة الشمس ذات الموجات القصيرة والتي لها إمكانية إتلاف الحياة على الأرض ويتركز في هذه الطبقة 91% من الأوزون الموجود في الجو.
(Ozone)	الأوزون	أحد أشكال الأوكسجين ثلاثي الذرة من مكونات الجو، وفي طبقات الجو السفلي يوجد بصورة طبيعية أو يتكون نتيجة تفاعل كيميائي ضوئي (Photochemical) ويعمل كأحد غازات الدفيئة. أما في طبقات الجو العليا فيتكون الأوزون بتفاعل أشعة الشمس ذات الموجات القصيرة. (Ultraviolet) مع جزيئات الأوكسجين (O_2).

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

P

(Part per million ppm)	جزء في المليون	عادة ما يعبر عن تركيز الأملاح في محلول ماء ويعني 1 ppm واحد ملليجرام لمكون ما في لتر ماء وتساوي مليجرام/اللتر (mg/ l).
(Passive Protection)	نظام أمان سلبي	نظام حماية طبيعي لحماية المفاعل ومحتوياته مثل وضع الوقود في كبسولات وقضيب الوقود الذي يوضع فيه الكبسولات ووعاء ضغط المفاعل ومبنى إحتواء المفاعل المبطن بالحديد ومغلف بالخرسانة كما يحتوي على عدة أمان تعمل تلقائياً كوجود مصدر قوي يقوم بتشغيل أجهزة تبريد المفاعل في حالات الطوارئ (مثل كسر في أنابيب دورة التبريد الأولية للمفاعل) ووجود مصدر تخزين مائي للمفاعل.
(Pellets)	أقراص	أقراص الوقود من أكسيد اليورانيوم الخزفي يتم رصها داخل أنابيب التغليف المحكمة والمصنعة من سبائك الزركونيوم.
(Plutonium-Pu)	بلوتونيوم	هو فلز مشع رقمه الذري 94 ولا يوجد البلوتونيوم في الطبيعة ولكنه ينتج من اليورانيوم 238 أثناء عملية تشعيع اليورانيوم-238 بواسطة النيوترونات الناتجة أثناء عملية الانشطار النووي في المفاعلات ويستخدم في تحضير وتصنيع الوقود النووي والأسلحة النووية.
(Present Levelized Value)	القيمة الآنية المعادلة	القيمة الآنية للتكلفة الكلية لبناء وتشغيل محطة طاقة مثلا في مدى عمرها الاقتصادي ومحوله إلى دفعات يتم تقديمها سنوياً وتعادل التكلفة بقيمة الدولار الآنية (مع الأخذ في الاعتبار تأثير التضخم).
(Pressurized Water Reactor-PWR)	مفاعل الماء المضغوط	مفاعل يسري فيه الماء كجزء من دورة أولية حيث يُسخَن لدرجة حرارة عالية بواسطة الطاقة النووية ولكن تحت ضغط مرتفع بحيث لا يصل الماء لدرجة حرارة الغليان. ثم ينقل حرارة هذا الماء بعد تسخينه إلى ماء يسري في دورة مضغوطة ثانية ولكن عند ضغط أقل من الدورة الأولية فيغلى هذا الماء بالدورة الثانية داخل مولد البخار ويدير البخار الناتج التوربين البخاري.
(Pressurizer)	وعاء ضاغط	وعاء من الصلب به خليط من ماء سائل وبخار وبه مُسخِّنات كهربائية ورشاشات مياه للتحكم في ضغط الوعاء الذي يقوم بدورة بحفظ ضغط الماء في الدورة الأولى لتبريد المفاعل.
(Primary Loop)	دائرة التغذية الأولية	دائرة مغلقة مملوءة بماء تبريد المفاعل وتشمل الدورة المفاعل ومولد البخار ومضخة ماء تبريد المفاعل والوعاء الضاغط ومجموعة الأنابيب المتصلة بهم وتنتقل الحرارة التي يكتسبها ماء الدورة الأولية من الطاقة النووية بالمفاعل إلى ماء الدورة الثانية من خلال مولد بخار فتغلي وتتحول إلى بخار يغذى التوربين البخاري.
(Proton)	بروتون	جزئ من الذرة له شحنه موجبه ووزنه 1837 مرة وزن الالكترون. ويحدد عدد البروتونات في النواة صفة العنصر.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

R

(RAD)	راد	وحدة قياس جرعة الاشعاعات الممتصة وهي الجرعة التي مقدارها 0.01 جول يتم امتصاصها بواسطة كيلوجرام من المادة الممتصة.
(Radiation Absorbed Dose-RAD)	جرعة الأشعة الممتصة (راد)	وحدة الجرعة التي تعبر عن كمية الطاقة الممتصة من التأين الإشعاعي لكل جرام من المادة المنتجة وتساوي 100/1 من وحدة جراي.
(Radiation Dose)	جرعة إشعاع	مقياس كمية الإشعاع الممتصه بواسطة الجسم والضرر الذي يسببه الإشعاع لجسم الإنسان. ويقدر تأثير الإشعاع حسب نوع وطاقة الإشعاع (أشعة ألفا وأشعة بيتا وأشعة جاما) وطريقة التعرض للإشعاع وتقاس جرعات الإشعاع بوحدات سيفرت.
(Radiation)	إشعاع	طاقة على شكل موجه من الجسيمات الإشعاعية تسمى أشعة التأين في مجال الطاقة النووية.
(Radio Isotope)	نظير مشع	نظير عنصر غير متزن يقلل عدم إتزانه بإصدار إشعاع.
(Radioactivity)	نشاط إشعاعي	خاصية نويات الذرات غير المتزنة من ناحية الطاقة مثل الرادون واليورانيوم اللاتي يصدرن إشعاعات تلقائياً للوصول إلى حالة الاتزان.
(Radioactive Decay)	التلاشي الإشعاعي	عملية إستمرار العناصر غير المتزنة في التخلص من طاقتها الزائدة في شكل إشعاعات في محاولة للوصول إلى حالة الإتزان (أي لتبقى غير مشعة).
(Radioactive Waste)	النفايات المشعة	المواد المشعة أو الملوثة بمواد مشعة وليس لها استعمالات أخرى وعادة ما توصف بمواد مشعة بمستوى عالي أو مواد مشعة بمستوى منخفض.
(Radioactive ionization)	تأين إشعاعي	إشعاع بطاقة مرتفعة نسبياً له القدرة على إزاحة (أو إضافة) إلكترون من ذرة مكوناً أيون وتتضمن أمثلة ذلك أشعة ألفا وأشعة بيتا وأشعة جاما والنيوترونات.
(Reactor Coolant Pump)	مضخة تبريد المفاعل	مضخة تقوم بضخ سريان الدورة الأولى للماء الخفيف في مفاعلات الماء الخفيف المضغوط أو في مفاعلات الماء المغلي، أو تقوم بضخ الماء الثقيل في دورة تبريد مفاعل الماء الثقيل وذلك لنقل الطاقة الحرارية من قلب المفاعل.
(Reactor Vessel)	وعاء المفاعل	وعاء إسطواني من الصلب الكربوني مغلف بطبقة من الصلب الذي لا يصدأ يحتوي على قلب المفاعل (تجميعات الوقود) وقضبان التحكم ومائع التبريد (الماء) وتركيبات التحميل – ويتراوح سمك الوعاء من 150 إلى 200 ملليمتر وهو يمثل ثاني حاجز وقائي.
(Redundant System)	أجهزة تعويضية مماثلة	يتم في بعض نظم مفاعلات الطاقة النووية إستخدام نظامين مستقلين للقيام بنفس الوظيفة أحدهما أصلي والثاني تعويضي يقوم بنفس عمل النظام عند توقف النظام الأصلي.
(Refueling Water Storage Tank)	خزان ماء طوارئ في المبنى الوقائي للمفاعل	خزان ماء كبير الحجم يتم ضخ الماء منه في حالة الطوارئ عند حدوث كسر في أنابيب الدائرة الأولية لتبريد المفاعل.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

(Refueling System)	نظام إعادة تحميل الوقود	عند توقف المفاعل لتغيير الوقود المستعمل وهبوط درجة حرارة الماء بالمفاعل عن 60 درجة مئوية يتم رفع غطاء وعاء المفاعل للسماح بتغيير تجميعات الوقود من المفاعل.
(Regenerative Feed Heaters)	مسخنات مياه التغذية الاسترجاعية	أحد طرق رفع كفاءة دورة الطاقة البخارية تسخين ماء التغذية العائد من المكثف إلى مولد البخار بواسطة مبادلات حرارية يتم فيها تسخين ماء التغذية بسحب بخار من التوربين البخاري.
(Relief Tank)	خزان تنفيس	عند زيادة الضغط في دائرة تبريد المفاعل يتم فتح صمام تنفيس يتسرب منه الماء (كسائل وبخار) ليدخل في خزان يسمى خزان التنفيس يتم فيه تكثيف الماء وتخزينه ليقل الضغط في دائرة تبريد المفاعل.
(Relief Valve)	صمام تنفيس	صمام يفتح تلقائياً لمنع الزيادة في ضغط دائرة تبريد المفاعل.
(Renewable Energy)	الطاقة المتجددة	الطاقة التي يمكن إنتاجها من مصادر طبيعية مثل ضوء الشمس والرياح والمد والجزر والطاقة الشمسية وطاقة الأرض الجوفية.
(Residual Heat Removal System-RHR) or (Shutdown Cooling)	نظام التخلص من حرارة التلاشي أو التبريد بعد الإيقاف	بعد إيقاف المفاعل وتوقف عملية الإنشطار يستمر المفاعل في إنتاج كمية من الحرارة نتيجة إستمرار بعض الإشعاعات ويلزم إزالة هذه الكمية من الحرارة بالإستمرار في تبريد قلب المفاعل وتسمى هذه العملية إزالة حرارة التلاشي وعادة ما تتم هذه العملية أثناء تبريد قلب المفاعل أو عند تحميل الوقود.
(Reverse Osmosis-RO)	التناضح العكسي	طريقة لتحلية المياه قليلة الملوحة أومياه البحر وذلك بضغط تلك المياه خلال أغشية شبة منفذه تمرر الماء خلالها وتمنع مرور الأملاح.
(Roentgen)	رونتجن	وحدة قياس أشعة أكس وأشعة جاما وتعبر عن كمية الإشعاع التي تم إمتصاصها من الهواء.
(Roentgen Equivalent Man – REM)	مكافئ رونتجن رجل	تعبر عن كمية الإشعاع من أي نوع والتي تحدث أثراً يعادل نفس الأثر البيولوجي على خلايا الإنسان الذي يحدثه واحد جاما RAD (راد).

S

(Safety Injection Tank)	خزان أمان لحقن الماء	خزان به محلول البورون يعلوه نيتروجين مضغوط لحفظ الضغط في الخزان وعند حدوث كسر كبير في الدائرة الأولى (دورة ماء تبريد المفاعل) وفقد هذا الماء يقل الضغط في دورة ماء التبريد فيفرغ هذا الخزان تلقائيا كمية الماء الكبيرة التي يختزنها إلى المفاعل.
(Saturated Temperature)	درجة حرارة التشبع	درجة حرارة غليان الماء عند ضغط معين وتساوي مثلا 100درجة مئوية عند الضغط الجوي و285.880 درجة مئوية عند ضغط 70 بار مثلاً.
(Saturated Vapor)	بخار مشبع	بخار الماء مثلا عندما تكون درجة حرارته هي درجة حرارة التشبع.
(Scram)	توقف سريع	التوقف السريع للمفاعل إما تلقائياً (Automatically) أو بواسطة مشغل المفاعل بإدخال قضبان التحكم بالكامل إلى المفاعل وتسمى أحياناً فصل المفاعل (Trip).

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

(Secondary Loop)	الدائرة الثانوية	في مفاعلات الماء المضغوط هناك دورة مغلقة أولية تسمى دورة تبريد الوقود والتي تقوم بنقل الحرارة المتولدة في المفاعل إلى دائرة أخرى تسري في المولد البخاري ويتم تسخين ماء الدورة الثانوية وغليانه ويخرج بخار مشبع من المولد البخاري إلى التوربين البخاري ولهذا تشمل الدورة الثانوية البخار الساري في التوربين والذي يعود متكثفاً من مكثف محطة الطاقة الكهربائية، والدورة الثانوية تشمل هذا الماء في المولد البخاري وتمدد بخاره في التوربين ثم تكثفه في المكثف ليصبح ماء التغذية ويعود إلى مولد البخار عبر مسخنات مياه التغذية.
(Shield)	درع	مادة مثل الرصاص أو الخرسانة أو الماء أو جميعهم تحجب الإشعاع وتستخدم لحماية العاملين والأجهزة من التعرض للإشعاع.
(Sievert-Sv)	سيفرت	وحدة قياس جرعة الإشعاع توضح الأثر البيولوجي للإشعاع على الإنسان ووحدة سيفرت تساوي 100 مرة أكبر من وحدة (rem). وهي وحدة تقيس التلف البيولوجي الذي يسببه الإشعاع، ووحدة سيفرت تمثل التأثير البيولوجي للإشعاع الذي قدرته واحد جول من أشعة بيتا أو أشعة جاما لكل كيلوجرام من خلايا الجسم. علماً بأن طاقة واحد جول من أشعة ألفا لها تأثير 20 سيفرت وطاقة واحد جول من النيوترون تساوي 10 سيفرت.
(Solar Energy)	الطاقة الشمسية	الضوء والحرارة الساقطة من الشمس على الأرض التي تستقبل 174×10^{15} وات وتعكس 30% تقريبا من الأشعة وتستغل الطاقة الشمسية في التسخين والتبريد أو توليد الكهرباء.
(Solar Radiation)	الاشعاع الشمسي	أشعة على شكل موجات كهرومغناطيسية تصدر من الشمس وتسمى أحياناً الأشعة ذات الموجات القصيرة ولها في الواقع مدى من طول الأشعة تعتمد على درجة حرارة الشمس (حوالي 5800 كلفن (K) وتتركز في مدى من طول الموجات يعرف بمدى الرؤية (Visible Range) (يتراوح مدى طول بين 0.4 ميكرومتر (µm) إلى 0.7 (µm) ويعتمد معدل كمية طاقة الطيف (معدل الطاقة الشمسية مقسوماً على طول الموجة) على طول الموجه وأقصى كمية لها تحدث عن موجه طولها 0.5 ميكرومتر.
(Spent Fuel Pool)	بركة الوقود المستهلك	بركة مبنية من الخرسانة المسلحة مبطنة بصلب غير قابل للصدأ لحفظ الوقود المستهلك تحت الماء بعد خروجه من المفاعل أولا لتبريده حرارياً وإشعاعياً.
(Spent Fuel)	الوقود المستهلك	وقود المفاعل المستعمل الذي لم يعد قادراً على الإنشطار المتسلسل.
(Start up)	بدء التشغيل	حالة المفاعل قبل بدء التشغيل الكامل عندما يكون حرجاً ولكن طاقته أقل من 5% من الطاقة الإسمية.
(Steam Generator)	مولد البخار	هو مبادل حراري تنتقل إليه كمية الحرارة التي ينتجها المفاعل ويحملها ماء الدائرة الأولى المضغوط إلى ماء الدائرة الثانية الذي يسري في المولد ويتحول إلى بخار ويخرج من هذا المولد لإدارة التوربين البخاري في محطة الطاقة النووية.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

(Steam Turbine)	توربين بخاري	توربين يحول الطاقة الحرارية –الموجودة في بخار الماء ذو الضغط المرتفع– إلى طاقة حركية حيث يقوم هذا البخار بإدارة التوربين فيعطي شغل يدير المولد الكهربائي في محطات الطاقة الحرارية.
(Stratosphere)	طبقات الجو العليا	طبقات الجو العليا (عادة تمتد من 10 إلى 40 كيلومتر).
(Strontium)	استرونشيوم	عنصر كيميائي رمزه Sr ورقمه الذري 38.
(Sulphate)	كبريتات	مركبات كيميائية مكونة من الكبريت والأكسجين ورمزها SO_4.
(Sulfur Dioxide-SO_2)	ثاني أكسيد الكبريت	مركب كيميائي رمزه (SO_2) وينتج من إحتراق الكبريت مع الأوكسجين وهو أحد ملوثات الهواء الرئيسية الناتجة من إحتراق الوقود.
(Superheated Steam)	بخار محمص	بخار درجة حرارته أعلى من درجة حرارة التشبع المقابلة لضغط هذا البخار وكمثال بخار الماء عند ضغط جوي ودرجة حرارة 150 درجة مئوية يكون بخاراً محمصا لأن درجة حرارته أعلى من درجة حرارة التشبع وهي 100 درجة مئوية.
Stable reactor	مفاعل مستقر	المفاعلات المستقرة هي التي يقل فيها الانشطار النووي عند زيادة درجة حرارة مبرد الوقود مثل مفاعلات الماء الخفيف.

T

(Tailings)	مخلفات تعدين اليورانيوم	بقايا تعدين مادة اليورانيوم المكون من صخور مطحونه وسوائل بعد استخراج جزء أو كل معدن اليورانيوم من الصخور المحتوية على خام اليورانيوم.
(Tails)	مخلفات	اليورانيوم– 235 المستنفذ الناتج كمخلفات من عملية إثراء اليورانيوم.
(Thermal Vapor Compression-TVC)	التحلية بانضغاط البخار حرارياً	إحدى طرق التحلية التي تنتج بخار يتم ضغطه بواسطة ضاغط بخاري (يسمى قاذف بخاري) ليصبح البخار المضغوط مصدراً حرارياً فيدخل إلى المبخر ويتكثف فيه ويعطي حرارته الكامنة للماء الملحي فيتبخر جزء منه ثم يعاد ضخ هذا البخار وهكذا.
(Throttling Valve)	صمام خنق	صمام لتقليل ضغط البخار فمثلا يمكن سحب بخار من توربين عند ضغط 5 بار فيدخل صمام خنق ويخرج منه عند ضغط 2 بار ليناسب الضغط المطلوب لعملية التحلية.
(Total Effective Dose Equivalent)	مكافئ الجرعة الفعالة الكلية	الإشعاع الكلي الذي يتعرض له أحد العاملين بمحطة الطاقة النووية نتيجة التعرض الداخلي أو الخارجي ومن المعروف أن الحد الأقصى للجرعة المكافئة المؤثرة الكلية هي 5,000 مللي رم في العام.
(Trip)	إيقاف	عملية إيقاف المفاعل تلقائياً أو يدوياً بإدخال قضبان التحكم بالكامل إلى المفاعل.
(Troposphere)	طبقات الجو السفلى	الجزء السفلي من الجو (من السطح حتى 10 كيلومتر) فوق سطح الأرض حيث توجد السحب ومتغيرات الجو. والمعروف أن درجة الحرارة تنخفض بزيادة الارتفاع عن الأرض وأن هذه الطبقة تحتوي على أكثر من 80% من الغازات الموجودة في الغلاف الجوي.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

(Turbine Stop Valve)	صمام إيقاف التوربين	صمام لإيقاف سريان البخار إلى التوربين البخاري في حالة عدم وجود حمل كهربائي على المولد وذلك لمنع التوربين البخاري من تزايد سرعته واحتمال تلفه.

U

(U-233)	نظير اليورانيوم **233**	وينتج من تشعيع الثوريوم-232 بواسطة نيوترون.
(U-235)	نظير اليورانيوم **235**	أحد نظائر اليورانيوم له 92 بروتون و143 نيوترون ويوجد في اليورانيوم الطبيعي بنسبة 0.711%.
(U-238)	نظير اليورانيوم **238**	نظير اليورانيوم له 92 بروتون و146 نيوترون ويوجد في اليورانيوم الطبيعي بنسبة 99%.
(U_3O_8)	ثامن أكسيد اليورانيوم الثلاثي	يشار إلى (U_3O_8) كأكسيد اليورانيوم ويتم إنتاجه بعد عملية تعدين وطحن خام اليورانيوم.
(UO_2)	ثاني أكسيد اليورانيوم	هو التركيبة الكيميائية المستخدمة عادة في وقود المفاعلات النووية.
(UF_6)	سداسي فلوريد اليورانيوم	مركب غازي من اليورانيوم والفلوريد يستخدم كمخزون تغذية (Stock feed) في عملية إثراء اليورانيوم.
(Ultraviolet rays)	إشعاع ذو موجات قصيرة	جزء من أشعة الشمس يقع مدى طول موجاته بين 0.1 (µm) إلى 0.4 ميكرومتر (µm) (أي أقصر من مدى الرؤية).
(Uranite)	يورانيت	أهم المكونات المعدنية المستخدمة من ترسبات اليورانيوم بعد طحنه.
(Uranium Deposit)	ترسبات يورانيوم	كتل طبيعية (من الصخور) يمكن استخراج اليورانيوم منها.
(Uranium Ore Concentrate-UOC)	ركازة خام اليورانيوم	خليط من أكاسيد اليورانيوم يتم إنتاجه بعد طحن خام اليورانيوم من منجم اليورانيوم ولها لون بني مخضر وعادة ما يتم تمثيلها بالرمز U_3O_8 (ثامن أكسيد اليورانيوم الثلاثي) ويتم بيع اليورانيوم في هذا الشكل أو في شكل (Hydrate Uranium Peroxide) يورانيوم مهدرج (متفاعل مع الماء) فوق المؤكسد (UO_4 $2H_2O$) والذي ينتج من ترويق اليورانيوم في مكان تعدينه. وتحتوي تركيزات (U_3O_8) على شوائب كالكبريت والسليكون والميركون وتسمى ركازة خام اليورانيوم بالكعكه الصفراء.
(Uranium-U)	يورانيوم	اليورانيوم هو الوقود الأساسي للمفاعلات النووية وهو مادة مشعة وتسمى يورانيوم طبيعي لها رقم ذري يساوي 92 عندما توجد في الطبيعة وأهم أول نظائرها اليورانيوم-238 وله 146 نيوترون ولا ينشطر والثاني اليورانيوم-235 وله 143 نيوترون وينشطر.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

V

(Vertical Tube Evaporators)	مبخرات أنابيب رأسية	مبخرات تستعمل عادة في وحدات التحلية بالغليان متعدد التأثير وتحتوي على أنابيب رأسية يتكثف خارجها بخار التسخين بينما يسري داخلها الماء الملحي كغشاء ويتبخر جزء منها نتيجة اكتسابه الحرارة من بخار التسخين.
(Void)	فـــراغ	عند زيادة كمية الحرارة الناتجة من الوقود النووي قد تتكون فقاعات من البخار في الماء (الذي يعمل كمهدئ في المفاعل) وهذا يسمح بهروب النيوترونات من قلب المفاعل ويقلل النيوترونات المتاحة لعملية الإنشطار التلقائي في المفاعل وبالتالي يقلل الطاقة المنتجة.

W

(Waste Storage Tank)	خزان تجميع النفايات	خزان تجميع النفايات سوائل أو غازات قد تكون مشعة عند بدء مراحل التخلص منها.
(Watt)	وات	وحدة قياس القدرة (Power) وهي معدل الطاقة بالنسبة للزمن ويعادل واحد وات (واحد جول في كل ثانية). وواحد كيلووات يساوي ألف وات وواحد ميجاوات يعادل مليون وات، وواحد جيجاوات يساوي بليون وات وواحد تيراوات (TeraWatt) يساوي تريليون وات.
(Wave Number)	رقم الموجة	خاصية لطول الموجة بالمتر يعبر عنها بواحد مقسوما عليه طول الموجة. فإذا كان طول الموجة يساوي 12 ملليمتر فإن رقم الموجة يساوي تقريبا $\frac{1000}{12} \cong 800$

X

Xenon	زينون	عنصر كيميائي رمزة Xe ورقمة الذري 54 وهو غاز لا لون له ولا رائحة وله 9 نظائر مستقره كما أن له 40 نظير غير مستقر يحدث لهم خفض إشعاعي وينتج من الانشطار النووي ويقوم بامتصاص النيوترونات في عملية الإنشطار النووي.

Y

(Yellow Cake)	الكعكه الصفراء	إسم تم إعطاؤه لمادة ديورينيت الأمونيوم وهي الحلقة الأخيرة في إنتاج (U_3O_8).

Z

(Zircaloy)	سبيكة زركالوى	سبيكة من عنصر الزركونيوم شديدة المقاومة للصدأ تستخدم لتغليف مجموعات الوقود.
(Zirconium)	زركونيوم	عنصر معدني شديد المقاومة للصدأ يستخدم لعمل سبائك لتغليف الوقود النووي.
(Zirc-Water Reaction)	تفاعل الماء والزركلوي	تفاعل كيميائي قد يحدث بين الماء والزكلوي المغلف لقضبان الوقود تحت ظروف درجات الحرارة المرتفعة في حالة وقوع حادث وفي هذه الحالة قد يرتبط أكسجين الماء مع الزركونيوم مخلفاً غاز هيدروجين.

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050

هذا الكتاب

- يقدم الأساسيات ذات الصلة بعملية الانشطار النووي والتحكم بها، وتطبيقها عملياً في مفاعلات إنتاج الطاقة، ويقدم الأنواع الرئيسية لهذه المفاعلات، وخواص أكثر هذه المفاعلات شيوعاً في توليد الطاقة الكهربائية تجارياً على مستوى العالم.
- يلقي الضوء على إنتاج الطاقة الكهربائية في دولة الكويت ودول الخليج العربية، ويناقش الخيارات المتاحة من المفاعلات الحديثة لتوليد الطاقة الكهربائية والمناسبة لدولة الكويت، كما يقدم دراسة فنية واقتصادية لها.
- يستعرض تقنيات التحلية المختلفة ومشاريع التحلية باستخدام الطاقة النووية في العديد من بلدان العالم التي تحوز مفاعلات نووية أو التي تخطط لاستخدام الطاقة النووية.
- يقدم وصفاً فنيا لمفاعل تشرنوبيل والتسلسل الزمني لوقوع حادثة إنفجاره والفروق الأساسية بينه وبين المفاعلات التجارية الحديثة.
- يناقش أنواع الغازات المنبعثة من محطات الطاقة العاملة بالوقود الأحفوري، وظاهرة الاحتباس الحراري الناجم عن هذه الانبعاثات، كما يقدم حسابات تفصيلية لكميات الغازات المنبعثة من المحطات التقليدية الطاقة الكهربائية وتحلية المياه في دولة الكويت، ثم يناقش المزايا البيئية للحد من تلك الانبعاثات عند استخدام الطاقة النووية في توليد الكهرباء في دولة الكويت.

من تعليقات المحكمين

- تعد محتويات الكتاب مقدمة أساسية لا غنى عنها للتعريف بالنواحي المتعلقة بإستخدام الطاقة النووية في مجال توليد الكهرباء وتحلية المياه، كما تقدم لمتخذي القرار الأسس الفنية والإقتصادية التي يمكن أن يبنى عليها هذا القرار.
- يعتبر الكتاب ذو فائدة كبيرة لذوى الاختصاص من المهندسين والفنيين وواضعى السياسات فى مجال الطاقة النووية وتحلية المياه.
- عرضت موضوعات الكتاب بطريقة سلسة وبسيطة ويمثل إضافة علمية فى مجال التحلية النووية.

View publication stats
www.facebook.com/Electrical.engineering.community2050