بسم الله الرحمن الرحيم

محطات القوى المولفة

وتتضمن محطات

الدورة التربينية الغازية المولفة

(CCGT)

تأليف

جون هـ. هورلوك (F.Eng., F.R.S.)

معمل ويتل – كامبريدج – المملكة المتحدة

ترجمة

الدكتور خليل محمود أبوعبده

(B.Sc. Mech. Eng., Dipl.-Ing., Dr.-Ing.)

أستاذ بقسم الهندسة الميكانيكية – جامعة الملك سعود

النشر والمطابع – جامعة الملك سعود

ص.ب. ٢٤٥٤ -الرياض ١١٤٥١ -المملكة العربية السعودية

ⓒ جامعة الملك سعود ، ١٤١٨هـ (١٩٩٨م)

هذه ترجمة عربية مصرح بها لكتاب :

This arabic translation of:
"Combined Power Plants"

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

هورلوك، جون هـ.
محطات القوى المولفة وتتضمن محطات الدورة التربينية المولفة (CCGT) /
ترجمة، خليل محمود أبو عبده - الرياض
٤٥٠ص ؛ ١٧×١٤ سم
ردمك ٣-٦٣٣-٠٥-٩٩٦٠ (جلد)
١-٦٣٤-٠٥-٩٩٦٠ (غلاف)
١ ـ محطات توليد الطاقة أ - أبو عبده، خليل محمود (مترجم)
ب - العنوان

ديوي ٢٥، ٦٢٩ ١٨/١٦٢٦

رقم الإيداع : ١٨/١٦٢٦

تمَّ تحكيم الكتاب بواسطة لجنة متخصصة، شكَّلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس على نشره ـ بعد اطلاعه على تقارير المحكمين - في اجتماعه الرابع للعام الدراسي ١٤١٥/ ١٤١٦هـ الذي عقد في ٢٥/ ٥/ ١٤١٥هـ الموافق ٣٠/ ١٠/ ١٩٩٤م

مطابع جامعة الملك سعود ١٤١٨هـ

مقدمة المترجم

الحمد لله الذي وفقني لإتمام هذا العمل المتواضع، وأدعوه سبحانه وتعالى مخلصا أن ينفع به القارئ العربي الكريم، مهندسا كان أم فنيا أم طالبا. كما أنني أنتهز هذه الفرصة لأعبر عن تقديري لمركز الترجمة بجامعة الملك سعود على الموافقة الكريمة على قيامي بترجمة هذا الكتاب وتولي الجامعة مهمة طبعه وتوزيعه.

مؤلف الكتاب، الأستاذ ج. هـ. هورلوك، من الشخصيات المرموقة في المملكة المتحدة، وعلى المستوى العالمي في مجال محطات توليد القوى عموما، والمحطات المولفة على وجه الخصوص. فهو يتمتع بخبرة واسعة، سواء على المستوى البحثي أو التدريس الجامعي أو الممارسة المهنية أو تقديم الإستشارات والخبرة الفنية، كما أنه مؤلف لعدة كتب في مجالات هندسية متعددة، وقد نال العديد من الجوائز التقديرية من هيئات مرموقة في عدة دول.

ومادة هذا الكتاب على قدر كبير من الأهمية، فلا يخفى ما لتوليد الطاقة من دور فعال في تحقيق تقدم الأمم، بل إنها من أبرز مقاييس هذا التقدم. تقوم محطات القوى الحرارية بتوليد الطاقة الكهربائية الهائلة التي عادة ما تقاس بمئات الميجاواط عن طريق حرق وقود تقليدي (أحفوري)، والذي قد يكون غازا أو سائلا أو صلبا. وتعتبر هذه المحطات منشآت عالية الكلفة في بنائها وتشغيلها، كما أنها تطلق في البيئة المحيطة أطنانا من نواتج الاحتراق ومخلفاته التي تشتمل على ملوثات، قد تؤدي على المدى البعيد إلى ارتفاع في درجة حرارة الجو. لذلك فإن أي تطوير يؤدي إلى بعض التوفير في استهلاك الوقود أو التقليل من مستوى

انبعاث الملوثات أو التخفيض من درجة حرارة الغازات العادمة هو أمر ينبغي الترحيب به ودعمه وتشجيعه. في هذه المجالات تتمتع المحطات المولفة، وهي محطات تعتمد على استغلال حرارة غازات العادم قبل إطلاقها في الجو ليستخلص منها المزيد من الطاقة الكهربائية دون حرق وقود اضافي، بمجموعة من المزايا. لذلك فإن بناء المحطات المولفة من شأنه تحسين اقتصاديات إنتاج الطاقة والتقليل من الأضرار البيئية المصاحبة. وعلاوة على ذلك تتميز هذه المحطات بانخفاض تكلفة انشائها.

من أبرز أنواع المحطات المولفة التي ثبتت جدواها بالتجربة على مدى سنوات عديدة محطات الدورة التربينية الغازية المولفة، وهي محطات تنشأ من إلحاق محطة تربينية بخارية بمحطة تربينية غازية قائمة. والجديد في هذا الشأن أن البخار اللازم لتشغيل تربينات المحطة البخارية لا يولد في مرجل بخاري مستقل يعمل بحرق الوقود، وإنما يتم توليد هذا البخار من استغلال حرارة الغازات العادمة المغادرة لتربينات المحطة الغازية، وذلك في مرجل خاص مصمم خصيصا لهذا الغرض يعرف بمولد البخار الاسترادادي. وغني عن القول أن غازات العادم هذه كانت أصلا ستفقد بانطلاقها إلى الجو وتضيع طاقتها بلا أدنى فائدة. فإذا علمنا أن المملكة العربية السعودية تأتي في طليعة دول العالم، من حيث استخدامها لأضخم التربينات الغازية في مجال توليد الطاقة، تبيَّن لنا مدى الفائدة التي يمكن أن تجنيها من تطبيق تقنية مثل هذه المحطات، حيث تؤدي إلى تخفيض استهلاك الوقود من جهة وتحقيق مأمونية الغازات المنبعثة إلى الجو من جهة أخرى. وبالفعل فقد بدأت المملكة العربية السعودية في الاتجاه وبقوة نحو تبني فكرة المحطات المولفة. فقد تم مؤخرا إدخال نظام الدورة المولفة إلى محطة رابغ البخارية، فأمكن بذلك زيادة القدرة المولدة من ٤٤٠ إلى حوالي ٦٩٠ ميجاواط، وتحسين

الكفاءة الحرارية من ٣٣٪ إلى ما يقارب ٤٥٪ دون حرق وقود إضافي. وسوف يتبع ذلك مراحل أخرى لزيادة قدرة هذه المحطة باعتماد نظام الدورة المولفة. كما أن العمل يوشك أن يبدأ في بناء المرحلة الأولى من المحطة التاسعة المولفة في منطقة الرياض بقدرة ١٢٠٠ ميجاواط، والتي سترتفع في نهاية المرحلة الثانية إلىٰ ١٨٠٠ ميجاواط.

حاولت قدر جهدي في ترجمتي لهذا الكتاب أن أجمع بين أمانة النقل عن المؤلف، وسلامة الصياغة العربية وسلاسة الأسلوب اللغوي. وقد استعملت من المصطلحات الفنية ما هو مألوف ومستساغ ما أمكن، وذيّلت الكتاب بمفتاح للمصطلحات الفنية المستخدمة، والتي تقع في فئتين : الأولى مصطلحات هندسية، والثانية مصطلحات اقتصادية. وقد اتخذت من "قاموس المصطلحات الفنية والهندسية" للمؤلف أحمد شفيق الخطيب مرجعا معتمدا للمصطلحات الهندسية، بينما اعتمدت في المصطلحات الإقتصادية على المعجم الإقتصادي الموسوعي للمؤلف غازي فهد الأحمد. ورغم ذلك فقد بقيت هناك بعض المصطلحات القليلة التي لم أعثر لها على مقابل عربي في أي من المرجعيْن المذكوريْن، وقد قمت عندئذ بالبحث في مراجع أخرى بما فيها كتب مترجمة سابقة، كما استشرت بعض الزملاء القريبين من التخصص الحالي، وقبل كل هذا وبعده اجتهدت رأيي.

وتوخيا لاستكمال الفائدة أوردت بعد العنوان العربي لكل بند النص الإنجليزي الوارد في الكتاب الأصلي. كما أنني أوردت بعد كل مصطلح فني عربي يرد لأول مرة في المتن أصله الإنجليزي. واتبعت نفس الأسلوب بالنسبة لأسماء المؤلفين حيث كتبتها بالحروف العربية والإنجليزية عند ورودها لأول مرة، وبالحروف العربية وحدها بعد ذلك.

أما فيما يتعلق بالرموز المستخدمة للدلالة على الكميات المختلفة، الثابتة والمتغيرة، فقد احتفظت بها كما وردت في الكتاب الأصلي، أي بالحروف الإنجليزية واليونانية. وتمشيا مع ذلك فقد أبقيت جميع المعادلات، أينما وردت، على حالها دون تغيير، بحيث تقرأ من اليسار إلى اليمين. وتجنبا للإلتباس فيما يتعلق باتجاه القراءة فقد حافظت على التعابير الرياضية الواردة ضمن سطور النص العربي بشكلها الأصلي، لتقرأ من اليسار إلى اليمين. فمثلا في التعبير (x-y) تكون y مطروحة من x، وفي التعبير (x÷y) أو (x/y) تكون x مقسومة على y. وقد التزمت بهذا النهج في كامل الكتاب دون أي استثناء. أما الأشكال والرسوم البيانية فقد قمت بتعريب تعاريفها ودلائل محاورها والنصوص الموجودة بداخلها، وأبقيت الرموز والأرقام كما هي في الكتاب الأصلي.

آمل أن يجد القارئ الفائدة المرجوة من مادة هذا الكتاب، وأن تكون اللغة العربية عونا على زيادة هذه الفائدة وتكريسها. كما أتطلع إلى اليوم الذي تصبح فيه المكتبة العربية غنية بالكتب العلمية الحديثة المؤلفة والمترجمة في مختلف فروع المعرفة، تماما كما هي غنية بالكنوز من أمهات كتب التراث الديني والأدبي التي تركها لنا أجدادنا العظماء.

الرياض في ذي القعدة ١٤١٤ هـ - أبريل ١٩٩٤ م.

خليل أبوعبده

مقدمة المحرر

كانت الخطة الأصلية لسلسلة كتب برغمون Pergamon عن الديناميكا الحرارية وميكانيكا الموائع تهدف إلى تغطية حاجة المقررات الدراسية في مرحلة الدرجة الجامعية الأولى على مدى ثلاث سنوات. وفيما بعد جرت توسعة أهداف هذه السلسلة، فصدر العديد من الكتب التي لم تقتصر على خدمة طلاب الدرجة الجامعية الأولى فحسب، بل تعدتهم إلى طلاب الدراسات العليا والمهندسين الممارسين للمهنة. وهذا الكتاب لمؤلفه الأستاذ هورلوك هو توأم مرافق لكتابه الصادر عام ١٩٨٧م بعنوان "التوليد المترافق : توليف الحرارة والقدرة".

يصدر هذا الكتاب في وقت يتزايد فيه تشييد محطات القوى المولفة بشكل لم يسبق له مثيل على مستوى العالم أجمع. وقد أسهمت في تعزيز هذا الإنتشار الميزات الحرارية التي تتوافر للمحطات المولفة، والاحتياطي الهائل من وقود الغاز الطبيعي في مختلف أنحاء المعمورة، والطبيعة المقبولة بيئيا لهذه المحطات. وقد استطاع المؤلف إبراز الأسباب الكامنة وراء الجدوى الاقتصادية العالية للمحطات المولفة، والجاذبية التي تحظى بها من الناحية البيئية.

من المتوقع أن يتجه العملاء في المستقبل المنظور إلى الرفع من مستوى متطلباتهم من حيث الأداء التقني والاقتصادي لمحطات القوى المولفة، وعندئذ سيجد المهندسون في الكتاب الحالي خير عون لهم على الوفاء بمثل هذه المتطلبات.

يتسم العمل الذي أنجزه الأستاذ هورلوك بالدقة، فهو يستعين بالقوانين الحديثة للديناميكا الحرارية جنبا إلى جنب مع الطرق الاقتصادية العصرية لتصميم

محطات القوى المولفة بأقصى درجات الأمثلية. وقد ضمَّن المؤلف تقديمه للكتاب بعض آرائه عن استخدام الرموز في الديناميكا الحرارية.

أغسطس ١٩٩٢م

و.أ. وودز

مقدمة المؤلف

يتوجه هذا الكتاب مثل سابقه، كتاب "التوليد المترافق : توليف الحرارة والقدرة Cogeneration: Combined Heat and Power (CHP) [1] إلى المهندسين في المقام الأول. ويعتمد على قانوني الديناميكا الحرارية الأول والثاني لتقدير كفاءة المحطات المولفة التي هي تعريفا: اقتران بين محطات لتوليد القدرة، ليس بينها محطات توليد مترافق. ثم يناقش مزايا مختلف أنماط التوليف المقترحة. كما أنه، وعلى نهج الكتاب الأول، يناقش بإيجاز اقتصاديات المحطات المولفة، دون التطرق لمحطات التوليد المترافق CHP التي أحيل القارئ بشأنها إلى كتابي الأول.

يعود تاريخ المحطات المولفة إلى السنوات المبكرة من القرن العشرين. وكما قال سلفي في جامعة ليفربول الأستاذ و.ج. كيرتون ذات مرة، إن البحث عن مائع بديل عن الماء يبدو قديما قدم الآلة البخارية، ويمكن لنا الاستطراد: "واستخدام هذا المائع البديل في محطة مولفة". ففي العام ١٩١٣م اقترح إمِّت Emmet محطة مولفة تعمل بالزئبق والماء، ويستفاد فيها من الحرارة التي تطردها دورة الزئبق "الفوقية" كحرارة إمداد لدورة بخار الماء "التحتية". وقد قامت شركة جنرال إلكتريك في الولايات المتحدة الأمريكية آنذاك ببناء العديد من هذه المحطات التي بلغت ذروتها ببناء محطة شيللر في نيوهامبشاير بقدرة ٤٠ ميجاواط في أواخر الأربعينات. وعلى الرغم من أن محطات الزئبق والماء تعتبر إنجازات هندسية رفيعة المستوى، فقد ثبت في حينه عدم قدرتها على المنافسة اقتصاديا مع محطات التوليد

البخارية التقليدية المطورة التي كانت كفاءتها آنذاك تشهد تزايدا مطردا بعد أن أمكن رفع ضغط البخار ودرجة حرارته.

في هذه الأثناء، وخاصة في حقبة الستينات، بدأت المحطات التربينية الغازية (المفتوحة) تستفيد من التطورات التي طرأت على محركات الطائرات النفاثة. فقد قامت الصناعة في كل من أوروبا وأمريكا بتصميم وبناء ما يعرف بمحطات الدورة التربينية الغازية المولفة Combined Cycle Gas Turbine (CCGT)، واقتصر ذلك بصورة رئيسة على نطاق القدرات المنخفضة نسبيا ما بين ١٠ - ٢٥ كيلوواط. وهنا نذكر أن استعمال كلمة "دورة" في مجال التعبير عن الدائرة التربينية الغازية المفتوحة كان ولا يزال استعمالا غير موفق.

هناك عاملان كان لهما تأثير خاص حديثا في تزايد الاهتمام بالمحطات المولفة بشكل هائل، أولهما ارتفاع درجة الحرارة القصوى المسموح بها في التربينات الغازية وارتفاع الشغل النوعي تبعا لذلك، وثانيهما فتح الباب أمام إمكانية استعمال الغاز الطبيعي كوقود. وقد أدى العامل الثاني إلى رفع الكفاءة عن طريق خفض درجة حرارة غازات العادم المغادرة إلى المدخنة، ولكن تأثيره لم يقتصر على ذلك فحسب، بل تعداه إلى خفض كمية ثاني أكسيد الكربون CO_2 المنبعث إلى الجو، وهي ميزة بيئية من شأنها التخفيف من حدة ظاهرة ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي للأرض.

لقد غدت المزايا التنافسية لمحطات الدورة التربينية الغازية المولفة CCGT جلية واضحة، وأصبحت تحظى بالقبول على نطاق واسع. ومما أسهم في جعل محطات الدورة التربينية الغازية المولفة في مقدمة السباق في مجال توليد الطاقة الكهربائية، تراجع بناء محطات التوليد النووية وتطويرها، وكذلك المشكلات البيئية المتزايدة في المحطات التي تحرق الفحم حتى وإن اتسمت بكفاءة عالية. ومن

الجدير بالذكر أن شركة الشبكة الوطنية التي أعمل مديرا لها والتي يناط بها ربط أي محطات جديدة بالشبكة الوطنية للكهرباء في المملكة المتحدة، منهمكة في الوقت الحاضر بربط قدرات توليد جديدة تصل إلى ١٥ جيجاواط (أي ما يقارب ٣٠ - ٣٥٪ من أقصى احتياج). ومن هذه القدرة الجديدة يشكل ما يولد من محطات الدورة التربينية الغازية المولفة التي تحرق الغاز الطبيعي حوالي ٩٠٪، وهو ما يعتبر نقلة نوعية هائلة في قطاع توليد الطاقة الكهربائية.

سوف نقوم بمناقشة هذه الأمور التاريخية في الفصل الأخير من الكتاب؛ بعد أن نكون قد درسنا المحطات المولفة من الناحيتين الديناميكية الحرارية والاقتصادية. عندئذ سوف تتضح لنا أسباب المد والجزر في مجال بناء هذه المحطات وتطويرها على مدى الخمسين عاما الماضية.

في بداية الكتاب نقوم بمراجعة بعض أساسيات الديناميكا الحرارية لمحطات القوى حيث نبرز أهمية تحقيق درجات حرارة أكبر أثناء الإمداد بالحرارة ودرجات حرارة أقل أثناء طرد الحرارة، سعيا للإقتراب من كفاءة دورة كارنو. كذلك نؤكد في الفصل الأول على أهمية الإنعكاسية بنوعيها الداخلية والخارجية، ونقوم بتعريف خاصية الإكسيرجي التي بدأ استعمالها يتزايد في السنوات الأخيرة.

في الفصل الثاني نقدم وصفا مقرونا بتحليل حراري موجز للمحطات المولفة العديدة التي جرى اقتراحها، سواء منها ما خرج إلى حيز التنفيذ وما لم يتجاوز حدود لوحة الرسم.

أما في الفصل الثالث فنقدم تحليلا حراريا أكثر تفصيلا للمحطات المولفة ففي البداية، نبحث في تأثير ضم محطتين معلومتي الكفاءة معا؛ بحيث تركب إحداهما حراريا فوق الأخرى. ثم نقوم بعد ذلك بدراسة تأثير عدد من العوامل

المختلفة مثل وجود فرق في درجات الحرارة، أو حدوث فقد حراري بين المحطتين، أو تطبيق تسخين أوسطي مكمل بين الدورتين.

في الفصل الرابع نقوم بتسليط الضوء على تأثير تغير قيم البرامترات الديناميكية الحرارية لإحدى الدورتين على كفاءة الدورة الأخرى ومن ثم على كفاءة المحطة الكاملة.

كما نقدم تحليلا إكسيرجيا للمحطات المولفة في الفصل الخامس، ونورد أمثلة عددية مفصلة لمحطة زئبق وماء، ولمحطة دورة تربينية غازية مولفة، CCGT مرة مع تطبيق تسخين ماء التغذية في الدورة البخارية، و مرة أخرى بدون هذا التسخين.

أما الفصل السادس فيشتمل على تحليل اقتصاديات المحطات المولفة بذات الطريقة التي اتبعت في كتاب "التوليد المترافق" مع التركيز على تثمين الكهرباء، حيث اتضح لي من الخبرة المكتسبة من عملي مع شركة الشبكة الوطنية، على مدى السنوات الثلاث الأخيرة، مدى أهمية الدور الذي تقوم به الأنظمة الضريبية في التقديرات الاقتصادية، وقد رأيت أن من المفيد التطرق لهذه النقطة في هذا الفصل.

ويقدم الفصل السابع وصفا لبعض المحطات المولفة المنفذة. وقد تطلب ذلك القيام بمسح موسع للمراجع، وعلى الأخص فيما يتعلق بمحطات الزئبق والماء التي شيدت منذ أمد بعيد. وفي هذا المقام فإنني ممتن للسيد س. هنتر-براون من مكتبة الجامعة المفتوحة لمساعدته القيمة ومهارته في اقتفاء أثر الأوراق البحثية ذات العلاقة. وقد كانت شركة براون بوفيري المعروفة اليوم باسم آسيا براون بوفيري مصدرا رئيسيا للمعلومات في هذا المضمار.

بعد ما تقدم من سرد تاريخي وجيز نلقي الضوء على ما وصل إليه التطور حتى وقتنا الحاضر لنصل بالقارئ إلى خاتمة الكتاب.

هناك بعض المستحسنات الأكاديمية التي أود ذكرها في هذا التقديم ؛ فقد استخدمت الرموز التالية للإشارة إلى الحرارة والشغل الناتجين من إجراء ما بين نقطتين هما نقطة البداية X ونقطة النهاية Y.

$$[W]_X^Y = \int_X^Y dW \quad \text{و} \quad [Q]_X^Y = \int_X^Y dQ$$

وهو اصطلاح أرى أنه ملائم تماما. أما فيما يتعلق باصطلاح الإشارات الجبرية فقد كان هناك دائما ولا يزال جدل مستمر (راجع ميهيو [2] Mayhew). وعلى وجه العموم فقد اتبعت في هذا الكتاب ما درج عليه هيوود [3] Heywood من كتابة كل من الحرارة المضافة Q_B والحرارة المطرودة Q_A والشغل الناتج W ككميات موجبة. وهذه طريقة براجماتية لتحليل الدورات ومحطات القوى تمكّننا من كتابة الموازنة بالصورة المبسطة :

الحرارة المضافة - الحرارة المطرودة = الشغل الناتج

أي : $$Q_B - Q_A = W$$

تعتبر كل واحدة من الكميات المحصورة بين قوسين موجبة ، غير أنني في الفصل الخامس ، عند مناقشة الإكسيرجي ، استخدمت أحيانا رمزا خاصا ، هو $(\mathcal{W})$ للدلالة على شغل داخل (اعتبرته موجبا) ، متبعا في ذلك هيوود [4].

وقد لفت محرر هذه السلسلة ، الأستاذ وودز ، انتباهي إلى استعمالي غير المعتاد نوعا ما لكلمة "تدفق" flux التي نجد لها التعريف التالي في معجم أكسفورد : "الحركة المتواصلة" continued motion ، أو "معدل سريان مائع عبر مساحة معلومة " rate of fluid flow across a given area ، وقد وجدت أنها كلمة

مفيدة في التعبير عن تدفق (أو معدل تدفق) كميات عديدة وليس الكتلة فقط، ومثال ذلك "تدفق" الإكسيرجي إلى داخل سطح مراقبة.

كذلك استطعت بعد نقاش مطول مع ر.و. هيوود إقناعه بتقبل استعمالي لتعابير من قبيل "معايير الأداء" criteria of performance (ومن أحد أمثلتها الكفاءة efficiency)، أو "برامترات" parameters، وهي الكميات التي نبقيها ثابتة في دراسة تحليل الأداء وفقا للشرح الوارد ضمن الملحوظة السفلية على الصفحة الخامسة من الفصل الأول.

وأخيرا فقد اتبعت مرة ثانية نهج هيوود [3] باستعمال تعبير "الشغل الضائع بسبب اللاإنعكاسية" lost work due to irreversibility بدلا من تعابير أكثر اختصارا مثل "اللاإنعكاسية" irreversibility أو "الإكسيرجي الضائعة" lost exergy، وهذا التعبير وإن بدا ممجوجا إلا أنه يتميز بالوضوح.

وكما كان الحال مع الكتب الأربعة الأخرى التي قمت بتأليفها عن الديناميكا الحرارية وميكانيكا الموائع للمهندسين، فإن هذا الكتاب ليس موجها للمهندسين الذين يدرسون المادة العلمية للمرة الأولى فحسب، والذين قد يكونون من طلاب السنة النهائية في الدرجة الجامعية الأولى، أو ربما وهو الأرجح، من طلاب الدراسات العليا أو ما بعد التخرج واكتساب الخبرة، ولكنه موجه أيضا للمهندسين الممارسين للمهنة الذين قد يستخدمون الكتاب في إطار عملهم اليومي. وقد كان من دواعي اغتباطي أن أرى كتبي السابقة على أرفف المكتبات داخل مكاتب التصميم حول العالم. ومن المفيد قراءة هذا الكتاب جنبا إلى جنب مع كتاب "التوليد المترافق" لأن هناك تداخلا كبيرا بينهما وفي طريقة المعالجة التي انتهجتها؛ فالكثير من محطات توليد الحرارة والقدرة هي أيضا محطات قوى مولفة من منطلق اشتمالها على "دورتين" من دورات توليد القدرة.

وفي الحقيقة فإنني وددت لو أنني أدمجت الكتابين معا في مجلد واحد، إذ إن ذلك كان سيؤدي إلى بعض الاختصار في حجم مادة الكتاب.

وأشعر بالامتنان للعديد من الأشخاص في إعداد هذا الكتاب، وإن كنت مدينا بالفضل لأربعة من المهندسين المتميزين على وجه الخصوص.

فقد كان الراحل الدكتور كلود زايبل، الذي كرست إهداء هذا الكتاب لشخصه، الأب الروحي للمحطات التربينية الغازية-البخارية المولفة من عدة نواح. وكنت قد التقيت به أول مرة في مدينة بادن في العام ١٩٥٦م عندما كانت شركة براون بوفيري تدرس آنذاك إمكانية بناء محطة قوى تعمل حسب دورة فيلد (الفصل الثاني). وحينها تكرس لدي الإنطباع بأن زايبل مهندس صناعي من أرفع طراز. لقد أولاني عطفا عظيما عندما كنت مهندسا شابا، وشجعني على تأليف كتابيً عن الضواغط والتربينات المحورية. وقد كانت ورقته البحثية التي قدمت بالإشتراك مع برويتر في العام ١٩٦٠م التقرير الفيصل عن موقف محطات الدورة التربينية الغازية المولفة في ذلك الوقت. لقد كان زايبل مهندسا "جنتلمان" من طراز مبكر.

أما أستاذي وزميلي وصديقي الراحل ر.و. هيوود، فقد كان لي مصدرا للتشجيع والنقد البناء والحكمة لسنوات عدة. وعندما كنت أول محرر لهذه السلسلة من الكتب، استطعت إقناعه بكتابة كتابه "تحليل الدورات الهندسية" الذي صدر حديثا في طبعته الرابعة. وفي العام ١٩٩٠م جرى بيننا نقاش حول ما إذا كان من الأجدر أن نضم جهدينا لإخراج نسخة معدلة من ذلك الكتاب تركز بوجه خاص على محطات القوى المولفة، إلا أننا انتهينا إلى الاتفاق على احتفاظ كل منا بكتابه المستقل مع مؤازرة كل منا للآخر. ومن هنا يرجع الفضل في الكثير من مادة هذا الكتاب إلى تأثيره.

خلفني، كمحرر لهذه السلسلة، زميلي وصديقي منذ أيام ليفربول الأستاذ و.أ. وودز الذي تجشم عناء مراجعة الكتاب بصبر وبصيرة، وأسهم بقدر كبير في جعله أكثر وضوحا. ويبقى مثابرا كما كان دوما.

وأخيرا فقد قادني التماس المساعدة من شركة براون بوفيري إلى إجراء مناقشات مفيدة مع السيد ر. كيلهوفر الذي يتمتع بخبرة عظيمة جدا مع تلك الشركة في مجال محطات القوى المولفة. وقد سبق كتابه المرجعي handbook ذو الصبغة العملية والمكرس بالدرجة الأولى لمحطات قوى الدورة التربينية الغازية المولفة ظهور كتابي هذا. وربما كانت طريقة معالجتي بطبيعة الحال أكثر أكاديمية من طريقة كيلهوفر، إلا أن ذلك لا يقللّ من قدر كتابه بأي حال. وأنا مدين له بالشكر الجزيل لمساعدته وخصوصا إيضاحاته بشأن جدوى تطبيق التسخين الاسترجاعي لماء التغذية في المحطات البخارية، حيث كان يبدو لي، لبعض الوقت، أن الغموض يكتنف العوامل المرجحة والمعارضة لذلك. وكلي أمل أنني كنت دقيقا في كل ما نسبته إلى كيلهوفر، وأكرر امتناني له على مساعدته.

وهناك كثيرون آخرون ممن قدموا لي يد المساعدة، منهم السيد إي. م. كيرتيس من معمل ويتل، حيث أعمل في الوقت الحاضر للمرة الثانية، فقد قام بقراءة جزء من مخطوطة الكتاب، والدكتور ف. هلا من محطة توليد القوى في كورنويبرج بالنمسا الذي أمدني بتفاصيل عن تلك المحطة، والسيد ج. بالملي الذي كان يعمل سابقا مع شركة جنرال إلكتريك بالولايات المتحدة الأمريكية؛ فقد أمدني بمعلومات قيمة عن محطة دورة التغويز المتكامل المولفة IGCC في كول ووتر، والدكتور ت. كوتاس الذي ساعد بصورة مباشرة في قراءة جزء من المخطوطة، والذي رجعت إلى كتابه الممتاز عن التحليل بطريقة الطاقة المرة تلو المرة، والسيدان ك.ر. كيلي و ب.ج. ديفيدسون من شركة ناشيونال باور اللذان

قاما بالتعليق على الفصل الثامن المتضمن ملخصا عن آفاق الماضي والحاضر، والدكتور م. المصري من مؤسسة ثيرموفلو Thermoflow وهو من أكثر من نشروا عن محطات القوى المولفة تميزا. وفي كتابتي للتحليلات الاقتصادية لمحطات القوى المولفة استعنت بزميلين من شركة الشبكة الوطنية، هما السيدان جون إتلي ودنكان إنز. كما تكرم السيد سيمون كوان من كلية وورسستر في أوكسفورد بتقديم المشورة عن أثر اللوائح الضريبية على معدل الربح.

كما أنني أشعر بواجب الشكر تجاه مجلس الجامعة المفتوحة على الأجازات التي منحت لي بين وقت وآخر من أجل التفرغ لإنجاز هذا الكتاب. إن حياة نائب المستشار - كما قال السير أليس ميريسون - حياة غريبة، فهي تشبه حياة الجراد من حيث القفز فجأة من مأمورية إلى أخرى. وكنت من جانبي أشعر دائما أن من الحكمة الإحتفاظ بقدر من النشاط الأكاديمي المستمر للإبقاء على قنوات الاتصال مع الزملاء من الأكاديميين، فساعدني ذلك وأنا نائب للمستشار على المحافظة على نوع من التوازن في وقت بلغ فيه الضغط الحكومي في الثمانينات حدا هائلا ومتواصلا. وقد تكرمت الجامعة المفتوحة بمنحي الوقت الذي سمح لي بأن أظل أكاديميا، ولو أنني على الرغم من كل ذلك قد أنجزت معظم هذا الكتاب أثناء فترات المساء وإجازات نهاية الأسبوع.

ومرة ثانية أسجل شكري لسيدتين لم يكن الكتاب ليكتب لولا مساعدتهما وتحملهما للمشاق. فقد كانت سكرتيرتي ومساعدتي الشخصية السابقة، السيدة شيلا واتس، تعاني كثيرا من مسوداتي غير الكاملة وغير المرتبة، فحولت بصبرها ومهارتها هذه المسودات، الواحدة تلو الأخرى، إلى أنماط مرموقة. أما زوجتي فقد تحملت معي معاناة كتابة كتاب آخر إلى جانب مكابدة مطالب الحياة المنزلية بعد أن أصبحت في مرحلة التقاعد. وقد كنت أعدها في كل

مرة أشرع فيها بكتابة كتاب جديد أنني لن أكتب غيره وكنت أحنث بوعدي كل مرة بعد ثلاث أو أربع سنوات.

كامبردج ١٩٩١م ج.هـ. هورلوك

تنويـــــه :

في الأشكال المأخوذة من مؤلفين آخرين تمت الإشارة إلى المصدر بوضوح في تعاريف تلك الأشكال. وبهذا الخصوص يود المؤلف الإعراب عن تقديره للهيئات التالية لسماحها بإعادة طبع بعض الأشكال في هذا الكتاب: الجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين، شركة ألستوم، نشرة براون بوفيري، مكتب مطبوعات جلالة الملكة (قسم الطاقة)، معهد المهندسين الميكانيكيين، نظم القدرة الحديثة، مداولات مؤتمر القدرة الأمريكي، دار النشر سبرنجر، معهد فون كارمان.

المراجع

[1] Horlock, J. H., *Cogeneration: Combined Heat and Power*. Pergamon Press, Oxford, 1987.
[2] Mayhew, Y. R., Does the Methodology of Teaching Thermodynamics to Engineers Need Changing for the 1990's? *Proc. IMechE*, **205**, 283-286, 1991.
[3] Haywood, R. W., *Analysis of Engineering Cycles*, 4th edition. Pergamon Press, Oxford, 1991.
[4] Haywood, R. W., *Equilibrium Thermodynamics for Engineers and Scientists*. Wiley, Chechester, 1980.

المحتويات

صفحة

مقدمة المترجم ..... هـ

مقدمة المحرر ..... ط

مقدمة المؤلف ..... ك

المحتويات ..... ش

قائمة الرموز ..... أج

الفصل الأول: ديناميكا الحرارة الأساسية لمحطات القوى

١,١ مقدمة ١

١,٢ معايير الأداء في محطات القوى ٧

١,٢,١ كفاءة محطة دورة مغلقة ٧

١,٢,٢ كفاءة محطة دائرة مفتوحة ٩

١,٢,٣ المعدل الحراري ١١

١,٣ أداء محطة قوى (كارنو) المثالية ١١

١,٤ قصور الدورات الأخرى ١٣

١,٥ تعديل الدورات الأخرى لرفع الكفاءة الحرارية ١٦

١,٥,١ محطات القوى التربينية الغازية ١٨

١,٥,١,١ الدورة الأساسية CBT ١٨
١,٥,١,٢ الدورة الاسترجاعية CBTX ٢٣
١,٥,١,٣ إعادة التسخين والتبريد البيني ٢٥
١,٥,٢ محطات القوى التربينية البخارية ٢٧
١,٥,٢,١ الدورة المثالية ٢٧
١,٥,٢,٢ إعادة التسخين ٣٢
١,٥,٢,٣ تسخين ماء التغذية الاسترجاعي ٣٣
١,٥,٢,٤ مناقشة ٣٦
١,٦ الانعكاسية والإتاحية والإكسيرجي ٣٨
١,٦,١ السريان في وجود بيئة محيطة درجة حرارتها T_0
(بدون تفاعل كيماوي) ٣٨
١,٦,٢ السريان المصحوب بانتقال الحرارة عند الدرجة T ٤١
١,٦,٣ دفق الإكسيرجي ٤٥
١,٦,٤ الشغل الأعظمي الناتج من تفاعل كيماوي عند الدرجة T_0 ..... ٤٦
١،٦,٥ الاحتراق الأديباتي ٤٧
١,٦,٦ الشغل الناتج في محطة القوى ٥٠
١,٦,٧ تتبع تدفقات الإكسيرجي عبر محطة قوى ٥٣
١,٧ حوافز استعمال محطة مولفة لزيادة الكفاءة ٥٣
الفصل الثاني: تصنيف محطات القوى المولفة
٢,١ مقدمة ٥٩
٢,٢ محطات الدورتين المغلقتين (وسيط مائع واحد) ٦١

٢,٢,١ الدورة الاسترجاعية الفائقة ("جول"/"رانكن") ٦١
٢,٢,٢ دورة فيلد ("جول"/"رانكن") ٦٥
٢,٢,٣ دورة سوننفلد ("جول"/"رانكن") ٦٨
٢,٢,٤ دورة "رانكن" المجزأة والدورة ثنائية الضغوط ("رانكن"/"رانكن")..... ٧٠
٢,٢,٥ محطة سولزر شبه المغلقة ("جول"/"جول") ٧٣
٢,٣ محطات الدورات المغلقة ثنائية وثلاثية الموائع ٧٦
٢,٣,١ دورات "رانكن"/"رانكن" ٧٧
٢,٣,٢ دورات "جول"/"رانكن" ٧٩
٢,٣,٣ دورات "رانكن"/"رانكن"/"رانكن" ٨٠
٢,٤ محطات الدائرة المفتوحة والدورة المغلقة (وسيطان مائعان) ٨١
٢,٤,١ منظومات التسخين بالعادم ٨٣
٢,٤,١,١ مولد البخار الاستردادي (HRSG) غير الحارق ٨٤
٢,٤,١.٢ مولد البخار الاستردادي الحارق "تكميليا" ٨٧
٢,٤,١,٣ الحرق التام لغازات العادم..... ٨٨
٢,٤,١,٤ ملاحظة حول مولدات البخار الاستردادية..... ٨٩
٢,٤,٢ محطات الاحتراق المشحون ٩١
٢,٤,٢,١ محطات الاحتراق النظيف..... ٩١
٢,٤,٢,٢ المحطات المولفة ذات المهد المميع المشحون (الحارق للفحم) ٩٢
٢,٤,٣ بعض التطويرات الأخرى..... ٩٣
٢,٤,٣,١ دورة كالينا ٩٤
٢,٤,٢,٢ إضافة مغوز فوقيا إلى منظومة احتراق بمهد مميع ٩٧

٢,٥ محطات الدائرتين المفتوحتين (وسيطان مائعان) ٩٨

الفصل الثالث: محطات القوى المولفة

– بعض المفاهيم الديناميكية الحرارية

٣,١ مقدمة ١٠٣

٣،٢ محطات التوالي (دورتان مغلقتان موصلتان على التوالي) ١٠٦

٣,٢,١ محطة "التوالي" المثالية ١٠٦

٣,٢,٢ إحدى حالات محطة كارنو المولفة ١٠٦

٣,٢,٣ محطة كارنو المولفة مع فرق أوسطي في درجات الحرارة ١٠٨

٣,٢,٤ التأثير العام لفرق درجات الحرارة بين المحطتين الفوقية والتحتية ١١١

٣،٢,٤,١ التمثيل البياني للشغل الضائع ١١٥

٣,٢,٤,٢ تفسير زايبل وبرويتر للاّانعكاسية I_{HL}^{Q} ١١٩

٣,٢,٤,٣ الخلاصة ١٢١

٣,٢.٥ "الفقد" الحراري بين المحطات الموصلة على التوالي ١٢٢

٣,٣ محطات التوازي (التسخين المشترك لدورتين مغلقتين) ١٢٤

٣,٤ محطات التوالي مع التوازي (دورتان مغلقتان) ١٢٧

٣,٤,١ انتقال الحرارة الأوسطي وإمداد الحرارة المكمل بين المحطتين ١٢٧

٣,٤,٢ انتقال حرارة أوسطي مع إمداد حراري مكمل مع فقد حرارة بين المحطتين ١٢٩

٣,٥ المحطات المولفة من محطة دائرة مفتوحة (فوقية) ومحطة دورة مغلقة (تحتية) ١٣٢

٣,٥,١ المحطات المولفة من دائرة مفتوحة ودورة مغلقة

(بدون حرق مكمل) ١٣٣
٣,٥,٢ المحطات المولفة من دائرة مفتوحة ودورة مغلقة (مع حرق مكمل) . ١٣٨
٣,٥,٢,١ التحليل بطريقة هيوود ١٣٩
٣,٥,٢,٢ التحليل بطريقة مانجان و بيتي ١٤٢
٣,٥,٢,٣ التحليل بطريقة مرمانز ١٤٦
٣,٥,٣ المحطات المولفة من دائرة مفتوحة ودورة مغلقة (احتراق مشحون
أو مرجل مشحون) ١٤٧
٣,٦ تحليل زايبل و برويتر للمحطات المولفة من محطة تربينية غازية ومحطة
تربينية بخارية ١٤٩
٣,٧ ملخص لعلاقات الكفاءة ١٦٢
الفصل الرابع: دراسات برامترية لمحطات القوى المولفة
٤,١ مقدمة ١٦٩
٤,٢ دراسات برامترية للمحطات المولفة على أساس كفاءات المحطات
المكونة ١٧٠
٤,٢,١ محطة التوالي ذات الدورتين المعلقتين ١٧٠
٤,٢,٢ التسخين المشترك لدورتين مغلقتين ١٧٣
٤.٢,٣ حرارة غير مستغلّة بين محطات التوالي ١٧٣
٤,٢,٤ الإمداد المكمل للحرارة بين محطات التوالي ١٧٦
٤,٢,٥ الفقد الحراري مع التسخين المكمل بين محطات التوالي ١٧٨
٤,٢,٦ مناقشة ١٧٩
٤,٣ دراسات برامترية لمحطات القوى المولفة على أساس تغيرات البرامترات

الديناميكية الحرارية الرئيسية..... ١٨٠
٤,٣,١ المحطات الثنائية الموائع (ذات الدورتين المغلقتين) ١٨٣
٤,٣,١,١ المحطة الثنائية الموائع "رانكن"/"رانكن" ١٨٣
٤,٣,١,٢ محطات التوالي "جول"/"رانكن" (الغازية/البخارية) ١٨٩
٤,٣,١,٣ محطات التوالي مع التوازي "جول"/"رانكن"..... ١٩٨
٤,٣,٢ محطات الدائرة المفتوحة مع الدورة المغلقة (CCGT) ٢٠٧
٤,٣,٢,١ تقدير أداء محطات الدورة التربينية الغازية المولفة..... ٢١٠
٤,٣,٢,١,١ حسابات سرّي..... ٢١٠
٤,٣,٢,١,٢ حسابات رفلي..... ٢٢١
٤,٣,٢,١,٢ حسابات كيلهوفر (وبضمنها حسابات فونش) ٢٢٥
٤,٣,٢,٢ مناقشة بعض الأمور ذات الأهمية في محطات الدورة التربينية الغازية المولفة (CCGT) ٢٣٢
٤,٣,٢,٢,١ أهمية الشغل النوعي للمحطة التربينية الغازية..... ٢٣٣
٤,٣,٢,٢,٢ تأثير تسخين التغذية الإسترجاعي..... ٢٣٦
٤,٣,٢,٢,٣ الاختيار بين التسخين المكمل وإعادة التسخين في المحطة التربينية الغازية..... ٢٤٣
٤,٣,٢,٢,٤ أداء محطات الدورة التربينية الغازية المولفة خارج نقطة التصميم ٢٥٠
٤,٣,٣ محطات الدائرتين المفتوحتين..... ٢٥٤
٤,٣,٣,١ المحطة المولفة الحاقنة للبخار (STIG) ٢٥٦
٤,٣,٣,٢ أنواع أخرى من المحطات المولفة ذات صلة بالمحطات الحاقنة

للبخار (STIG) ٢٦١
٤,٤ مناقشة عامة ٢٦١

الفصل الخامس: التحليل الإكسيرجي

٥,١ مقدمة ٢٧٣
٥,٢ الشغل الضائع بسبب اللاانعكاسية في بعض المكونات ٢٨١
٥,٢,١ الضاغط ٢٨١
٥,٢,٢ التربينة ٢٨١
٥,٢,٣ غرفة الاحتراق ٢٨٢
٥,٢,٤ انتقال الحرارة في مرجل أو مولد بخار استردادي ٢٨٦
٥,٢,٥ التربينة البخارية باستتراف لتسخين التغذية الاسترجاعي ٢٨٨
٥,٢,٦ سلسلة من مسخنات التغذية المتعاقبة ٢٨٩
٥,٢,٧ المكثف ٢٩١
٥,٣ التحليل الإكسيرجي لمحطة ثنائية الأبخرة ٢٩٢
٥,٣,١ حسابات الدورة (مبنية على تدفق زئبق يساوي الوحدة) وحساب الكفاءة الإجمالية للمحطة ٢٩٥
٥,٣,٢ القدرة الناتجة ٢٩٨
٥,٣,٣ احتياج الفحم ٢٩٨
٥,٣,٤ تدفقات الإكسيرجي ومفردات الشغل الضائع ٢٩٩
٥,٣,٥ ملخص ٣٠٢
٥,٤ التحليل الإكسيرجي لمحطة دورة تربينية غازية مولفة (يطبق في دورتها البخارية تسخين تغذية استرجاعي) ٣٠٣

٥,٤,١ حسابات المحطة التربينية الغازية (مبنية على معدَّل تدفق كتلة للغازات الناتجة يساوي الوحدة) ٣٠٥
٥,٤,٢ القدرة الناتجة ٣٠٧
٥,٤,٣ الكفاءة الإجمالية للمحطة ٣٠٨
٥,٤,٤ تدفقات الإكسيرجي ومفردات الشغل الضائع ٣٠٩
٥,٤,٥ ملخص ٣١٢
٥,٥ التحليل الإكسيرجي لمحطة دورة تربينية غازية مولفة (لا يطبق في دورتها البخارية تسخين تغذية استرجاعي) ٣١٣
٥,٥,١ القدرة الناتجة ٣١٤
٥,٥,٢ الكفاءة الإجمالية للمحطة ٣١٥
٥,٥,٣ تدفقات الإكسيرجي ومفردات الشغل الضائع ٣١٦
٥,٥,٤ ملخص ٣١٨
٥,٦ دراسات إكسيرجية برامترية لمحطات الدورة التربينية الغازيةالمولفة ٣١٩

الفصل السادس: اقتصاديات محطات القوى المولفة

٦,١ مقدمة ٣٢٧
٦,٢ تثمين الكهرباء ٣٢٨
٦,٣ معامل العمولة على رأس المال ٣٣١
٦,٤ التدفق النقدي المعدل ٣٣٥
٦,٤,١ المبالغ المسواة ٣٣٥
٦,٤,٢ معدلات العائد وتأثير الأنظمة الضريبية ٣٣٦
٦,٤,٢,١ معدل العائد في النظام الضريبي للولايات المتحدة ٣٣٧

٦,٤,٢,٢ معدل العائد في النظام الضريبي للمملكة المتحدة ٣٤٠
٦,٥ مناقشة ٣٤١
٦,٦ بعض الأمثلة عن التثمين المقارن ٣٤٢
٦,٦,١ تثمين مقارن لمحطة مولفة بمحطة تربينية غازية أساسية ٣٤٢
٦,٦,٢ تثمين عدد من المحطات المولفة ٣٤٦
٦,٦,٣ تثمين محطات المغوز المتكامل المولفة ٣٤٨
٦,٦,٤ تمثيل بياني ٣٤٩
٦,٧ التحليل الإكسيرجي-الاقتصادي لمحطة قوى مولفة ٣٥٢
الفصل السابع: بعض محطات القوى المولفة المنفذة
٧,١ مقدمة ٣٥٩
٧,٢ محطة الزئبق والماء البخارية الثنائية في شيللر - نيوهامبشاير ٣٦٠
٧,٣ محطة CCGT-ب في كورنوويبورج بالنمسا
(مولد بخار استردادي غير حارق) ٣٦٥
٧,٤ محطة CCGT-أ في كورنوويبورج بالنمسا
(مولد بخار استردادي بحرق مكمل) ٣٧١
٧,٥ محطة CCGT الغازية المولفة في هيمويج بهولندا (حرق أقصى) ٣٧٧
٧,٦ محطة التغويز المتكامل في كول ووتر بكاليفورنيا ٣٨٢
٧,٧ محطة حقن البخار STIG في ريبون بكاليفورنيا ٣٨٩
الفصل الثامن: ملخص: محطات القوى المولفة من المنظورين التاريخي والحاضر
٨,١ مقدمة ٣٩٥
٨,٢ تاريخ ما قبل أوائل السبعينات ٣٩٦

٨,٣ التطورات اللاحقة في المحطات التربينية الغازية/البخارية المولفة
في الفترة ١٩٧٠ - ١٩٩٠م ٤٠١
٨,٣,١ المحطة الاسترداديةغير الحارقة ٤٠٦
٨,٣,٢ محطة الحرق المكمل ٤٠٩
٨,٣,٣ محطة الحرق الأقصى ٤١٠
٨,٣,٤ الوضع الحالي للحرق اللاحق للعادم ٤١٠
٨,٣,٥ نواحي التقدم في محطات الدورة التربينية الغازية المولفة ٤١٢
٨,٤ محطات التغويز المتكامل IGCC وبعض المحطات المولفة الأخرى ٤١٢
٨,٥ ملاحظة عن محطات التوليد المترافق (محطات توليف الحرارة والقدرة) ٤١٥
٨,٦ الاستنتاجات ٤١٦
ثبت المصطلحات (عربي ــ إنجليزي) ٤١٩
ثبت المصطلحات (إنجليزي ــ عربي) ٤٣٣
كشاف الموضوعات ٤٤٣

قائمة الرموز

Symbols

البيان	الوحدات	الرمز
التدفق النقدي	£, $ p.a.	A
مساحات على خارطة T,s	kJ/kg	A, B, C
إتاحية السريان المستديم	kJ/kg, kg	b, B
تكلفة وحدة الإكسيرجي	£/kJ	c
تكلفة رأس المال	£, $	C
الحرارة النوعية عند ثبات الضغط	kJ/kgK	c_p
القيمة الحرارية للوقود عند درجة الحرارة T_0	kJ/kg	$(CV)_0$
الإكسيرجي	kJ/kg, kJ	e, E
جهد توليد الشغل من الحرارة المنقولة ،الإكسيرجي الحرارية	kJ	E^Q
--	kJ	$\mathcal{E} = E^Q + E + W$
معامل استغلال الطاقة	--	EUF
نسبة الهواء إلى الوقود ؛ معامل إكسيرجي اقتصادي	--	f
نسبة الهواء إلى الغاز ؛ معامل إكسيرجي اقتصادي معدل	--; --	f'
معامل القيمة الحالية	--	$N_f{}_{AP}$
طاقة الوقود الواردة	kJ	F
دالة جيبس	kJ/kg, kJ	g, G
الإنثالبي	kJ/kg, kJ	h, H
فترة الانتفاع (ساعات تشغيل المحطة)	h/year	H
سعر العمولة أو الخصم	--	i
الشغل (الكلي) الضائع بسبب اللاانعكاسية	kJ	I
الشغل الضائع بسبب اللاانعكاسية الداخلية	kJ	I^{CR}
الشغل الضائع بسبب انتقال الحرارة إلى الجو	kJ	I^Q

البيـــــــــان	الوحدات	الرمـــــز
الحرارة الكامنة	kJ/kg	l
كتلة البخار المستنزف (لكل وحدة تدفق من المرجل)	--	m
كتلة المائع الدوار ؛ تكلفة الوقود السنوية ؛ الوزن الجزيئي ؛ رقم ماخ	kg/s; £, $ p.a.; --; --	M
عمر المحطة	years	N
تكاليف التشغيل والصيانة السنوية	£, $ p.a.	OM
الضغط	N/m^2	p
تكلفة الكهرباء في السنة	£, $ p.a.	P
الحرارة الواردة أو المطرودة	kJ/kg, kJ	q, Q
نسبة الضغوط ؛ معدل العائد	--	r
معامل استرداد الحرارة (ارجع إلى المتن) ؛ النسبة الكسرية من تسخين التغذية الأعظم ؛ ثابت الغاز	kJ; --; kJ/kgK	R
الثابت العام للغازات	kJ/kmolK	$\overline{R}$
تكلفة وحدة كتلة الوقود	£, $/kg	S
الإنتروبي	kJ/kgK, kJ/K	s, S
الزمن	s	t
درجة الحرارة	°C, K	T
تكاليف التشغيل الثابتة	£, $ p.a.	U
تكاليف التشغيل المتغيرة	£, $/kWh	V
الشغل النوعي الناتج ؛ الشغل الناتج	kJ/kg, kJ	w, W
الشغل الداخل	kJ	$\mathcal{W}$
معامل جفاف البخار	--	x
النسبة بين الشغل الناتج من المحطة الفوقية وطاقة الوقود الواردة	--	$x=(W_H/F)$
السعر على أساس وحدة الطاقة	£, $/kWh	Y
معدل تكلفة رأس المال	£, $ p.a.	$\dot{Z}$

البيـــــــــان	الوحدات	الرمـــــز
ثوابت معرّفة في المتن	various (متنوع)	*A, B, C, D, E, F, K, K'*
نسب من تكلفة رأس المال	--	α
مساحات على خارطة *T-s* ؛ ثوابت معرّفة في المتن	kJ/kg; متنوع	α,β,γ
معامل التكلفة المرسملة	--	β
النسبة الكسرية للاّانعكاسية	--	δ
فعالية الطاقة (معرفة في المتن)	--	ε_B
فعالية المبادل الحراري	--	ε
تكلفة الوقود لكل وحدة طاقة	£, $/kWh	ζ
الكفاءة (انظر التفصيل أدناه)	--	η
النسبة بين درجتي الحرارة العظمى والدنيا	--	θ
نسبة الحرارتين النوعيتين	--	κ
النسبة بين معدّلي التدفق في الدورتين (التحتية إلى الفوقية)	--	λ
؛ التغير الكسري للإكسيرجي في مكونة تكلفة فواقد الإكسيرجي	£, $ p.a.	$\dot{\Lambda}$
مقياس رسم الإنتروبي ؛ النسبة بين معدل تدفق البخار عالي الضغط والبخار الكلي	--; --	μ
الحرارة الواردة (ν_S) أو الحرارة غير المستغلة (ν_{UN}) (عديمتي الأبعاد ، أي غير بعدية)	--	ν
برامترات مستعملة في تحليل الدورات	--	μ,ξ,σ,τ
التكلفة الكلية للإكسيرجي	£, $ p.a.	$\dot{\Pi} = \dot{E}c$
النسبة الآيزنتروبية لدرجات الحرارة ؛ الكثافة	--; kg/m^3	ρ
معدل الضريبة على أرباح الشركات	--	τ
الاستقطاع الاستثماري من الضريبة	--	τ_{CR}
النسبة ($\Delta G_0/\Delta H_0$)	--	ψ
الدالة $\int_0^T c_p dT / T$	kJ/kgK	ϕ

Subscripts	الرموز السفلية (الذّيليَّة)
a, a', b, b', c, c', d, d', e, e', f, f '	نقاط الحالة في الدورة التحتية (البخارية)
A	الهواء ؛ خاص بطرد الحرارة
AUX	مساعد
B	مرجل ؛ خاص بإضافة الحرارة
C	الضاغط (كفاءته الآيزنتروبية)
CARNOT	دورة كارنو
CL	دورة مغلقة
COMB	الاحتراق (كفاءته)
CON	المكثف
CP	المحطة المولفة (بصفة عامة)
CPP	المحطة المولفة على التوازي (كفاءتها)
CPS	المحطة المولفة على التوالي (كفاءتها)
CPSP	المحطة المولفة على التوالي والتوازي (كفاءتها)، أي بتسخين مكمل، وبدون فقد حراري أوسطي
CR	متولد (خاص بالإنتروبي)
CS	سطح المراقبة
CV	حيّز المراقبة
D	دين
e	ملكية
e	إكسيرجية (للكفاءة)
E	كهرباء (للسعر أو التكلفة)
F	الوقود
FP	مضخة التغذية
G	الغاز
GT	التربينة الغازية
H	فوقية (علوية) ، خاص بإضافة الحرارة أو الشغل الناتج

Subscripts	الرموز السفلية (الذّيليّة)
HL	بين المحطتين الفوقية والتحتية
HR	طرد الحرارة من المحطة الفوقية
ht	انتقال الحرارة (كفاءته)
i	لترقيم المكونات (i=A,B,...)
k	لترقيم الغازات الناتجة (k=1,2,3,..)
L	تحتية (سفلية) ، خاص بإضافة الحرارة أو الشغل الناتج
LM	فرق درجات الحرارة اللوغاريتمي المتوسط
HR	طرد الحرارة من المحطة التحتية
max	الأكبر ، الأعظم ، الأقصى
min	الأصغر ، الأدنى
M	الخليط
O	الإجمالية (الكفاءة)
OP	المحطة المفتوحة
p	بوليتروبية (الكفاءة)
P	نواتج الاحتراق
P'	نواتج الاحتراق المكمل
PH	التسخين المسبق
R	المنطقية ، المتفاعلات ، فقد الحرارة بالإشعاع ، معدل التدفق في دورة رانكن
REV	انعكاسي ، عكوس
s	نقطة النهاية في انضغاط أو تمدد آيزنتروبي
S	نقطة الدخول إلى المدخنة ؛ التسخين المكمل
ST	البخار (الدورة التحتية) ؛ التربينة البخارية
str	التيارات
td	الديناميكية الحرارية (الكفاءة)
T	التربينة (الكفاءة الآيزنتروبية)
UN	طرد الحرارة غير المستغلة

الرموز السفلية (الذّيليّة)	Subscripts
الماء المشبع	w
خاص بمعدلات التدفق في دورة كالينا	x, y, z, z'
نقاط الحالة عند مخرج المبادل الحراري ؛ مدخل ومخرج إحدى المكونات	X, Y
متنوع ؛ نقاط حالة الغاز في الدورة الفوقية	1, 1', 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5, 6
البيئة المحيطة (الجو المحيط) ؛ السنة صفر	0

الرموز العُلْوية	Superscripts
اللاانعكاسية الداخلية	CR
الإكسيرجي الحرارية (أي المرتبطة بانتقال الحرارة) ؛ الشغل الضائع بسبب اللاانعكاسية المرتبطة بانتقال الحرارة	Q
معدل (تدفق الكتلة ، الإمداد بالحرارة ، الشغل الناتج ، ....إلخ)	$\dot{M}, \dot{Q}, \dot{W}, ..$
القيمة الجديدة لـ (الكفاءة ، معامل العمولة ، ...إلخ)	η', i'
نقاط الحالة في سلسلة من مسخنات التغذية أو التبريد البيني	a', b', 3', 4', ...
القيمة المتوسطة (درجة الحرارة مثلا) ؛ مسوّى (تدفق نقدي)	$\overline{T}, \overline{A}, ..$
خاص بمحطة قوى مولفة على التوالي وبدون فرق درجات حرارة بين المحطتين الفوقية والتحتية ، أي ($T_{HR}=T_L$)	$\tilde{\eta}, ...$
الكفاءة المثلى (الأمثلية)	*

الكفاءات الحرارية	Thermal Efficiencies
الدورة الفوقية	η_H
الدورة التحتية	η_L
الدورة المولفة (على وجه العموم)	η_{CP}
الدورة المولفة على التوالي (بدون فقد حراري أوسطي)	η_{CPS}
الدورة المولفة على التوازي	η_{CPP}
الدورة المولفة على التوالي والتوازي (بدون فقد حراري أوسطي)	η_{CPSP}
الدورة التربينية الغازية	η_{GT}
دورة الزئبق	η_M
دورات التوالي بدون فرق درجات حرارة أوسطي بين المحطتين	η_{CPS}
دورة كارنو	η_{CARNOT}

Overall Efficiencies	الكفاءات الإجمالية
$(\eta_o)_H$	المحطة الفوقية
$(\eta_o)_{CP}$	المحطة المولفة
$(\eta_o)_{CPS}$	المحطة المولفة على التوالي (بدون فقد حراري أوسطي)
$(\eta_o)_{CPSP}$	المحطة المولفة على التوالي والتوازي (بدون فقد حراري أوسطي)
$(\eta_o)_{GT}$	المحطة التربينية الغازية

Rational Efficiencies	الكفاءات المنطقية
$(\eta_R)_{CP}$	المحطة المولفة
$(\eta_R)_{GT}$	المحطة التربينية الغازية
$(\eta_R)_i$	المكونة أو الجزء (i)

Other Efficiencies	الكفاءات الأخرى
(η_e)	إكسيرجية
(η_{td})	ديناميكية حرارية
η^*, η^{**}	خاصة بتحليل زايبل و برويتر (معرّفة في المتن)
(η_B)	المرجل
(η_C)	الآيزنتروبية للضاغط
(η_T)	الآيزنتروبية للتربينة
(η_{COMB})	الاحتراق
(η_P)	البوليتروبية
ε_B	فعالية الطاقة (معرّفة في المتن)