بسم الله الرحمن الرحيم

محركات الاحتراق الداخلي

العلوم الحرارية التطبيقية

تأليف

Colin R. Ferguson Allan T. Kirkpatrick

ترجمة

أ. د. يوسف محمد عبدالرحيم

الأستاذ الدكتور بقسم الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة – جامعة الملك سعود (سابقًا)

قسم الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة – جامعة أسيوط

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ المملكة العربية السعودية

ح دار جامعة الملك سعود للنشر، ١٤٣٩هـ (٢٠١٨م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

فيرجيسون، كولين ر.

محركات الاحتراق الداخلي: العلوم الحرارية التطبيقية / كولين ر. فيرجيسون وآلان ت. كيرك باتريك؛ يوسف محمد عبدالرحيم - الرياض، ١٤٣٨هـ.

٥١٩ ص؛ ١٧سم × ٢٤ سم

ردمك: ٤ - ٥٥٣ - ٥٠٧ - ٦٠٣ - ٩٧٨

١- محركات الاحتراق الداخلي أ. كيرك باتريك، آلان ت. (مؤلف مشارك)

ب. عبدالرحيم، يوسف محمد (مترجم) ج. العنوان

ديوي ٦٢٩,٢٥ ١٤٣٨/٣٤٩٨

رقم الإيداع: ١٤٣٨/٣٤٩٨

ردمك: ٤ - ٥٥٣ - ٥٠٧ - ٦٠٣ - ٩٧٨

هذه ترجمة عربية محكمة صادرة عن مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Internal Combustion Engines: Applied Thermosciences
By: Colin R. Ferguson And Allan T. Kirkpatrick
© John Wiley & Sons, Inc., 2001.

وقد وافق المجلس العلمي على نشرها في اجتماعه الخامس للعام الدراسي ١٤٣٧/ ١٤٣٨هـ، المعقود بتاريخ ٧/ ٢/ ١٤٣٨هـ، الموافق ٧/ ١١/ ٢٠١٦م.

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يسمح بإعادة نشر أي جزء من الكتاب بأي شكل وبأي وسيلة سواء كانت إلكترونية أو آلية بما في ذلك التصوير والتسجيل أو الإدخال في أي نظام حفظ معلومات أو استعادتها بدون الحصول على موافقة كتابية من دار جامعة الملك سعود للنشر.

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

شكر وعرفان المترجم

إن قيام جامعة الملك سعود *King Saud University* بالرياض بالمملكة العربية السعودية بطبع ونشر هذا الكتاب المرجعي **"محركات الاحتراق الداخلي: العلوم الحرارية التطبيقية"** في مجال محركات الاحتراق الداخلي، وإتاحته للدارسين والعاملين في هذا المجال بصفة عامة، ولطلاب كلية الهندسة بصفة خاصة لخير دليل على عمق واتساع أفق رسالة الجامعة في خدمة كل من المجتمع الطلابي الهندسي الأكاديمي، والمجتمع الفني العملي التطبيقي في الحياة.

بالنظر إلى مجهودات جامعة الملك سعود التي لا تنكر في توفير وترسيخ البيئة العلمية والثقافية والمعرفية من خلال العديد من المجالات والأنشطة، فإن تبني طبع ونشر هذا الكتاب يمثل إضافة في هذا الاتجاه مما يستوجب توجيه الشكر والعرفان لكل من السادة أصحاب القرار في إدارة الجامعة، وإدارة مركز الترجمة، والمحكمين، والمراجعين، وكل العاملين على إنجاز هذا الكتاب في صورته الحالية.

نبذة المترجم

حصل الدكتور يوسف محمد عبدالرحيم ($Prof.Yousef\ Mohamed\ Abdel-Rahim$) على درجتي البكالوريوس والماجستير من قسم الهندسة الميكانيكية بجامعة أسيوط بمصر، وعلى درجة الدكتوراه في مجال محركات الاحتراق الداخلي من جامعة ولاية كانساس *Kansas State University* بالولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٨٤م. منذ ذلك الحين والدكتور يوسف محمد عبدالرحيم يقوم بالتدريس في عدة جامعات عربية، وأجنبية، ويمارس النشر العلمي في العديد من الدوريات المحلية والعالمية، والاشتراك في المؤتمرات العالمية، والإشراف على الرسائل العلمية للماجستير والدكتوراه في مجالات الهندسة الحرارية عموماً، وفي مجال محركات الاحتراق الداخلي على وجه الخصوص.

وبجانب عمله عضواً بهيئة التدريس بالجامعة، عمل الدكتور يوسف محمد عبدالرحيم في تطوير المناهج في دولة البحرين في مجال محركات الاحتراق الداخلي.

عمل الدكتور يوسف محمد عبدالرحيم أستاذاً بقسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة بجامعة الملك سعود بالرياض *King Saud University* بالمملكة العربية السعودية.

من خلال تواجده أستاذاً زائراً بالولايات المتحدة الأمريكية *USA* ، قام الدكتور يوسف محمد عبدالرحيم بتدريس مقررات الديناميكا الحرارية، ومقررات تصميم محركات الاحتراق الداخلي، وإجراء البحوث في أقسام الهندسة الميكانيكية في عدة جامعات بالولايات المتحدة الأمريكية منها:

- جامعة ألينوي (2001) *University of Illinois UIUC*.
- جامعة ولاية أيوا (2005) *Iowa State University*.

- جامعة فلوريدا (2008) *University of Florida*.
- جامعة جنوب فلوريدا (2011 – 2014) *University of South Florida*.

يعمل الدكتور يوسف حاليًا أستاذاً بقسم الهندسة الميكانيكية بجامعة أسيوط *Assiut University*.

مقدمة المترجم

تزخر المكتبات بوفرة في الكتب المرجعية عن محركات الاحتراق الداخلي، إلا أن الكتاب الحالي **"محركات الاحتراق الداخلي: العلوم الحرارية التطبيقية"** يعد واحداً من تلك الكتب التي يجب على المهندس الميكانيكي الحرص على اقتنائها؛ نظراً لما له من نهج حديث في تناول موضوع محركات الاحتراق الداخلي من كافة جوانبها. يتمثل النهج الحديث لموضوعات الكتاب في المزج بين البداية في توضيح كيفية تطبيق المبادئ الأساسية للعلوم الهندسية ممثلة في الديناميكا الحرارية، وميكانيكا الموائع، وانتقال الحرارة إلى الوصول إلى النمذجة والمحاكاة للعمليات التي تحدث داخل المحركات، مع توفير العديد من الأمثلة التوضيحية المدعومة في كثير من الأحيان بتطبيقات "جافا" المعتمدة على الشبكة العنكبوتية. إن جهداً كبيراً قد بذل في هذا الكتاب لجعل الديناميكا الحرارية المطلوبة لدراسته تقريباً في متناول طلاب الهندسة الميكانيكية.

صمم هذا الكتاب لتدريس مقرر محركات الاحتراق الداخلي في فصل دراسي واحد بالمرحلة الجامعية المتقدمة طوال فصل دراسي كامل في السنة الأخيرة من دراسة الهندسة الميكانيكية. يجتمع الدارسون لهذا المقرر للمحاضرات مرتين أسبوعياً، ويجتمعون للمراجعة النظرية والتمارين وللتجارب المعملية مرة واحدة في الأسبوع طوال الفصل الدراسي. يتبع المنهج الدراسي لهذا المقرر التبويب المبين بالكتاب طبقاً للموضوعات المطروحة، وينتهي بمشروع للطالب.

علاوة على ما سبق، فإن هذا الكتاب يعتبر مفيداً أيضاً بوصفه مرجعاً للمهندسين الممارسين العمليين في مجالات محركات الاحتراق الداخلي. يوجد بكل فصل من فصول الكتاب قوائم تفصيلية للمراجع ذات العلاقة لتوجيه القارئ للاستعانة بأهم الأدبيات البحثية المنشورة. كما تتضمن الطبعة الحالية من الكتاب مسائل إضافية.

احتوى تنظيم موضوعات كل فصل من فصول الكتاب على ما يلي:

الفصل الأول: اشتمل هذا الفصل، بعد مقدمته التاريخية عن محركات الاحتراق الداخلي، على توضيح معاملات أداء المحرك مثل قطر الأسطوانة وطول الشوط، والضغط المتوسط الفعال، والقدرة، والكفاءة الحجمية، مع مناقشة ديناميكية المحرك، وعملية اتزانه. واختُتم الفصل بعرض لأشكال ومكونات المحركات بأنواعها من محركات الإشعال بالشرارة للسيارات، ومحركات الديزل للشاحنات الثقيلة، ومحركات الغاز الطبيعي الثابتة لتوليد القدرة البديلة، والمركبات الكهربائية، وخلايا الوقود، والتربينات الغازية، والمحركات البخارية.

الفصل الثاني: تناول هذا الفصل دورة ميلر والدورات الرباعية الأشواط ، مع شرح استخدام تطبيقات جافا لحساب الحرارة المضافة، والضغط، ودرجة الحرارة، والتوقيت الأمثل للشرارة، مع تطبيقات جافا لحساب شوطي الضغط والعادم، والكفاءة الحجمية، ونسبة العادم المتخلف.

الفصل الثالث: تناول هذا الفصل معادلات الحالة للغاز المثالي، والسوائل ومخاليط أبخرة السوائل، والغازات مع توضيح حسابات الاحتراق المثالي، والاحتراق المتزن. ومع أمثلة توضيحية باستخدام تطبيقات جافا لحساب التغييرات في الحالة عند ثبوت الأنتروبي، وتحت الضغط الثابت، وتحت الحجم الثابت لحالات الاحتراق، وأيضاً لحساب درجة حرارة اللهب المعزول حرارياً.

الفصل الرابع: يوضح هذا الفصل المقارنة بين الكفاءة المحسوبة بالقانون الأول وبالقانون الثاني للديناميكا الحرارية، مع أمثلة باستخدام تطبيقات جافا لحساب دورة أوتو المثالية للهواء والوقود، ولحساب خصائص الحالة، والكفاءة الحجمية، ونسبة الغازات المتخلفة لدورة أوتو للهواء والوقود رباعية الأشواط. ويختتم الفصل بمقارنة مخططات الضغط مقابل الحجم لدورة الوقود والهواء مع المخططات الفعلية لعمليات محرك الاشتعال بالشرارة، والاشتعال بالضغط.

الفصل الخامس: يركز هذا الفصل على اختبار الأداء والتحكم في المحرك، وشرح جهاز الديناموميتر، وقياس انسياب السوائل، مع إضافة بنود قياسات الضغط داخل الأسطوانة، وتحليل نواتج الاحتراق، واختبار انبعاثات المركبات، وأجهزة الرصد، والتحكم في المحرك، ونظم التحكم الرقمية للمحرك.

الفصل السادس: اشتمل هذا الفصل على تحليل ونمذجة ومحاكاة الاحتكاك، وتقديم النماذج والعلاقات التوافقية للاحتكاك. كما يصف الفصل استخدام تطبيقات جافا لحساب الضغط المتوسط الفعال الاحتكاكي لمختلف المكونات مدعومة برسومات توضيحية للمقارنة بين المقادير النسبية لمختلف عمليات الاحتكاك.

الفصل السابع: توسع هذا الفصل في موضوعات السريان عبر الصمامات، ومعاملات التفريغ، وتوقيت الصمامات، وأثرها في الكفاءة الحجمية، مع مناقشة مواءمة السريان باستخدام البرامج الحاسوبية الخاصة بديناميكا الموائع. كما اشتمل الفصل على نظم قياس سرعة الحبيبة التصويرية، والمقاييس الطولية للاضطراب، ونماذج الاضطراب، مع التوسع في مناقشة نظم حقن الوقود في محركات الإشعال بالشرارة، ونظم ضغط وحقن الوقود في محركات الديزل.

الفصل الثامن: تناول هذا الفصل أنظمة تبريد المحرك، واتزان الطاقة. كما أُستخدمت تطبيقات جافا لحساب تأثير انتقال الحرارة على نماذج انتقال الحرارة المحدودة، وانتقال الحرارة بالإشعاع.

الفصل التاسع: ناقش هذا الفصل تجارب محركات الاحتراق ذات الإشعال بالشرارة وما تعانيه من عملية الطرق، وتجارب الاحتراق في المحركات ذات الإشعال بالضغط. كما تناول الفصل تحليل عملية الاحتراق، والانبعاثات، ونماذج الاحتراق في محركات ذات الإشعال بالضغط، والتحكم في انبعاثات المركبات، خاصة المحول الحفاز.

الفصل العاشر: نظم هذا الفصل كيمياء المواد الهيدروكربونية، مع شرح عمليات التكرير، وأنواع بدائل الوقود، ليشمل غاز البروبان، والغاز الطبيعي، والهيدروجين، والميثانول، والإيثانول، وأيضاً البنزين المعاد تركيبه.

الفصل الحادي عشر: اشتمل هذا الفصل على اختبار أداء المحرك، وقياس معاملات هذا الأداء.

المترجم

تقديم

المقدمة

يقدم هذا الكتاب المرجعي **"محركات الاحتراق الداخلي: العلوم الحرارية التطبيقية"** نهجاً حديثاً لدراسة محركات الاحتراق الداخلي. كانت دراسة محركات الاحتراق الداخلي، وستبقى في المستقبل المنظور أساسية وحيوية وهامة في التعليم الهندسي وفي البحث العلمي. الغرض من هذا الكتاب هو تطبيق مبادئ الديناميكا الحرارية، وميكانيكا الموائع، وانتقال الحرارة في تحليل محركات الاحتراق الداخلي. يهدف هذا الكتاب أولاً إلى تعريف الطالب تطبيق العلوم الهندسية، وخصوصاً العلوم الحرارية، وثانياً، هو كتاب عن محركات الاحتراق الداخلي. إن جهداً كبيراً قد بذل في هذا الكتاب لجعل الديناميكا الحرارية المطلوبة لدراسته تقريباً في متناول كل طلاب الهندسة الميكانيكية. هذا يرجع إلى أن لدى معظم الطلاب القليل- إن وجد- من الخبرة في تطبيق القانون الأول للديناميكا الحرارية للعمليات غير المنتظمة في النظم المفتوحة، أو في تطبيق القانون في صورته التفاضلية للأنظمة المغلقة، وأن الخبرة التي لدى معظمهم هي فقط في حساب أبسط التفاعلات في المخاليط الغازية.

صمم هذا الكتاب لتدريس مقرر محركات الاحتراق الداخلي في فصل دراسي واحد بالمرحلة الجامعية المتقدمة في جامعة ولاية كولورادو. تستخدم هذه الطبعة الحالية من الكتاب في تدريس هذا المقرر طوال فصل دراسي كامل في السنة الأخيرة من دراسة الهندسة الميكانيكية. يجتمع الدارسون لهذا المقرر للمحاضرات مرتين أسبوعياً، ويجتمعون للمراجعة النظرية والتمارين وللتجارب المعملية مرة واحدة في الأسبوع، وذلك على مدى خمسة عشر أسبوعاً طوال الفصل الدراسي. يتبع المنهج الدراسي لهذا المقرر التبويب المبين بالكتاب طبقا للموضوعات المطروحة، وينتهي بمشروع للطالب.

الجديد في الطبعة الحالية

تمثل الطبعة الحالية للكتاب تنقيحاً كاملاً لـمحتوى الطبعة الأولـى منه، مع مراعاة إعادة تنظيم وتحديث محتوى موضوعات كل فصل من فصول الكتاب. يشمل التغيير فـي الـمحتوى مناقشة أحدث التقنيات الجديدة فـي المحرك، مع تقديم عرض الـمواد الجديدة للنمذجة والمحاكاة باستخدام الديناميكيا الحرارية، ومعـدلات التدفق الداخلة والخارجة فـي الـمحرك، وتحليل عملية الاحتراق، وأنـواع بدائل الوقود، والانبعاثات، وأجهـزة القياس، وأنظمة التحكم. يشتمل الكتاب أيضاً علـى طرق حسابية حديثة قائمة علـى (الشبكة العنكبوتية) الويب (web-based). يمكن استخدام تطبيقات جافا الحسابية لإيـجاد الحلول المطلوبة لـمشاكل وتمارين الاحتراق داخل المحرك، والديناميكا الحرارية، وانتقال الحرارة، والاحتكاك. تفيد التطبيقات الحاسوبية فـي حـل المشاكل ذات النهايات المفتوحة الموجهة. هذه النوعية من الـمشاكل تناسب مناولة موضوعات التصميم والمشاريع، ويتم الوصول إلـى حلول لها باستخدام مـحتوى الكتاب بالاستعانة بمتصفحـات الإنترنت، مثـل "متصفح نتسكيب" ($Netscape\ Communicator$)، أو "متصفح مايكروسوفت إنترنت إكسبلورر" ($Microsoft\ Internet\ Explorer$). من خلال الرابط ($www.wiley.com/college/ferguson$)، أو من خلال استخدام الرابط التالي: ($www.engr.colostate.edu/\sim allan/engines.html$).

يعتبر هذا الكتاب مفيداً أيضاً كمرجع للمهندسين الممارسين العمليين فـي مـجالات محركات الاحتراق الداخلي. يوجد بكل فصل من فصول الكتاب قوائم تفصيلية للمراجع ذات العلاقة لتوجيه القارئ للاستعانة بأهم الأدبيات البحثية المنشورة. تتضمن الطبعة الحالية من الكتاب مسائل إضافية.

يعتبر تسلسل فصول الكتاب هو نفسه كما فـي الطبعة الأولى، مع بعض التغييرات الطفيفة في عناوين الفصول لتعكس المواد الجديدة التي أضيفت. تبين الفقرات التالية إجمالي المحتويات التي تغيرت في كل فصل.

الفصل الأول: تم إضافة بعض التفاصيل التاريخية، بما في ذلك بعض المخترعين الهامين لمحركات الاحتراق الداخلي. يوضح الفصل معاملات الأداء مثل قطر الأسطوانة وطول الشوط، والضغط المتوسط الفعال والقدرة، والكفاءة الحجمية، وما إلى ذلك من عوامل أداء المحرك في قسم واحد. أضيف إلى هذا الفصل مناقشة ديناميكية المحرك، وعملية اتزانه، مع إضافة دليل لأشكال ومكونات المحرك. أعيد تنظيم أمثلة المحرك في بند واحد، ونقحت لتشمل محرك الإشعال بالشرارة للسيارات، ومحرك الديزل للشاحنات الثقيلة، ومحرك الغاز الطبيعي الثابت. تم تحديث قسم محطات

توليد القدرة البديلة. يناقش هذا الفصل المركبات الكهربائية، وخلايا الوقود، والتربينات الغازية، والمحركات البخارية.

الفصل الثاني: أضيف لهذا الفصل دورة ميلر. يشرح هذا الفصل استخدام تطبيقات جافا لحساب الحرارة المضافة، والضغط ودرجة الحرارة، والتوقيت الأمثل للشرارة، ... إلخ، من أجل تقديم نموذج محدد للحرارة المتولدة. تم تنقيح تحليل الدورات الرباعية الأشواط، مع إضافة تطبيقات جافا لحساب شوطي الضغط والعادم، والكفاءة الحجمية، ونسبة العادم المتخلف، وما إلى ذلك، وذلك لدورة الغاز المثالي رباعية الأشواط.

الفصل الثالث: أعيد ترتيب البنـود الخاصة بمعادلات الحالة للغاز المثالي، والسوائل ومخاليط أبخرة السوائل، والغازات لتكون فـي أقسام متزامنة. استحدث البند الخاص بحسابات الاحتراق المثالي فـي درجات الحرارة المنخفضة لتكون على أساس جزيئي (مول) من الوقود. تم حساب الكسور الجزيئية في عملية الاحتراق المتزن، وخواص الخليط لمجموعة متنوعة من أنواع الوقود عند قيم معروفة من درجات الحرارة، والضغوط، ونسب التكافؤ باستخدام تطبيقات جافا. استخدمت تطبيقات جافا أيضاً لحساب التغييرات في الحالة عند ثبوت الأنتروبي، وحساب التغيرات تحت الضغط الثابت، وتحت الحجم الثابت لحالات احتراق مخاليط الهواء والوقود، وأيضاً لحساب درجة حرارة اللهب فـي حالة عدم وجود انتقال حرارة، لمجموعة متنوعة من أنواع الوقود كدالة في الضغط ونسبة الغازات المتخلفة. أضيفت أمثلة توضيحية لحساب الاحتراق المتوازن للوقود مع الهواء.

الفصل الرابع: تم تـحديث المقارنة بين الكفاءة محسوبة بالقانون الأول للديناميكا الحرارية، وبالقانون الثاني للديناميكا الحرارية. اشتمل الفصل علـى أمثلة لحساب دورة أوتو المثالية للهواء والوقود باستخدام تطبيقات جافا. استخدمت تطبيقات جافا أيضاً لحساب خصائص الحالة، والكفاءة الحجمية، ونسبة الغازات المتخلفة، ... إلخ، لدورة أوتو للهواء، والوقود رباعية الأشواط لـمجموعة متنوعة من أنواع الوقود. تم إضافة بند يقارن مخططات الضغط مقابل الحجم لدورة الوقود والهواء مع المخططات الفعلية لعمليات محرك الاشتعال بالشرارة، والاشتعال بالضغط.

الفصل الخامس: يتناول هذا الفصل عنواناً جديداً يعكس التركيز على اختبار الأداء، والتحكم في المحرك، مع التوسع فـي البنود التي تشـرح جهاز الديناموميتر، وقياس انسياب السوائل. تم إضافة مادة علمية لكل من بنود قياسات الضغط داخل الأسطوانة، وتـحليل نواتج الاحتراق، واختبار انبعاثات المركبات، وأجهـزة الرصد، والتحكم في المحرك، ونظم التحكم الرقمية للمحرك.

الفصل السادس: تم تنقيح وتحديث هذا الفصل أولاً ليشمل تحليلاً ونمذجة ومحاكاة للاحتكاك، وثانياً لشرح العلاقات الهندسية لمختلف مكونات المحرك، مع تقديم النماذج والعلاقات التوافقية للاحتكاك. يصف الفصل استخدام تطبيقات جافا لحساب الضغط المتوسط الفعال الاحتكاكي لمختلف المكونات. تم إضافة رسومات توضيحية للمقارنة بين المقادير النسبية لمختلف عمليات الاحتكاك.

الفصل السابع: توسع هذا الفصل في موضوعات السريان عبر الصمامات، ومعاملات التفريغ، وتوقيت الصمامات، وأثرها على الكفاءة الحجمية. تشمل المادة العلمية الجديدة عن السريان خلال صمام السحب وصمام العادم مناقشات مواءمة السريان باستخدام البرامج الحاسوبية الخاصة بديناميكا الموائع. تم إضافة مادة علمية عن نظم قياس سرعة الحبيبة التصويرية (*PIV particle image velocimetry*)، والمقاييس الطولية للاضطراب، ونماذج الاضطراب. تم التوسع في مناقشة نظم حقن الوقود في محركات الإشعال بالشرارة، ونظم ضغط وحقن الوقود في محركات الديزل.

الفصل الثامن: أعيد ترتيب وتنظيم هذا الفصل لوضع أنظمة تبريد المحرك، واتزان الطاقة أولاً، ويليها القياسات، ونماذج حساب معدلات انتقال الحرارة، ومن ثم الروابط التوافقية الهندسية. يوضح الفصل استخدام تطبيقات جافا لحساب تأثير انتقال الحرارة على نماذج انتقال الحرارة المحدودة، وللمقارنة بين التوقعات الخاصة لأثنين من العلاقات المستخدمة في حساب انتقال الحرارة على نطاق واسع، مع إضافة مادة علمية حديثة عن انتقال الحرارة بالإشعاع.

الفصل التاسع: عدل هذا الفصل بداية بتنقيح تجارب محرك الاحتراق ذات الإشعال بالشرارة، يليه الطرق، وتجارب الاحتراق في المحركات ذات الإشعال بالضغط، وتحليل عملية الاحتراق، وينتهي بالانبعاثات. تم إضافة مواد علمية للفصل تتضمن نماذج الاحتراق في محركات ذات الإشعال بالضغط، والتحكم في انبعاثات المركبات، خاصة المحول الحفاز.

الفصل العاشر: نظم هذا الفصل ليعرض بداية كيمياء المواد الهيدروكربونية، ثم التكرير. تم التوسع بشكل كبير في البند الخاص بأنواع بدائل الوقود، ليشمل غاز البروبان والغاز الطبيعي والهيدروجين والميثانول والإيثانول. تم أيضاً مناقشة البنزين المعاد تركيبه.

الفصل الحادي عشر: خضع هذا الفصل لعملية إعادة تنظيم جزئي. وتم إضافة بند عن اختبار أداء المحرك، وقياس معاملات هذا الأداء.

شكر وعرفان المؤلفين

يعكس نهج وأسلوب هذا الكتاب تجارب المؤلفين كطلاب في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (*MIT*). على وجه الخصوص، فقد تعلمنا الكثير من الأساتذة جون ب. هيوود (*Heywood*)، س. ف. تايلور (*Taylor*)، وجان ف. لويس (*Louis*) في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا.

في التحضير للطبعة الحالية، قدم العديد من الأشخاص مساهمات رئيسة من خلال مراجعة النسخ التجريبية، وتقديم الاقتراحات. الشكر الواجب لكل من: البروفسور كريس أتكينسون (*Atkinson*) بجامعة فرجينيا الغربية، والدكتور جون ديك (*Dec*) بمختبرات ساندیا للبحث، والبروفسور جون فان جيربين (*Gerpen*) بجامعة ولاية أيوا، والبروفسور س.ر. جولاهالى (*Gollahalli*) بجامعة أوكلاهوما، والبروفسور جاستن بولند (*Poland*) بجامعة ماين، والبروفيسور أحمت سيلامت (*Selamet*) بجامعة ولاية أوهايو، والبروفيسور ايتيم أوبنج (*Ubong*) بجامعة كيترينج. قام الأستاذ تيم تونج (*Tong*) الرئيس السابق لقسم الهندسة الميكانيكية بجامعة ولاية كلورادو، والبروفسور بريان ويلسون (*Willson*) مدير المحركات بمختبر تحويل الطاقة بجامعة ولاية كلورادو بتوفير بيئة عمل جماعية للعمل على هذا الكتاب.

الشكر الجزيل لموظفي التحرير، والإنتاج في شركة جون وايلي، وأولاده، لعملهم في الطبعة الحالية. يستحق السيد جو هايتون (*Hayton*)، والسيد ستيف بيترسون (*Peterson*) شكراً خاصاً لقيادتهم ورعايتهم هذا المشروع.

أخيراً ، يتوجه آلان ت. كيرك باتريك (*Kirkpatrick*) بالشكر إلى عائلته: سوزان، وآن، وروب لدعمهم.

مدينة فورت كولينز، ولاية كلورادو،
الولايات المتحدة الأمريكية

آلان ت. كيرك باتريك
كولين فيرجيسون

نبذة المؤلفين

حصل الدكتور كولين ر. فيرجيسون *Ferguson* على درجة الماجستير، ودرجة الدكتوراه (١٩٧٥م) في الهندسة الميكانيكية من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (*MIT*). قام الدكتور كولين ر. فيرجيسون *Ferguson* بتدريس مقررات العلوم الحرارية في جامعة بردو *University of Purdue* لمدة اثنتي عشرة سنة، وقام بإجراء العديد من البحوث، والنشر في مجال محركات الاحتراق الداخلي. الآن يعيش الدكتور كولين ر. فيرجيسون *Ferguson* في كاليفورنيا. هو أيضاً أستاذ ينتمي لقسم الهندسة الميكانيكية بجامعة ولاية كلورادو *Colorado State University* .

حصل الدكتور آلان ت. كيرك باتريك *Kirkpatrick* على درجة البكالوريوس (١٩٧٢م)، ودرجة الدكتوراه (١٩٨١م) في الهندسة الميكانيكية من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (*MIT*) ، واستمر في جامعة ولاية كلورادو *Colorado State University* منذ ١٩٨٠م. قام دكتور كيرك باتريك *Kirkpatrick* بالتدريس، وإجراء البحوث في مجال المحركات، والبناء. حصل الدكتور آلان ت. كيرك باتريك *Kirkpatrick* على شهادات تكريم للتدريس، والبحوث من جامعة ولاية كلورادو *Colorado State University* ، وجمعية المهندسين الأمريكية *ASME* للتدريس، ومن نادي سيجما إكساي. عمل الدكتور كيرك باتريك *Kirkpatrick* في كلٍ من الصناعة، والمعامل الوطنية في بحوث الطاقة. قام الدكتور كيرك باتريك *Kirkpatrick* بتأليف كتابين، وأكثر من ٧٥ مقالة بحثية للمؤتمرات، والمجلات العلمية، وله براءة اختراع. يعمل الدكتور كيرك باتريك *Kirkpatrick* الآن أستاذاً للهندسة الميكانيكية في جامعة ولاية كلورادو *Colorado State University* .

المحتويات

شكر وعرفان المترجم ..... هـ
نبذة المترجم ..... ز
مقدمة المترجم ..... ط
تقديم ..... م
نبذة المؤلفين ..... ق
قائمة الأشكال ..... ظ
قائمة الجداول ..... ف ف

الفصل الأول: مقدمة عن محركات الاحتراق الداخلي ١
(١ , ١) مقدمة ١
(١ , ٢) دورات المحرك ٣
(١ , ٣) معاملات الأداء ٨
(١ , ٤) مكونات المحرك ١٦
(١ , ٥) أمثلة للمحركات ٢٤
(١ , ٦) محطات الطاقة البديلة ٢٨
(١ , ٧) مصادر معلومات إضافية ٣٢
(١ , ٨) المراجع ٣٣
(١ , ٩) تمارين ٣٣

الفصل الثاني: دورات الغاز ٣٥
(٢,١) مقدمة ٣٥
(٢,٢) الحرارة المضافة تحت حجم ثابت ٣٥
(٢,٣) الحرارة المضافة تحت ضغط ثابت ٣٩
(٢,٤) الدورة المزدوجة ٤٢
(٢,٥) دورة ميلر ٤٤
(٢,٦) انبعاث الحرارة المحدود ٤٧
(٢,٧) العملية المثالية رباعية الأشواط، ونسبة الغاز المتخلفة ٥٦
(٢,٨) مناقشة لنماذج دورة الغاز ٦٧
(٢,٩) المراجع ٦٩
(٢,١٠) تمارين ٦٩

الفصل الثالث: الوقود والهواء والديناميكا الحرارية للاحتراق ٧٣
(٣,١) مقدمة ٧٣
(٣,٢) معادلات الحالة للغاز المثالي ٧٣
(٣,٣) السوائل، ومخاليط السائل والبخار والغاز ٧٨
(٣,٤) حساب العناصر المتفاعلة تفاعلاً كيميائياً مثالياً، ونمذجة الاحتراق المنخفض الحرارة ... ٨٢
(٣,٥) الاتزان الكيميائي العام ٨٩
(٣,٦) الاتزان الكيميائي باستخدام ثوابت الاتزان ٩٥
(٣,٧) الاحتراق، والقانون الأول للديناميكا الحرارية ٩٩
(٣,٨) العمليات عند ثبوت الأنتروبي ١٠٣
(٣,٩) المراجع ١٠٥
(٣,١٠) تمارين ١٠٥

الفصل الرابع: دورات الوقود والهواء ١٠٩
(٤,١) مقدمة ١٠٩
(٤,٢) مقارنة الكفاءة طبقا للقانون الأول، والقانون الثاني للديناميكا الحرارية ١٠٩

(٤,٣) دورة أوتو ١١٤
(٤,٤) دورة أوتو رباعية الأشواط ١٢٠
(٤,٥) دورة الوقود المحقون محدودة الضغط ١٢٤
(٤,٦) مقارنة بين دورة الوقود، والهواء، ودورات الإشعال بالشرارة الفعلية ١٢٨
(٤,٧) مقارنة دورة الوقود، والهواء مع الدورة الفعلية للإشعال بالضغط ١٣٢
(٤,٨) المراجع ١٣٥
(٤,٩) تمارين ١٣٥

الفصل الخامس: الاختبار والتحكم في المحرك ١٣٧
(٥,١) مقدمة ١٣٧
(٥,٢) الديناموميتر ١٣٧
(٥,٣) قياس تدفق الوقود، والهواء ١٤١
(٥,٤) تحليل غاز العادم ١٤٥
(٥,٥) الكسر المتخلف ١٥٥
(٥,٦) قياس الضغط، والحجم، وتحليل الاحتراق ١٥٧
(٥,٧) اختبار انبعاثات المركبات ١٦٠
(٥,٨) مجسات المحرك والمشغلات الميكانيكية في المركبات ١٦٣
(٥,٩) أنظمة التحكم في المحرك ١٦٨
(٥,١٠) تأثير ضغط، ودرجة حرارة الجو المحيط ١٧١
(٥,١١) المراجع ١٧٣
(٥,١٢) تمارين ١٧٣

الفصل السادس: الاحتكاك ١٧٧
(٦,١) مقدمة ١٧٧
(٦,٢) الضغط المتوسط الفعال الاحتكاكي ١٧٧
(٦,٣) قياس الضغط المتوسط الفعال الاحتكاكي ١٧٩
(٦,٤) معامل الاحتكاك ١٨٣

(٦,٥) كراسي التحميل الانزلاقية ١٨٥
(٦,٦) احتكاك المكبس والشنبر ١٩٠
(٦,٧) احتكاك آلية الصمام ٢٠٠
(٦,٨) الضغط المتوسط الفعال للضخ ٢٠٥
(٦,٩) احتكاك الملحقات ٢٠٦
(٦,١٠) الضغط المتوسط الفعال الاحتكاكي الكلي للمحرك ٢٠٨
(٦,١١) المراجع ٢١١
(٦,١٢) تمارين ٢١٢

الفصل السابع: الهواء والوقود، وتدفق العادم ٢١٥
(٧,١) مقدمة ٢١٥
(٧,٢) تدفق الصمام ٢١٥
(٧,٣) تدفق السحب والعادم ٢٣٣
(٧,٤) تدفق الموائع في الأسطوانة ٢٣٩
(٧,٥) السريان المضطرب ٢٤٧
(٧,٦) تدفق الهواء في المحركات ثنائية الأشواط ٢٥٣
(٧,٧) شاحنات السوبر وشاحنات التيربو ٢٦٠
(٧,٨) حاقنات الوقود ٢٦٦
(٧,٩) المكربنات ٢٧٣
(٧,١٠) المراجع ٢٧٦
(٧,١١) تمارين ٢٧٨

الفصل الثامن: انتقال الحرارة والكتلة ٢٨٥
(٨,١) مقدمة ٢٨٥
(٨,٢) أنظمة تبريد المحرك ٢٨٦
(٨,٣) اتزان طاقة المحرك ٢٨٩
(٨,٤) قياسات انتقال حرارة الأسطوانة ٢٩٤

(٨,٥) نمذجة انتقال الحرارة ٢٩٨
(٨,٦) علاقات انتقال الحرارة ٣٠٦
(٨,٧) انتقال الحرارة بالإشعاع ٣١٦
(٨,٨) الفقدان الكتلي أو (التسريب) ٣١٨
(٨,٩) المراجع ٣٢٣
(٨,١٠) تمارين ٣٢٥

الفصل التاسع: الاحتراق والانبعاثات ٣٢٧
(٩,١) مقدمة ٣٢٧
(٩,٢) الاحتراق في محركات الإشعال بالشرارة ٣٢٨
(٩,٣) الاحتراق غير الطبيعي (الطرق) في محركات الإشعال بالشرارة ٣٣٦
(٩,٤) الاحتراق في محركات الإشعال بالضغط ٣٤٣
(٩,٥) تحليل الديناميكا الحرارية ٣٥١
(٩,٦) أكاسيد النيتروجين ٣٦١
(٩,٧) أول أكسيد الكربون ٣٦٩
(٩,٨) الهيدروكربونات ٣٧٢
(٩,٩) الجسيمات ٣٧٨
(٩,١٠) مراقبة الانبعاثات ٣٨٢
(٩,١١) المراجع ٣٨٨
(٩,١٢) تمارين ٣٩١

الفصل العاشر: الوقود والزيوت ٣٩٧
(١٠,١) مقدمة ٣٩٧
(١٠,٢) كيمياء الهيدروكربونات ٣٩٨
(١٠,٣) التكرير ٤٠٦
(١٠,٤) وقود الجازولين ٤٠٨
(١٠,٥) وقود الديزل ٤١٣
(١٠,٦) أنواع الوقود البديلة ٤١٦

(١٠,٧) زيوت المحركات ٤٢٨
(١٠,٨) المراجع ٤٣٢
(١٠,٩) تمارين ٤٣٣

الفصل الحادي عشر: الأداء العام للمحرك ٤٣٥
(١١,١) مقدمة ٤٣٥
(١١,٢) حجم المحرك ٤٣٥
(١١,٣) توقيت الاشتعال والحقن ٤٣٨
(١١,٤) سرعة المحرك والمكبس ٤٤١
(١١,٥) نسبة الانضغاط ٤٤٣
(١١,٦) أداء الحمل الجزئي ٤٤٤
(١١,٧) خرائط أداء المحرك ٤٤٧
(١١,٨) محاكاة الأداء للمركبات ٤٥٣
(١١,٩) المراجع ٤٥٤
(١١,١٠) تمارين ٤٥٥

الملاحق ٤٥٧
الملحق (أ). الخواص الفيزيائية للهواء ٤٥٨
الملحق (ب). جداول خواص الديناميكا الحرارية للغازات المثالية ٤٦٠
الملحق (ج). معاملات خواص الديناميكا الحرارية للغازات المثالية وأنواع الوقود محسوبة بتوفيق المنحنيات ٤٦٧
الملحق (د). تحويل الوحدات والثوابت الفيزيائية ٤٧٠
قائمة الرموز ٤٧٣
المصطلحات المختصرة ٤٨١
الخاتمة ٤٨٥
ثبت المصطلحات ٤٨٧
أولاً: عربي – إنجليزي ٤٨٧
ثانياً: إنجليزي – عربي ٥٠٢
كشاف الموضوعات ٥١٧

قائمة الأشكال

أشكال الفصل الأول

الشكل (١ , ١). نموذج آلية الحركة الترددية لمحرك الاحتراق الداخلي. ن.م.ع.= نقطة ميتة عليا حيث يصل المكبس إلى أقصى مدى داخل الأسطوانة، ن.م.س.= نقطة ميتة سفلى حيث يصل المكبس إلى أدنى مدى داخل الأسطوانة ٣
الشكل (٢ , ١). دورة محرك رباعي الأشواط ٤
الشكل (٣ , ١). عمليات السحب والضغط والاحتراق لدورة الديزل ٦
الشكل (٤ , ١). دورة محرك ثنائي الدورة بعملية كسح متصالب ٧
الشكل (٥ , ١). نموذج محرك طائرة ١٣
الشكل (٦ , ١). محرك سيارة..... ١٣
الشكل (٧ , ١). محرك بحري ١٣
الشكل (٨ , ١). منحنيات أداء محرك رباعي الأشواط تحت أقصى فتحة خانق ١٤
الشكل (٩ , ١). تأثير سرعة المحرك ومشعب السحب على الكفاءة الحجمية ١٥
الشكل (١٠ , ١). الضغط المتوسط الفعال الكابح تحت أقصى فتحة خانق مقابل سرعة المكبس المتوسطة لاثنين من محركات السيارات ١٥
الشكل (١١ , ١). ترتيبات هندسية مختلفة للمكابس والأسطوانات ١٧
الشكل (١٢ , ١). مفردات آلية الصمام القفاز..... ١٩
الشكل (١٣ , ١). منحنيات توقيت الصمام..... ٢٠
الشكل (١٤ , ١). مثال لعمود الكامات أعلى الرأس..... ٢٠

الشكل (١٥ , ١). مخطط شاحن التيربو ٢١
الشكل (١٦ , ١). نظام حقن وقود متعدد الفوهات ٢٢
الشكل (١٧ , ١). السريان على التوازي لمائع التبريد ٢٣
الشكل (١٨ , ١). صورة فوتوغرافية لمحرك سيارة $V6,\ 3.2L$ ٢٤
الشكل (١٩ , ١). مقطع بمحرك سيارة $V6,\ 3.0L$ ٢٥
الشكل (٢٠ , ١). آليات صمام ذات توقيت متغير ٢٥
الشكل (٢١ , ١). محرك ديزل للمركبات $L6,\ 5.9L$ ٢٦
الشكل (٢٢ , ١). مقطع عرضي لمحرك ديزل عالي الخدمة $L6,\ 14.6L$ ٢٦
الشكل (٢٣ , ١). محرك غاز طبيعي ثابت ٢٧
الشكل (٢٤ , ١). مقطع عرضي بمحرك غاز طبيعي ثابت $L8,\ 94L$ ٢٨
الشكل (٢٥ , ١). مخطط آلية الحركة للسيارة الكهربية الهجين ٣٠

أشكال الفصل الثاني

الشكل (١ , ٢). نسبة معامل الحرارة النوعية للهواء ٣٦
الشكل (٢ , ٢). دورة أوتو ٣٧
الشكل (٣ , ٢). خصائص دورة أوتو ٣٩
الشكل (٤ , ٢). دورة الديزل ٤٠
الشكل (٥ , ٢). خصائص دورة الديزل ٤٢
الشكل (٦ , ٢). الدورة المزدوجة ٤٣
الشكل (٧ , ٢). مقارنة بين الدورة المزدوجة ودورتي أوتو والديزل ٤٤
الشكل (٨ , ٢). دورة ميلر ٤٥
الشكل (٩ , ٢). نسبة الكفاءة الحرارية لدورة ميلر إلى الكفاءة الحرارية لدورة أوتو ٤٦
الشكل (١٠ , ٢). الضغط المتوسط الفعال لدورة ميلر ٤٦
الشكل (١١ , ٢). الدالة التراكمية للطاقة المحررة ٤٨
الشكل (١٢ , ٢). منحنى الطاقة المحررة للمثال (١ , ٢) ٤٩
الشكل (١٣ , ٢). مدخلات برنامج حساب الإفراج المحدد البسيط للحرارة للمثال (٢ , ٢) ٥٣
الشكل (١٤ , ٢). مخرجات برنامج حساب جدول أداء المحرك للمثال (٢ , ٢) ٥٤

الشكل (١٥ ,٢أ). منحنى الضغط للمحرك في المثال (٢ ,٢) ٥٥
الشكل (١٥ ,٢ب). منحنى درجة الحرارة للمحرك في المثال (٢ ,٢)..... ٥٥
الشكل (١٥ ,٢ج). منحنى الشغل للمحرك في المثال (٢ ,٢) ٥٥
الشكل (١٦ ,٢). تأثير بداية انطلاق الحرارة على الكفاءة الحرارية في المثال (٢ ,٢) ٥٦
الشكل (١٧ ,٢). نموذج السحب والطرد لمحرك رباعي الأشواط. ضغط السحب = P_i ، ضغط الطرد = P_e ٥٧
الشكل (١٨ ,٢). شوط العادم (4 إلى 5 إلى 6) موضحا كتلة الغاز المتخلف. لاحظ أنه بفرض حدوث الإخراج عند حجم ثابت إلا أن الكتلة بداخل الأسطوانة تتمدد تحت ثبوت الأنتروبي..... ٥٩
الشكل (١٩ ,٢). المدخلات والمخرجات للبرنامج التطبيقي لحساب دورة محرك الغاز بالمثال (٣ ,٢)..... ٦٦
الشكل (٢٠ ,٢). الكفاءة الحجمية لدورة أوتو رباعية الأشواط لمحرك الغاز بالمثال (٣ ,٢)..... ٦٦
الشكل (٢١ ,٢). كسر الغاز المتخلف في دورة أوتو الغازية رباعية الأشواط لمحرك الغاز بالمثال (٣ ,٢)..... ٦٧
الشكل (٢٢ ,٢). الكفاءة الحرارية الخالصة لدورة أوتو الغازية رباعية الأشواط لمحرك الغاز بالمثال (٣ ,٢)..... ٦٧

أشكال الفصل الثالث

الشكل (١ ,٣). المنحنيات التوافقية للأنثالبي مقابل درجة الحرارة لكل من غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وبخار الماء (H_2O) ٧٨
الشكل (٢ ,٣). تركيب مخاليط الأوكتان مع الهواء عند التعادل تحت درجات حرارة مختلفة ونسب تكافؤ $\emptyset = 1.2, 1.0, 0.8$ ٩٣
الشكل (٣ ,٣). التركيب المتكافئ لخليط الأوكتان مع الهواء عند $T = 3000K, P = 50bar$ ... ٩٤
الشكل (٤ ,٣). برنامج حساب الاتزان الكيميائي ٩٨
الشكل (٥ ,٣). الأنثالبي لنواتج الاحتراق للخليط المتعادل للجازولين مع الهواء..... ٩٩
الشكل (٦ ,٣). الأنثالبي لنواتج الاحتراق للخليط المتعادل للميثانول مع الهواء ٩٩
الشكل (٧ ,٣). مدخلات ومخرجات برنامج حساب درجة حرارة اللهب المعزول حرارياً للمثال (٤ ,٣)..... ١٠٣

الشكل (٨ , ٣). درجة حرارة اللهب المعزول حراريا لبعض أنواع الوقود عند الضغط الجوي ودرجة حرارة الجو حيث: $f = 0.0$ ١٠٣

أشكال الفصل الرابع

الشكل (١ , ٤). النظام المفتوح لتحليل دورة المحرك لإنتاج أقصى شغل من خلال حرق الوقود ١١٠
الشكل (٢ , ٤). الطاقة الحرارية المتاحة للشغل، وطاقة الاحتراق للجازولين السائل والميثانول. الوقود والهواء غير مختلطين. نواتج الاحتراق مختلطة مع النسبة المتعادلة لتشبع الماء $T0 = 298K,\ P0 = 1.0bar$ ١١٢
الشكل (٣ , ٤). مدخلات ومخرجات البرنامج لحساب دورة أوتو للوقود والهواء ١١٦
الشكل (٤ , ٤). تأثير نسبة التكافؤ على خصائص دورة أوتو للوقود والهواء ١١٧
الشكل (٥ , ٤). تأثير نسبة الانضغاط على خصائص دورة أوتو للوقود والهواء ١١٨
الشكل (٦ , ٤). تأثير نسبة الغازات المتخلفة على خصائص دورة أوتو للوقود والهواء..... ١١٩
الشكل (٧ , ٤). مدخلات ومخرجات البرنامج لحساب دورة أوتو للوقود والهواء رباعية الأشواط ١٢٢
الشكل (٨ , ٤). تأثير نسبة ضغط السحب إلى ضغط العادم على خصائص دورة أوتو للوقود والهواء..... ١٢٣
الشكل (٩ , ٤). تأثير نسبة ضغط السحب إلى ضغط العادم على خصائص دورة أوتو للوقود والهواء..... ١٢٤
الشكل (١٠ , ٤). تأثير نسبة التكافؤ على خصائص دورة الوقود والهواء ذات ضغط الحقن المحدود..... ١٢٧
الشكل (١١ , ٤). تأثير نسبة الانضغاط على خصائص دورة الوقود والهواء ذات ضغط الحقن المحدود ١٢٧
الشكل (١٢ , ٤). مقارنة الدورة الحقيقية مع دورة الوقود والهواء المكافئة ١٢٩
الشكل (١٣ , ٤). تأثير نسبة التكافؤ على منحنى الضغط والحجم ١٣٠
الشكل (١٤ , ٤). تأثير تقديم الشرارة على منحنى الضغط والحجم ١٣٠
الشكل (١٥ , ٤). تأثير السرعة على منحنى الضغط والحجم عند ثبات نسبة التوصيل ١٣٠

الشكل (٤,١٦). تأثير نسبة الانضغاط على منحنى الضغط والحجم ١٣١
الشكل (٤,١٧). تأثير ضغط الدخول على منحنى الضغط والحجم ١٣١
الشكل (٤,١٨). تأثير ضغط العادم على منحنى الضغط والحجم عند ثبات كتلة الشحنة المدخلة ١٣١
الشكل (٤,١٩). الكفاءة البيانية لبعض محركات الشرارة عند التوقيت الأمثل للشرارة مقارنة بما يعادلها في دورات الوقود والهواء الثابتة ١٣٢
الشكل (٤,٢٠). الضغط داخل أسطوانة محرك ديزل بغرفة سبق احتراق مقارنة بالدورة المكافئة محدودة الضغط ١٣٣
الشكل (٤,٢١). دورات ديزل حقيقية مفتوحة مقارنة بالدورات المكافئة المحدودة الضغط *(LP)* ١٣٤
الشكل (٤,٢٢). منحنى الضغط والحجم لمحرك ديزل متعدد الأسطوانات عالي نسبة الانضغاط وذو غرفة احتراق مسبقة من النوع *Recardo Mark V6* وبالمواصفات التالية: قطر = ٨٨مم، شوط = ٨٥مم، نسبة انضغاط = ٢٢، سرعة = ١٦٠٠ لفة/ دقيقة، $\emptyset = 0.57, e_v = 0.854, \varepsilon = 0.266$ ١٣٥

أشكال الفصل الخامس

الشكل (٥,١). اختبار محرك مركب على دينامومتر ١٣٨
الشكل (٥,٢). جهاز دينامومتر متنقل ١٣٨
الشكل (٥,٣). قياس العزم باستخدام دينامومتر معلق ١٤٠
الشكل (٥,٤). قياس تدفق الوقود باستخدام قنطرة قياس الوزن ١٤١
الشكل (٥,٥). عداد قياس التدفق باستخدام تأثير كيريولوس (*Coriolis*) (أ) ذبذبة أنبوبة العداد. (ب) القوى المؤثرة على أنبوبة العداد في حركتها لأعلى. (ج) مسقط أنبوبة العداد يوضح القوى والعزوم المؤثرة..... ١٤٢
الشكل (٥,٦). محرك أحادي الأسطوانة مجهز بخزان إخماد في السحب وعداد قياس سريان الهواء الداخل المنتظم ١٤٣
الشكل (٥,٧). عدادات مختلفة لقياس سريان الهواء، ومتطلبات قياس درجات الحرارة ١٤٥

الشكل (٥,٨). توزيع أشعة الطيف تحت الحمراء لغازات أول أكسيد الكربون (CO) وثاني أكسيد الكربون (CO_2) ١٤٦
الشكل (٥,٩). مخطط لمحلل أشعة الطيف تحت الحمراء ١٤٧
الشكل (٥,١٠). مسقط قطاع لجهاز كاشف اللهب الهيدروكربوني المتأين ١٤٨
الشكل (٥,١١). مخطط يمثل المفاعل لجهاز تحليل أكسيد النيتريك الكيموضوئي ١٥٠
الشكل (٥,١٢). نفق تخفيف غازات العادم ١٥٣
الشكل (٥,١٣). صمام تقليدي لأخذ العينات ١٥٦
الشكل (٥,١٤). مجسات الكوارتز الكهروضغطية لقياس الضغط ١٥٧
الشكل (٥,١٥). النظام الشائع لقياس الضغط ١٥٨
الشكل (٥,١٦). المنحنى الشائع لضغط الأسطوانة المقيس مقابل زاوية عمود المرفق ١٥٩
الشكل (٥,١٧). منحنى ضغط الأسطوانة مقابل الحجم ١٥٩
الشكل (٥,١٨). منحنى ضغط الأسطوانة مقابل الحجم (محاور لوغاريتمية) ١٦٠
الشكل (٥,١٩). انطلاق الحرارة اللحظي مقابل زاوية عمود المرفق ١٦٠
الشكل (٥,٢٠). التوزيع التراكمي لإطلاق الحرارة مقابل زاوية عمود المرفق ١٦١
الشكل (٥,٢١). متوسط درجة حرارة الأسطوانة مقابل زاوية عمود المرفق، صمام سحب مغلق وصمام عادم مغلق ١٦١
الشكل (٥,٢٢). مخطط أفقي لديناموميتر شاسيه ذي أربعة درافيل. (أ) درافيل. (ب) مجموعة الحدافة. (ج) مجموعة الحركة بواسطة السير والقابض. (د) محرك كهربائي مستمر. (هـ) كابح فرملي متردد ١٦٢
الشكل (٥,٢٣). الاختبار الفيدرالي لقيادة المركبات على الطريق ١٦٢
الشكل (٥,٢٤). جهد مجس الأكسجين مقابل نسبة التكافؤ ١٦٤
الشكل (٥,٢٥). جهد التحكم في حاقن الوقود. (أ) حمل جزئي. (ب) حمل كلي ١٦٨
الشكل (٥,٢٦). نظام التحكم في المركبات ١٦٩
الشكل (٥,٢٧). تأثير الارتفاع على أداء محرك غير مخنوق عند ثبوت نسبة الوقود للهواء وثبوت درجة حرارة ماء التبريد ١٧٢

أشكال الفصل السادس

الشكل (٦,١). الاحتكاك في محرك الديزل، ومقارنة بين محرك يدار خارجيا مقابل محرك يحرق ١٨٠
الشكل (٦,٢). شغل الاحتكاك وشغل الضخ مقابل الحمل لمحرك بنزين ١٨١
الشكل (٦,٣). قياس العزم باستخدام دينامومتر معلق ١٨٢
الشكل (٦,٤). مخطط ستريبك (*Stribeck*) يبين مناطق الاحتكاك وقيم معامل الاحتكاك التقريبية ١٨٣
الشكل (٦,٥). مناطق التلامس المعدني في مناطق التزييت الحدودية ١٨٤
الشكل (٦,٦). أعمدة المرفق في المحركات ١٨٥
الشكل (٦,٧). هندسة كرسي محمل انزلاقي ثنائي البعد ١٨٦
الشكل (٦,٨). مخطط الأحمال على كرسي المحمل. يظهر الرسم القطبي قيمة واتجاه القوة المحصلة على بنز عمود المرفق لمحرك *(Allison V-1710)*. سرعة المحرك = ٣٠٠٠لفة/ دقيقة والضغط المتوسط الفعال = ١٦,٥ بار. (محصلة القوى= *Resultant Force*، مقياس القوة = *Force scale*، القوة على ذراع التوصيل = *Fork-rod load*، القوة المتوسطة = *Mean*، القوة على ريشة العمود = *Blade-rod load* ١٨٧
الشكل (٦,٩). الحد الأدنى لسمك طبقة الزيت في المحمل ١٨٨
الشكل (٦,١٠). رأس مكبس محرك إشعال بالشرارة ١٩٠
الشكل (٦,١١). المكبس وذراع التوصيل ١٩١
الشكل (٦,١٢). كروكي مجموعة المكبس لمحرك إشعال بالضغط ١٩١
الشكل (٦,١٣). الأنواع الشائعة من شنابر المكبس ١٩٢
الشكل (٦,١٤). توازن القوى على المكبس ١٩٣
الشكل (٦,١٥). التحميل الجانبي على كرسي المكبس والتحول في مناطق التحميل على طول الشوط ١٩٤
الشكل (٦,١٦). فواقد الاحتكاك في المكبس والشنابر. سرعة المكبس المتوسطة = ٤,٥٧ متر/ ث، ضغط متوسط فعال كابح = ٥,٧٨ بار، درجة حرارة التبريد = درجة حرارة الزيت = ٣٥٦كلفن ١٩٥

الشكل (٦,١٧). قيمة المقاومة الشائعة للمقاومة الكهربية لطبقة الزيت في محرك البنزين..... ١٩٥
الشكل (٦,١٨). السمات الأساسية للتحليل الهيدروديناميكي للاحتكاك في الشنبر. الخلوص بين جدار المكبس والأسطوانة = (C)، وسمك طبقة الزيت = $(\delta(x,t))$، وعرض الشنبر = (L) ١٩٦
الشكل (٦,١٩). تأثير قيمة الحمل والسرعة على سمك طبقة الزيت الدنيا ١٩٧
الشكل (٦,٢٠). مكونات الاحتكاك في المكبس ١٩٩
الشكل (٦,٢١). تصميمات متعددة لمنظومة الصمام ٢٠١
الشكل (٦,٢٢). جزء من عمود الكامات لمحرك $(V8)$ ٢٠٢
الشكل (٦,٢٣). ذراع متأرجح ذو تابع دوار لمحرك حرف V ٢٠٢
الشكل (٦,٢٤). أذرع متأرجحة على رأس أسطوانة ٢٠٢
الشكل (٦,٢٥). صمامات المحرك ٢٠٢
الشكل (٦,٢٦). مضخة زيت لمحرك سيارة ٢٠٧
الشكل (٦,٢٧). مضخة مياه لمحرك سيارة ٢٠٧
الشكل (٦,٢٨). مدخلات ومخرجات برنامج حساب الضغط المتوسط الفعال الاحتكاكي ٢١٠
الشكل (٦,٢٩). الضغط المتوسط الفعال الاحتكاكي مقابل سرعة المحرك للمثال (٦,١) ... ٢١١
الشكل (٦,٣٠). مكونات الضغط المتوسط الفعال الاحتكاكي مقابل سرعة المحرك للمثال (٦,١) ٢١١

أشكال الفصل السابع

الشكل (٧,١). نموذج مثالي لمناطق السريان في فتحة الصمام ٢١٨
الشكل (٧,٢). معامل السريان مقابل مشوار الصمام ٢١٨
الشكل (٧,٣). السمات الأساسية لجهاز قياس السريان المستمر في الصمام لقياس مناطق السريان الفعالة ومعاملات السريان..... ٢١٩
الشكل (٧,٤). معاملات السريان خلال صمامي السحب والعادم ٢١٩
الشكل (٧,٥). تأثير رقم رينولدز ومشوار الصمام على معامل التفريغ لصمام السحب ذي الزاوية الحادة ٢٢٠
الشكل (٧,٦). أنماط التدفق من خلال صمام سحب حاد الحواف ٢٢٠

الشكل (٧,٧). تغير معامل تفريغ صمام الطرد ذي الأركان الحادة مع نسبة طول مشوار الصمام/ قطر الصمام عند زاوية المقعد = ٤٥ درجة. *Pup/Pdown* = نسبة الضغط أعلى الصمام إلى أسفل الصمام ٢٢١
الشكل (٧,٨). أنماط التدفق من خلال صمام العادم حاد الأركان ٢٢١
الشكل (٧,٩). محرك أسطوانة واحدة مجهز بخزانات اتزان كبيرة وأنابيب سحب وعادم قصيرة ٢٢٣
الشكل (٧,١٠). الكفاءة الحجمية *(ev)* مقابل رقم ماخ *(z)* في منطقة اختناق صمام السحب... ٢٢٤
الشكل (٧,١١). نسب قطر الصمامات لمحرك برأس مسطح ٢٢٥
الشكل (٧,١٢). منحنى إزاحة صمامي السحب والعادم..... ٢٢٨
الشكل (٧,١٣). الكفاءة الحجمية مقابل سرعة المكبس المتوسطة لمحركات متشابهة هندسياً وتحت ظروف تشغيل متماثلة وتحت زاوية تقديم شرارة مثلى ٢٣١
الشكل (٧,١٤). مقارنة نسبة الغاز المتخلف لدورات الوقود في الهواء ذات عملية سحب مثالية مع القياسات ٢٣٢
الشكل (٧,١٥). صورة لجزء من مشعب السحب لمحرك سيارة..... ٢٣٣
الشكل (٧,١٦أ). منحنى الضغط في مدخل السحب والتردد عند سرعة منخفضة حوالي ٣٠٠٠ دورة/ دقيقة ٢٣٤
الشكل (٧,١٦ب). منحنى الضغط في مدخل السحب والتردد عند سرعة عالية حوالي ٦٠٠٠ دورة/ دقيقة ٢٣٤
الشكل (٧,١٧). شبكة التقسيم الهندسية لحسابات مداخل السحب..... ٢٣٦
الشكل (٧,١٨أ). تقسيم العناصر المحددة لحساب ديناميكا الموائع لمشعب السحب ٢٣٦
الشكل (٧,١٨ب). نتيجة حساب السريان الديناميكي للتدفق في مشعب السحب..... ٢٣٦
الشكل (٧,١٩أ). حساب السريان الديناميكي ثلاثي الأبعاد لمشعب العادم..... ٢٣٧
الشكل (٧,١٩ب). منحنى الضغط بمشعب العادم – مقارنة حسابات السريان أحادية الأبعاد وثلاثية الأبعاد..... ٢٣٧
الشكل (٧,٢٠أ). تقسيم العناصر المحددة لحساب ديناميكا الموائع لمشعب العادم ٢٣٧
الشكل (٧,٢٠ب). نتائج حساب ديناميكا الموائع باستخدام تقسيم العناصر المحددة لمشعب العادم ٢٣٨

الشكل (٧,٢١). الكفاءة الحجمية مقابل سرعة المحرك أحادي الأبعاد ٢٣٨
الشكل (٧,٢٢). الكفاءة الحجمية المقيسة مقابل سرعة المحرك وطول أنبوب العادم *(LP)* ٢٣٩
الشكل (٧,٢٣). جهاز قياسات السرعات بالليزر (LDV) ٢٤٠
الشكل (٧,٢٤أ). تقسيم حسابات العناصر المحددة لحساب ديناميكا الموائع (CFD) للسريان داخل الأسطوانة لمحرك أربع أسطوانات ذي اشتعال بالشرارة ٢٤١
الشكل (٧,٢٤ب). صورة مقربة لتقسيم العناصر المحددة لحساب ديناميكا الموائع (CFD) للسريان داخل أسطوانة المحرك..... ٢٤٢
الشكل (٧,٢٤ج). نتائج حساب ديناميكا الموائع ٢٤٢
الشكل (٧,٢٤د). نموذج حساب مشعب سحب ملفوف ٢٤٢
الشكل (٧,٢٥). كروكي لمشعب السحب يبين معاملات الدوامية α , R_v ٢٤٤
الشكل (٧,٢٦). نظام السريان المستمر والدوامي ٢٤٤
الشكل (٧,٢٧). تأثير زاوية وضع مدخل السحب على معامل الدوامية عند ارتفاعات مختلفة للصمام..... ٢٤٤
الشكل (٧,٢٨). (أ) غرف الاحتراق. (ب) نسبة الدوامية المحسوبة مقابل زاوية عمود المرفق..... ٢٤٥
الشكل (٧,٢٩). كروكي صحن المكبس ٢٤٦
الشكل (٧,٣٠). مقارنة شدة الاضطرابات مقابل سرعة المكبس المتوسطة طبقا لعدة قياسات ٢٤٩
الشكل (٧,٣١). صور ظلال ميكرونية لانتشار اللهب في اتجاه الملاحظة تبين زيادة الكرمشة مع سرعة المحرك المبينة بكل صورة ٢٥٠
الشكل (٧,٣٢). طرق كسح محرك ثنائي الأشواط..... ٢٥٤
الشكل (٧,٣٣). الملامح الرئيسة لجهاز قياس السريان ومعاملات التصريف خلال المنافذ ... ٢٥٥
الشكل (٧,٣٤). معامل التصريف لمنفذ قطري بسيط مقيس بواسطة بنسون. (أ) التغير مع الفتحة القطرية عند رقم ماخ منخفض. (ب) التغير مع رقم ماخ اعتماداً على السرعة عندما تكون السرعة عند فتحة خنق الصمام = سرعة الصوت ٢٥٦
الشكل (٧,٣٥). قيم الضغط المقيسة والمحسوبة داخل علبة عمود المرفق كنسبة من الضغط الجوي لمحرك ثنائي الأشواط ٢٥٦

الشكل (٧,٣٦). قيم الضغط المقيسة والمحسوبة لمحرك ثنائي الأشواط لدراجة نارية..... ٢٥٧
الشكل (٧,٣٧). ملامح الكسح لمحرك ثنائي الأشواط لثلاثة تصميمات مختلفة. (أ) كفاءة الحجز. (ب) كفاءة الكسح مقابل نسبة التوصيل ٢٥٨
الشكل (٧,٣٨). مقارنة كفاءة الكسح المقيسة والمقدرة لمحرك ثنائي الأشواط لدراجة نارية..... ٢٦٠
الشكل (٧,٣٩). أنواع ضاغطات الإزاحة الموجبة..... ٢٦١
الشكل (٧,٤٠). مقارنة شغل التربين والضاغط في محرك الاحتراق الداخلي ٢٦٢
الشكل (٧,٤١أ). صورة مقطعية لشاحن تربو ٢٦٣
الشكل (٧,٤١ب). مقطع لشاحن تربو ٢٦٣
الشكل (٧,٤٢أ،ب). مقارنة أداء ضاغطات إزاحة موجبة وديناميكية ٢٦٤
الشكل (٧,٤٢ج). خريطة أداء ضاغط طرد مركزي..... ٢٦٥
الشكل (٧,٤٣). كروكي حاقن وقود المنفذ ٢٦٧
الشكل (٧,٤٤). كروكي حاقن وقود جازولين مباشر ٢٦٧
الشكل (٧,٤٥). كتلة الوقود المحقون كدالة في فترة نبض الحاقن..... ٢٦٨
الشكل (٧,٤٦). نظام حقن وقود الديزل ذو الجريدة ٢٦٩
الشكل (٧,٤٧). حاقن وقود ضغط عالٍ ذو الجريدة..... ٢٧٠
الشكل (٧,٤٨). الملامح الرئيسة لنظام حقن الوقود ذي المضخة الرجراجة ٢٧١
الشكل (٧,٤٩). استخدام حلزون داخل مكبس المضخة الرجراجة لتغيير طول الشوط الفعال. الجريدة تدير المكبس بالنسبة لمنافذ الدخول والخروج ليتم معايرة كمية الوقود المحقون ٢٧٢
الشكل (٧,٥٠). حاقن وقود الديزل ذو التحكم الإلكتروني..... ٢٧٢
الشكل (٧,٥١). ضغط الحاقن وارتفاع الإبرة..... ٢٧٣
الشكل (٧,٥٢). مكربن لخلط الوقود السائل مع الهواء ٢٧٤
الشكل (٧,٥٣). مكربن لخلط الوقود الغازي مع الهواء..... ٢٧٤
الشكل (٧,٥٤). نسبة الوقود إلى الهواء كدالة في متطلبات المكربن..... ٢٧٦

أشكال الفصل الثامن

الشكل (٨,١). نظام تبريد السائل..... ٢٨٦

الشكل (٢ ,٨). نظام تبريد الهواء ٢٨٦
الشكل (٣ ,٨). محرك مجهز بأجهزة القياس لتجارب اتزان الطاقة ٢٩٠
الشكل (٤ ,٨). اتزان الطاقة على محرك السيارات ٢٩٢
الشكل (٥ ,٨). توزيع فواقد الطاقة الحرارية من زعانف محرك طائرة ذي تبريد بالهواء ٢٩٣
الشكل (٦ ,٨). مسارات التبريد في المكبس ٢٩٥
الشكل (٧ ,٨). السمات الأساسية للمكونات المستخدمة في الازدواج الحراري السطحي المستخدم لقياس الفقد الحراري اللحظي ٢٩٦
الشكل (٨ ,٨). خمسة مواضع للازدواجات الحرارية السطحية على محرك احتراق ذي إشعال بالشرارة *HT1, HT2, HT3, HT4, HT5* ٢٩٧
الشكل (٩ ,٨). توزيع الفيض الحراري لخمس دورات متتالية بالموضع *HT1* المبين بالشكل (٨ ,٨) في حالة أقصى عزم كابح حيث *N = 1500rpm, Ø = 0.87* ٢٩٧
الشكل (١٠ ,٨). توزيع الفيض الحراري لثلاثة مواضع وخمس دورات متتالية بالموضع *HT1, HT2, HT5* المبين بالشكل (٨ ,٨) عند ظروف التشغيل المبينة بالشكل (٩ ,٨) ٢٩٨
الشكل (١١ ,٨). شبكة المقاومة الحرارية البسيطة ٢٩٩
الشكل (١٢ ,٨). الدائرة الكهربية المكافئة للانتقال الحراري مع استخدام السعة لتمثيل طبقة الاختراق ٣٠١
الشكل (١٣ ,٨). شبكة المكبس ٣٠٣
الشكل (١٤ ,٨). توزيع درجات الحرارة المحسوبة والمقيسة في مستوى بنز المكبس وفي مستوى التحميل الجانبي. القيم المقاسة مبينة بالنقاط السوداء الظاهرة..... ٣٠٤
الشكل (١٥ ,٨). درجات حرارة المكبس مقابل سرعة المحرك عند الحمل الكامل..... ٣٠٤
الشكل (١٦ ,٨). مدخلات برنامج حساب الإفراج المحدود للحرارة في وجود انتقال للحرارة ٣١١
الشكل (١٧ ,٨). تأثير انتقال الحرارة على درجات حرارة غازات الأسطوانة بمثال (٢ ,٨) ... ٣١١
الشكل (١٨ ,٨). مدخلات برنامج حساب الإفراج المحدود للحرارة ٣١٣
الشكل (١٩ ,٨) معامل انتقال الحرارة بالحمل طبقا لنموذج وشني في المثال (٣ ,٨) ٣١٤
الشكل (٢٠ ,٨). الفيض الحراري طبقا لنموذج أناند ونموذج وشني عند سرعة ١٠٠٠ لفة/ دقيقة بمثال (٣ ,٨) ٣١٤

الشكل (٨,٢١). الفيض الحراري طبقا لنموذج أناند ونموذج وشني عند سرعة ٢٠٠٠ لفة/ دقيقة بمثال (٨,٣) ٣١٤
الشكل (٨,٢٢). القيم المتوسطة لرقم Nu لمعامل انتقال الحرارةفي ماسورة العادم ٣١٦
الشكل (٨,٢٣). مخارج عادم مختلفة ٣١٧
الشكل (٨,٢٤). مجموعة الشنابر والسريان أحادي البعد في نموذج التسرب من الأسطوانة .. ٣١٩
الشكل (٨,٢٥). الضغط المقيس والمحسوب بين الشنابر..... ٣٢٠
الشكل (٨,٢٦). صمام أخذ عينات الغاز مثبت في المكبس لمعرفة الغازات عند السطح الأعلى للمكبس..... ٣٢١
الشكل (٨,٢٧). مكونات الغاز المعملية والحسابية عند أعلى المكبس لمحرك جازولين له أقصى فتحة صمام خانق (WOT) ٣٢٢
الشكل (٨,٢٨). تركيب الغاز معمليا وحسابيا عند أعلى قمة المكبس لمحرك جازولين عند السرعة البطالة ٣٢٣

أشكال الفصل التاسع

الشكل (٩,١). التصوير الضوئي لغرفة الإشعال بشمعات الاحتراق..... ٣٢٩
الشكل (٩,٢). التصوير المظلل للاحتراق باستخدام الليزر لنسبة وقود فقيرة $\emptyset = 0.55$ ولنسبة وقود غنية $\emptyset = 1.1$ ٣٣١
الشكل (٩,٣). منحنيات درجات الحرارة وتركيز المتفاعلات في حالة اللهب الطبائقي ٣٣٢
الشكل (٩,٤). تغير سرعة اللهب الطبائقي مقابل نسبة التكافؤ. وقود الإندولين *(indolene RMFD303= C_8H_9N)* ٣٣٢
الشكل (٩,٥). تغير سرعة اللهب الطبائقي مقابل درجة حرارة الغاز..... ٣٣٣
الشكل (٩,٦). طبعات الحبر لنموذج الاحتراق المضطرب..... ٣٣٤
الشكل (٩,٧). أمثلة على الاختلافات الدورية في عملية الاحتراق. اللهب المبين تحت ظروف مماثلة لزاوية الدخول *(Shroud angle Γ =45°)*، نسبة وقود مكافئة *($\emptyset$ = 0.55)*، وزاوية حرق قبل النقطة الميتة العليا *(30° after ignition at θs = 12° btdc)* ٣٣٥
الشكل (٩,٨). صور سكليرين "*Schlieren*" لعملية الطرق ٣٣٦
الشكل (٩,٩). منحنيات الضغط لحالات الطرق مقابل زاوية عمود المرفق (CA)..... ٣٣٧

الشكل (٩,١٠). توزيع درجة حرارة الغاز في المنطقة المتأخرة كما في الشكل (٩,٨) ٣٣٨
الشكل (٩,١١). تأثير درجة حرارة مائع التبريد على الضغط المتوسط الفعال البياني في وجود الطرق المحدود. *Tc* هي درجة حرارة الدخول لمائع التبريد ٣٤٠
الشكل (٩,١٢). تأثير نسبة الوقود إلى الهواء على الضغط المتوسط الفعال البياني في وجود الطرق المحدود لثلاثة أنواع من وقود الطيران ٣٤١
الشكل (٩,١٣). مخطط شباك مراقبة للمتابعة البصرية للأحداث داخل أسطوانة محرك ديزل يوضح مستوى الليزر على طول محور الوقود ٣٤٤
الشكل (٩,١٤). المسقط الجانبي لغرفة المراقبة الضوئية للاحتراق ٣٤٤
الشكل (٩,١٥). تصوير فوتوغرافي سريع متسلسل لمناطق الاحتراق المضيئة لمناطق اللهب في محرك الديزل ٣٤٥
الشكل (٩,١٦). نموذج بسيط لاحتراق وقود الديزل ٣٤٧
الشكل (٩,١٧). شكل تفصيلي لنموذج احتراق في محرك ديزل بعد بداية الحقن "*ASI*" ٣٤٨
الشكل (٩,١٨). علاقة رقم السيتان ورقم الأوكتان للوقود الهيدروكربوني ٣٥١
الشكل (٩,١٩). نسبة الكتلة المحترقة مقابل زاوية عمود المرفق ونسبة التكافؤ لمحرك بحثي عند سرعة $N = 1600rpm$ ونسبة انضغاط $r = 6.9$ ودرجة حرارة دخول $Ti = 355K$ والضغط المتوسط الفعال البياني $imep = 3.7\ bar$ ٣٥٣
الشكل (٩,٢٠). مقارنة بين النتائج المتوقعة والمعملية لنسبة الكتلة المحترقة لمحرك إشعال بالشرارة. قطر $b = 83mm$، طول شوط $S = 74mm$، نسبة انضغاط $r = 9.9$، (أ) عند نسب تكافؤ مختلفة. (ب) عند نسب تدوير مختلفة *(EGR)* ٣٥٤
الشكل (٩,٢١). تغير تأخير الإشعال طبقا لتحليل توفيق المنحنيات لثلاث غرف احتراق مختلفة في محرك السيارات ٣٥٥
الشكل (٩,٢٢). فترة الاحتراق طبقا لتحليل توفيق المنحنيات على محرك ذي غرفة احتراق مفتوحة بسقف منخفض ٣٥٦
الشكل (٩,٢٣). تأثير التوزيع الحجمي على فترة الإشعال ومتطلبات رقم الأوكتان عند نسبة انضغاط $r = 9$، وسرعة $N = 1000rpm$ تحت أقصى عزم ٣٥٦
الشكل (٩,٢٤). معدل الإفراج الظاهري للحرارة والضغط داخل الأسطوانة وارتفاع إبرة الحاقن عند نسبة وقود فقيرة $\emptyset = 0.25$ ٣٥٧

الشكل (٩,٢٥). معدل الإفراج الظاهري للحرارة والضغط داخل الأسطوانة وارتفاع إبرة الحاقن عند نسبة وقود غنية $Ø = 0.43$ ٣٥٨
الشكل (٩,٢٦). دالة وبي "$Wiebe$" المزدوجة لإطلاق الحرارة في محرك الديزل ٣٥٩
الشكل (٩,٢٧). بيانات المحرك ومعدل الاحتراق طبقا للمعادلة (٩,١٨)..... ٣٦١
الشكل (٩,٢٨). (أ) قياس الضغط ونسبة الكتلة المحترقة المحسوبة كدالة من زاوية عمود المرفق. (ب) درجة الحرارة المحسوبة للغازات المحترقة *(Tb)* والغير محترقة *(Tu)* مقابل زاوية عمود المرفق لأثنين من العناصر التي تحرق في أوقات مختلفة. (ج) الكتلة الكسرية لأكسيد النيتريك مقابل زاوية عمود المرفق لأثنين من العناصر التي تحرق في أوقات مختلفة ٣٦٤
الشكل (٩,٢٩). التركيز المقيس والمحسوب لعادم أول أكسيد النيتروجين *NO* كدالة من نسبة التكافؤ في حالة عدم وجود تدوير للعادم $EGR=0.0$ ٣٦٦
الشكل (٩,٣٠). تقديم التوقيت يزيد انبعاثات أكاسيد النيتروجين..... ٣٦٧
الشكل (٩,٣١). تزداد تأثيرات السرعة نتيجة الزيادة الطفيفة في فترة الاحتراق (أي زيادة درجات عمود المرفق) مع السرعة ويتناقص الفقد الحراري لكل وحدة كتلة قليلاً مع السرعة ٣٦٧
الشكل (٩,٣٢). زيادة درجة حرارة مائع التبريد أو وجود رواسب تخفض الفقد في الحرارة وهما يعملان على زيادة انبعاثات أكاسيد النيتروجين ٣٦٨
الشكل (٩,٣٣). الرطوبة تقلل من درجات حرارة الغاز المحترق ومن ثم تقلل من انبعاثات أكاسيد النيتروجين ٣٦٨
الشكل (٩,٣٤). انبعاثات أكسيد النيتروجين كدالة للتحميل لمحرك ذي سحب حر وحقن مباشر لمحرك ذي سحب حر وحقن غير مباشر ٣٦٩
الشكل (٩,٣٥). مكونات غاز العادم مقابل نسبة الوقود في الهواء المؤكسدة أو المقيسة لمحرك ذي شاحن سوبر مع صمامات ذات فترة تداخل والوقود هو الجازولين C_8H_{18} ٣٧٠
الشكل (٩,٣٦). تركيز أول أكسيد الكربون في عنصرين من الشحنة التي احترقت في أوقات مختلفة خلال عمليات شوطي التمدد والعادم. X = نسبة الكتلة المحترقة عندما يحترق العنصر، Z = نسبة الغاز الذي ترك الأسطوانة خلال عملية العادم..... ٣٧١

الشكل (٩,٣٧). الهيدروكربونات بالعادم كدالة في درجة حرارة جدار الأسطوانة. توقيت الشرارة = *22btdc* قبل النقطة الميتة العليا، وضغط السحب = *0.60atm*، ونسبة الانضغاط = *8.51* ٣٧٤
الشكل (٩,٣٨). شكل تخطيطي يلخص عمليات هامة في انبعاثات الهيدروكربونات..... ٣٧٥
الشكل (٩,٣٩). التغير في تركيزات ومعدلات السريان الكتلي للانبعاثات الهيدروكربونية عند صمام العادم خلال عملية الطرد ٣٧٦
الشكل (٩,٤٠). تركيزات الانبعاثات الهيدروكربونية لمحرك السحب الحر ذي الحقن المباشر *"DI/NA"*، ومحرك السحب الحر ذي الحقن غير المباشر في الغرفة المسبقة للاحتراق *"IDI/NA"* ٣٧٧
الشكل (٩,٤١). تأثير قطر صحن غرفة الاحتراق ونوع الفوهة على الانبعاثات الهيدروكربونية لمحرك يعمل بسرعة عالية بدون حمل *"high idle"* ٣٧٨
الشكل (٩,٤٢). نسبة الانبعاثات الكتلية للجسيمات مقابل نسبة التخفيف عند سرعة *N =1500rpm* ٣٨٠
الشكل (٩,٤٣). مقارنة بين أطياف التأين الكتلي الكيميائية لانبعاثات جسيمات الديزل جمعت عند ثلاث سرعات مختلفة للمحرك *N =2500rpm, 1500rpm, 500rpm* حيث نسبة التكافؤ *Ø =0.5*، *RA* تعني الوفرة النسبية ٣٨٠
الشكل (٩,٤٤). تأثير توقيت بداية حقن الوقود على انبعاثات وأداء محرك ديزل بحثي بشحن سوبر عند نسبة ثابتة للوقود في الهواء ودرجة حرارة سحب هواء ثابتة ٣٨١
الشكل (٩,٤٥). مقارنة قياسات وتوقعات انبعاثات أكاسيد النيتروجين والسخام كدالة في توقيتات الحقن الذي يتم عند قيم درجات دوران عمود المرفق *5- ,8- ,11- ,13- ,15-* بعد النقطة الميتة العليا. الرموز الصلبة تمثل القياسات والرموز المفتوحة تمثل التوقعات..... ٣٨٢
الشكل (٩,٤٦). أساليب السيطرة على انبعاثات المحرك ٣٨٤
الشكل (٩,٤٧). صورة فوتوغرافية لمقطع في المحول الحفاز ٣٨٥
الشكل (٩,٤٨). مكونات المحول الحفاز..... ٣٨٦
الشكل (٩,٤٩). كفاءة التحويل للمحول الحفاز الثلاثي كدالة في نسبة الهواء للوقود ٣٨٦
الشكل (٩,٥٠). كفاءات التحويل للمحولات الحفازة التقليدية المؤكسدة ٣٨٧

الشكل (٩أ). توضيحات للتمرين (٣, ٩) ٣٩٢
الشكل (٩ب). توضيحات للتمرين (٥, ٩) ٣٩٣
الشكل (٩ج). توضيحات للتمرين (٨, ٩) ٣٩٤

أشكال الفصل العاشر

الشكل (١, ١٠). (أ) بارافينات. (ب) أوليفينات. (ج) نافثينات ٣٩٩
الشكل (٢, ١٠). العطريات ٤٠٠
الشكل (٣, ١٠). (أ) الكحوليات. (ب) الإيثر. (ج) النيتروبارافينات ٤٠١
الشكل (٤, ١٠). الحرارة النوعية تحت ضغط ثابت للمواد الهيدروكربونية الموجودة في وقود السيارات ٤٠٣
الشكل (٥, ١٠). الحرارة النوعية تحت ضغط ثابت للنافثينات والكحوليات الموجودة في وقود السيارات ٤٠٣
الشكل (٦, ١٠). تأثير هيكل الوقود على القابلية للتفجير الذاتي للهيدروكربونات البارافينية، المحرك بحثي عند سرعة ٦٠٠لفة/ دقيقة ودرجة حرارة دخول ٤٥٠كلفن ٤٠٥
الشكل (٧, ١٠). جهاز تقطير النفط الخام إلى مكوناته..... ٤٠٦
الشكل (٨, ١٠). المكونات التقليدية لمصفاة التكرير ٤٠٧
الشكل (٩, ١٠). اللزوجة مقابل درجة الحرارة لمختلف تصنيفات الزيوت ٤٣٠

أشكال الفصل الحادي عشر

الشكل (١, ١١). الاستهلاك النوعي الكابح للوقود في محرك ثنائي ومحرك رباعي الأشواط مقابل قطر الأسطوانة ٤٣٧
الشكل (٢, ١١). تأثير توقيت الشرارة على الضغط المتوسط الفعال الكابح لعدد من محركات سيارات الركوب بالولايات المتحدة الأمريكية عند سرعات مختلفة كما هي مقيسة على الديناموميتر ٤٣٨
الشكل (٣, ١١). الحد الأدنى لتقديم الشرارة للحصول على أقصى عزم..... ٤٤٠
الشكل (٤, ١١). الانبعاثات النوعية الكابحة لأكسيد النيتريك مقابل الاستهلاك النوعي الكابح للوقود عند الحمل كدالة في توقيت الحقن..... ٤٤٠

الشكل (١١, ٥). أداء محرك معدل ذي شرارة إشعال عند ثلاث نسب انضغاط. القطر $b = 95.2mm$، وطول الشوط $s = 86mm$، وحجم الإزاحة $V = 4.7liters$ ٤٤٢
الشكل (١١, ٦). الكفاءة الحرارية لمحرك بنزين مقابل نسب الانضغاط العادية ٤٤٤
الشكل (١١, ٧). مقارنة بين محرك إشعال بالشرارة ومحرك إشعال بالضغط ذي الحقن غير المباشر، تم تصميمهما لإنتاج خصائص متساوية لتغيرات العزم مع سرعة الدوران كتطبيق لأداء المحرك ٤٤٥
الشكل (١١, ٨). الاستهلاك النوعي الكابح للوقود في محرك ديزل بحري كدالة في الحمل ٤٤٦
الشكل (١١, ٩). تغير الاستهلاك النوعي الكابح للوقود مع نسبة تكافؤ الهواء للوقود لمحرك ديزل بحثي أحادي الأسطوانة عند ثلاث نسب انضغاط وتحميل جزئي. السرعة $N = 40rev/sec$، الضغط المتوسط الفعال الكابح $bmep = 2.5bar$، القطر $b = 80.26mm$، المشوار $s = 88.9mm$ ٤٤٧
الشكل (١١, ١٠). تأثير نسبة تكافؤ الوقود للهواء على الاستهلاك النوعي الكابح للوقود وانبعاثات العادم لعدد من محركات الديزل ٤٤٨
الشكل (١١, ١١). مقارنة بين القيم المقيسة والمتوقعة لمعدل الاستهلاك النوعي الكابح للوقود (جم/ كيلووات.ساعة) لمحرك سعته 1.25 litters ٤٤٨
الشكل (١١, ١٢). مقارنة بين القيم المقيسة والمتوقعة لمعدل الاستهلاك النوعي الكابح للوقود (جم/ كيلووات.ساعة) لمحرك سعته 1.9 *litters* ٤٤٩
الشكل (١١, ١٣). خرائط أداء محرك ثنائي الأشواط ذي كسح متصالب. قطر $b = 61.5mm$، وطول شوط $s = 59.9mm$ ٤٤٩
الشكل (١١, ١٤). خرائط أداء ورقم دخان بوش لمحرك ذي حقن مباشر وشحن طبائقي: (أ) محرك ديزل، (ب) محرك جازولين. حيث: قطر $b = 125mm$، وطول شوط $s = 130mm$، ونسبة انضغاط $r = 20:1$، وعدد أسطوانات $Nc = 10$ ٤٥٠
الشكل (١١, ١٥). خرائط أداء محرك ديزل ذي سحب طبيعي وحقن غير مباشر. حيث: قطر $b = 76.5mm$، وطول شوط $s = 80mm$، ونسبة انضغاط $r = 23:1$ ٤٥٠
الشكل (١١, ١٦). خريطة أداء محرك ديزل بغرفة سبق احتراق متغيرة هندسياً مع شحن تربيني بمرحلتين وتبريد بيني. حيث: قطر $b = 200mm$، ونسبة انضغاط $r = 13.7:1$ ٤٥١

قائمة الجداول

جداول الفصل الأول

الجدول (١ , ١). مقارنة بين ثلاثة من محركات الاحتراق الداخلي..... ١٢

جداول الفصل الثاني

الجدول (١ , ٢). معاملات المحرك لنموذج الانطلاق الحراري المحدود ٥٢
الجدول (٢ , ٢). تأثير بدء انبعاث الحرارة على الضغط المتوسط الفعال البياني، وزاوية عمود المرفق عند الضغط الأقصى *imep* ٥٦
الجدول (٣ , ٢). معاملات حساب دورة الغاز الرباعية الأشواط ٦٤

جداول الفصل الثالث

الجدول (١ , ٣). إنثالبي التكوين، وإنثالبي التبخر، وضغط تشبع البخار، والحجم النوعي لبعض أنواع الوقود السائل عند درجة حرارة $298k$ ٨١
الجدول (٢ , ٣). إنثالبي التبخر، وضغط بخار التشبع، والحجم النوعي الجوي للأوكتان..... ٨٢
الجدول (٣ , ٣). الأوزان الجزيئية، ونسب التفاعل الكيميائي النموذجي، والكسور الجزيئية لنواتج الاحتراق ٨٤
الجدول (٤ , ٣). نتائج الاحتراق عند درجات الحرارة المنخفضة ٨٦
الجدول (٥ , ٣). المعادلات المطلوبة لحساب الخواص ٩٢
الجدول (٦ , ٣). معاملات توفيق منحنى ثابت التكافؤ الكيميائي ٩٦

الجدول (٣,٧). حرارة الاحتراق القصوى، ودرجة حرارة اللهب المعزول حرارياً لبعض أنواع الوقود عند نسبة تكافؤ مثالية عند: P=1.0 atm, T=298k, F=0.0 ..... ١٠١

جداول الفصل الرابع

الجدول (١ ,٤). الطاقة المتاحة القصوى للاحتراق a_0 مقارنة بالحرارة الصغرى للاحتراق ... ١١٤
الجدول (٢ ,٤). تأثير نوع الوقود على دورة أوتو للوقود والهواء ١١٨

جداول الفصل الخامس

الجدول (١ ,٥). الاستجابة المميزة للمركبات بمكشاف تأين اللهب " *FID* " ١٤٩

جداول الفصل السادس

الجدول (١ ,٦). المعاملات الممثلة للمحرك في المثال (١ ,٦) ٢٠٠
الجدول (٢ ,٦). أنواع آليات الصمام ٢٠١
الجدول (٣ ,٦). معاملات احتكاك آلية الصمام (باتون وآخرون، ١٩٨٩)..... ٢٠٤
الجدول (٤ ,٦). معادلات حساب الضغط المتوسط الفعال الاحتكاكي (*Fmep*) لمكونات المحرك..... ٢٠٨

جداول الفصل السابع

الجدول (١ ,٧). زوايا توقيت الصمامات..... ٢٢٨
الجدول (٢ ,٧). مصطلحات أداء المحرك ثنائي الأشواط..... ٢٥٧

جداول الفصل الثامن

الجدول (١ ,٨). اتزان الطاقة لمحرك ديزل متوسط السرعة، رباعي الأشواط، بحقن مباشر، وغرفة ضحلة، وبشاحن تيربو–مرجع "*whitehouse* 1970-71"..... ٢٩١
الجدول (٢ ,٨). اتزان الطاقة لمحرك طائرة تبريد هواء ذي إشعال بالشرارة..... ٢٩٣
الجدول (٣ ,٨). تغير درجة حرارة الغاز المتوسطة، ومعامل انتقال الحرارة على سطح المكبس مع سرعة المحرك..... ٣٠٢

الجدول (٤ ,٨). تأثير انتقال الحرارة على الأداء المتوقع للمحرك ٣١٢
الجدول (٥ ,٨). مقارنة نتائج علاقات أناند، و وشني لحساب انتقال الحرارة ٣١٥

جداول الفصل التاسع

الجدول (١ ,٩). مناطق اللهب المضطرب ٣٣٣
الجدول (٢ ,٩). ظروف قياس رقم الأوكتان ٣٣٩
الجدول (٣ ,٩). معدل تكون السلائف مقابل درجة الحرارة ٣٤٢
الجدول (٤ ,٩). ظروف قياس رقم السيتان ٣٥١
الجدول (٥ ,٩). مصادر انبعاثات الهيدروكربونات ٣٧٣
الجدول (٦ ,٩). معايير انبعاثات سيارات الركوب والمركبات الصغيرة الأمريكية ٣٨٣
الجدول (٧ ,٩). معايير المركبات قليلة انبعاثات العادم والمركبات الشحيحة في انبعاثات العادم ٣٨٣

جداول الفصل العاشر

الجدول (١ ,١٠). معاملات منحنى الحرارة النوعية ٤٠٣
الجدول (٢ ,١٠). خصائص ظاهرة الطرق في أنواع الوقود الأحادي ٤٠٤
الجدول (٣ ,١٠). مواصفات خواص الجازولين ٤٠٩
الجدول (٤ ,١٠). خواص وقود الجازولين ٤١٢
الجدول (٥ ,١٠). الانبعاثات المنتظمة *FTP* (جم/ ميل) من متوسط الصناعات والجازولين المعاد تركيبه ٤١٢
الجدول (٦ ,١٠). مواصفات وقود الديزل تبعاً للكود *(ASTM D975)* ٤١٤
الجدول (٧ ,١٠). خواص الديناميكا الحرارية لوقود محرك الاحتراق بالضغط ٤١٥
الجدول (٨ ,١٠). خواص الديناميكا الحرارية لوقود محرك الاحتراق بالشرارة ٤١٧
الجدول (٩ ,١٠). الانبعاثات المعتادة لمركبات الوقود بغاز البترول المسال (جم/ ميل) ٤١٩
الجدول (١٠ ,١٠). الانبعاثات الخانقة لمحرك المركبة بوقود غاز البترول المسال (مللي جم/ ميل) ٤١٩

الجدول (١١, ١٠). الانبعاثات المنتظمة لوقود الغاز الطبيعي المضغوط (جم/ميل) من المركبات ٤٢١
الجدول (١٢, ١٠). الانبعاثات السامة من المركبات لوقود الغاز الطبيعي المضغوط (مللي جم/ميل) ٤٢٢
الجدول (١٣, ١٠). بيانات انبعاثات محركات الغاز الطبيعي الثقيلة ٤٢٢
الجدول (١٤, ١٠). مقارنة بين طرق تخزين الهيدروجين ٤٢٤
الجدول (١٥, ١٠). التغير في الانبعاثات المنتظمة السامة لأسطول المركبات التي يتم تغذيتها بالميثانول ٤٢٦
الجدول (١٦, ١٠). الانبعاثات المنتظمة السامة لأسطول المركبات التي يتم تغذيتها بالميثانول (*mg/mile*) ٤٢٦
الجدول (١٧, ١٠). التغير في الانبعاثات المنتظمة السامة لأسطول المركبات التي يتم تغذيتها بالميثانول ٤٢٧
الجدول (١٨, ١٠). الانبعاثات المنتظمة السامة لأسطول المركبات التي يتم تغذيتها بالإيثانول (*mg/mile*) ٤٢٧
الجدول (١٩, ١٠). مواصفات الجمعية الأمريكية لمهندسي السيارات *(SAE)* لمواصفات زيوت المحركات ٤٢٩
الجدول (٢٠, ١٠). مواصفات الجمعية الأمريكية لمهندسي السيارات *(SAE)* للمحتوى الكربوني لزيوت المحركات ٤٣٠
الجدول (٢١, ١٠). مواصفات زيوت المحركات ($T = 298\,K, P = 1\,bar$) ٤٣١

جداول الفصل الحادي عشر

الجدول (١, ١١). توقيت أقصى عزم كابح ٤٣٩

جداول الملاحق

الجدول (أ-١). خواص الهواء عند الضغط الجوي ٤٥٨
الجدول (أ-٢). المعادلات بتوفيق المنحنيات للخواص الفيزيائية للهواء عند الظروف الجوية ($T = 298\,K, P = 1atm = 1.0133\,bar$) ٤٥٩

الجدول (أ–٣). بعض الخواص الفيزيائية للهواء عند الظروف الجوية ($T = 298\,K, P = 1atm = 1.0133\,bar$) ٤٥٩
الجدول (ب–١). خواص الغازات المثالية عند ($SI\ Units$) $300\,K$ ٤٦٠
الجدول (ب–٢). خواص الغازات المثالية للنيتروجين N_2 ، N ($SI\ Units$) قيمة الأنتروبي محسوبة عند ضغط ($1\,bar$) $0.1MPa$ ٤٦١
الجدول (ب–٣). خواص الغازات المثالية للأوكسجين O_2 ، O *(SI Units)* قيمة الأنتروبي محسوبة عند ضغط($1\,bar$) $0.1MPa$ ٤٦٢
الجدول (ب–٤). خواص الغازات المثالية لثاني أكسيد الكربون CO_2 ، وأول أكسيد الكربون CO *(SI Units)* – قيمة الأنتروبي محسوبة عند ضغط ($1\,bar$) $0.1MPa$ ٤٦٣
الجدول (ب–٥). خواص الغازات المثالية للماء H_2O ، والهيدروكسيل OH *(SI Units)* قيمة الأنتروبي محسوبة عند ضغط($1\,bar$) $0.1MPa$ ٤٦٤
الجدول (ب–٦). خواص الغازات المثالية لغازي H_2 ، H *(SI Units)* قيمة الأنتروبي محسوبة عند ضغط ($1\,bar$) $0.1MPa$ ٤٦٥
الجدول (ب–٧). خواص الغازات المثالية لغازي NO ، NO_2 ($SI\ Units$) قيمة الأنتروبي محسوبة عند ضغط ($1\,bar$) $0.1MPa$ ٤٦٦
الجدول (ج–١). معاملات خواص الديناميكا الحرارية لبعض الغازات المثالية محسوبة بتوفيق المنحنيات ($300 \le T \le 1000\,K$) ٤٦٧
الجدول (ج–٢). معاملات خواص الديناميكا الحرارية لبعض الغازات المثالية محسوبة بتوفيق المنحنيات ($1000 \le T \le 3000\,K$) ٤٦٨
الجدول (ج–٣). معاملات خواص الديناميكا الحرارية لبعض أنواع الوقود محسوبة بتوفيق المنحنيات ($300 \le T \le 1000\,K$) ٤٦٩
الجدول (د–١). معاملات تحويل الوحدات ٤٧٠
الجدول (د–٢). الثوابت الفيزيائية ٤٧١