دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک-نیرو محرکه خودرو

بهینه‌سازی انتقال حرارت در موتورهای احتراق داخلی با بررسی پدیده‌ی جوشش

نگارش

مریم اسفندیاری

استاد راهنما

دکتر علی کشاورز

زمستان ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

تائیدیّه هیات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه خانم : مریم اسفندیاری

را با عنوان : بهینه‌سازی انتقال حرارت در موتورهای احتراق داخلی با بررسی پدیده‌ی جوشش

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱ – استاد راهنما	علی کشاورز	دانشیار	
۲ – استاد ممتحن	مسعود ضیاء بشرحق	دانشیار	
۳ – استاد ممتحن	سید علی جزایری	دانشیار	
٤ – نماینده تحصیلات تکمیلی			

تقدیم به

خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را...

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید.

تشکر و قدرداني

صدها فرشته بر آن دست بوسه می زنند

کز کار خلق یک گره بسته وا کند

با تشکر و سپاس از استاد دانشمند جناب آقای دکتر علی کشاورز و آقای مهندس علی قاسمیان مقدم که از محضر پر فیض تدریس‌شان بهره‌ها برده‌ام.

چکیده

موتورهای احتراق داخلی یکی از انواع موتورهای گرمایی هستند که انتقال حرارت و خنک‌کاری آن‌ها از مباحث مهم و کاربردی مطرح در این نوع از موتورها می‌باشد. در سیستم‌های خنک‌کاری مدرن امروزی، وزن کمتر و اشغال فضای کوچکتر از فاکتورهای مهم طراحی محسوب می‌شوند. این موضوع مستلزم به‌کارگیری روش‌هایی برای افزایش انتقال حرارت می‌باشد. یکی از روش‌های افزایش انتقال حرارت در راهگاه خنک‌کننده‌ی موتورهای احتراق داخلی استفاده از پدیده‌ی جوشش است. تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی جوشش نشان داده است که عواملی مانند جنس سطح، دمای سطح، تعداد و اندازه‌ی حفره‌های موجود روی سطح، نوع سیال و مواد افزوده شده به سیال، زبری و برخی عوامل دیگر تأثیر مستقیم بر روی میزان انتقال حرارت در پدیده‌ی جوشش دارند. هدف از این پایان‌نامه، بهبود پیش‌بینی انتقال حرارت در موتور از طریق مدل‌سازی انتقال حرارت جوشش جریانی و با در نظر گرفتن اثر زبری می‌باشد. با استفاده از روابط موجود برای جوشش جریانی و همچنین روابط جوشش استخری که اثرات زبری در آن‌ها لحاظ شده‌اند، مدل جدیدی برای مدل‌سازی اثرات زبری در انتقال حرارت جوشش جریانی تخمین زده می‌شود. به‌منظور صحه‌گذاری، نتایج حاصل از مدل ارائه شده با نتایج آزمایشگاهی موجود مورد مقایسه قرار می‌گیرد. مقایسه‌ی نتایج آزمایشگاهی و مدل ارائه شده تطابق خوبی را نشان می‌دهد که حاکی از دقت قابل قبول مدل معرفی شده در این پایان‌نامه است.

کلید واژه: موتورهای احتراق داخلی، خنک‌کاری موتور، انتقال حرارت، راهگاه خنک‌کننده، جوشش جریانی، زبری

فـهـرست مـطـالـب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... ج

فهرست شکل‌ها ..... د

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... ی

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۲

۱-۲- روش‌های بهبود عملکرد سامانه‌ی خنک‌کاری ۳

۱-۲-۱- تغییر هندسه‌ی معابر جریان ۴

۱-۲-۲- سیال عامل مناسب برای خنک‌کاری ۵

۱-۲-۳ جوشش ۶

فصل ۲- انواع سیستم‌های خنک‌کاری در موتور ۷

۲-۱- شرح کلی سیستم خنک‌کاری ۷

۲-۲- انواع سیستم‌های خنک‌کاری در موتورهای احتراق داخلی ۸

۲-۲-۱- موتورهای خنک‌شونده با هوا ۸

۲-۲-۲- موتورهای خنک‌شونده با مایع ۱۰

۲-۲-۲-۱- موتورهای خنک‌شونده به کمک اثر ترموسیفون ۱۰

۲-۲-۲-۲- سیستم‌های چرخش اجباری ۱۱

۲-۲-۲-۳- سیستم‌های باز و سیستم‌های بسته ۱۱

۲-۳- پیشینه‌ی جوشش در موتورهای احتراق داخلی ۱۲

فصل ۳- فیزیک مساله و معادلات حاکم ۴۵

۳-۱- معرفی انتقال حرارت جوشش ۴۵

۳-۱-۱- رشد و هسته‌ی حباب ۴۵

۳-۱-۲- جوشش استخری ۴۸

۳-۱-۳- جوشش جریانی برای یک سیال خالص ۵۴
۳-۱-۴- جوشش استخری و جریانی برای سیال‌های دوتایی ۵۷
۳-۲- مدل‌سازی ریاضی پدیده‌ی جوشش ۵۸
۳-۲-۱- مدل چن ۵۹
۳-۲-۲- روش BDL ۶۲
فصل ۴- مدل‌سازی انتقال حرارت جوشش جریانی ۷۰
۴-۱- مدل‌سازی قسمت انتقال حرارت جابه‌جایی اجباری ۷۱
۴-۱-۱- ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی ۷۱
۴-۱-۱-۱- اثر طول ورودی هیدرودینامیکی ۷۳
۴-۱-۱-۲- اثر طول گرم نشده ۷۴
۴-۱-۱-۳- اثر ویسکوزیته ۷۶
۴-۲- مدل‌سازی انتقال حرارت جوشش جریانی ۷۷
۴-۲-۱- جوشش جریانی روزنوف ۷۹
۴-۲-۲- مدل کوپر ۸۰
۴-۲-۳- مدل گورنفلو ۸۱
فصل ۵- نتیجه‌گیری و بحث ۸۳
۵-۱- صحه‌گذاری نتایج شبیه‌سازی ۸۳
۵-۱-۱- آزمایش رابینسون ۸۳
۵-۱-۲- آزمایش لی ۸۴
۵-۱-۳- نتایج مدل‌سازی جوشش جریانی برای آب ۸۵
۵-۲- نتیجه‌گیری ۹۴
۵-۳- پیشنهادات ۹۵
فهرست مراجع ۹۶

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: دماهای اندازه‌گیری شده در موقعیت بین سوپاپ‌های دود سیلندرهای مختلف [۱۲]..... ۴۱
جدول ۲-۲: مقایسه‌ی مقادیر دما تحت انتقال حرارت جابه‌جایی تنها، مدل جوشش چن، مدل اصلاح شده‌ی این تحقیق و مقادیر آزمایشگاهی [۱۲] ۴۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: شماتیک موتورهای خنک‌شونده با هوا..... ۹
شکل ۲-۲: شماتیک خنک‌کاری در موتور به کمک اثر ترموسیفون..... ۱۰
شکل ۲-۳: دستگاه آزمایشگاهی ساخته شده برای شبیه‌سازی جوشش در موتور احتراق داخلی[۳]..... ۱۳
شکل ۲-۴: بخش آزمون دستگاه[۳]..... ۱۴
شکل ۲-۵: رابطه‌ی دمای سطح و شار حرارتی در فشار ۲bar و سرعت ۵/۵m/s برای یک سطح مسی به‌ازای افت فشار ثابت[۳]..... ۱۵
شکل ۲-۶: رابطه‌ی دمای سطح و شار حرارتی در فشار ۲bar و سرعت ۳m/s برای یک سطح مسی به‌ازای افت فشار ثابت[۳]..... ۱۵
شکل ۲-۷: رابطه‌ی دمای سطح و شار حرارتی در فشار ۲bar و سرعت ۱/۴m/s برای یک سطح مسی به‌ازای افت فشار ثابت[۳]..... ۱۵
شکل ۲-۸: رابطه‌ی دمای سطح و شار حرارتی در فشار ۲bar و سرعت ۷m/s/ برای یک سطح مسی به‌ازای افت فشار ثابت[۳]..... ۱۵
شکل ۲-۹: رابطه‌ی دمای سطح و شار حرارتی در فشار ۲bar و سرعت ۰/۳m/s برای یک سطح مسی به‌ازای افت فشار ثابت[۳]..... ۱۶
شکل ۲-۱۰: رابطه‌ی دمای سطح و شار حرارتی در فشار ۲bar و سرعت ۰/۱m/s برای یک سطح مسی به‌ازای افت فشار ثابت[۳]..... ۱۶
شکل ۲-۱۱: رابطه‌ی دمای سطح و شار حرارتی در فشار ۲bar و سرعت ۰/۷m/s برای یک سطح مسی به‌ازای افت فشار ثابت[۳]..... ۱۷
شکل ۲-۱۲: رابطه‌ی دمای سطح و شار حرارتی در فشار ۲bar و سرعت ۰/۱m/s برای یک سطح مسی به‌ازای افت فشار ثابت[۳]..... ۱۷
شکل ۲-۱۳: رابطه‌ی دمای سطح و شار حرارتی در فشار ۲bar و سرعت ۰/۵m/s برای یک سطح آلومنیومی و چدنی به‌ازای افت فشار ثابت[۳]..... ۱۸

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱۴: رابطه‌ی دمای سطح و شار حرارتی در فشار ۲bar و سرعت ۰/۱m/s برای یک سطح آلومنیومی و چدنی به‌ازای افت فشار ثابت[۳] ۱۸
شکل ۲-۱۵: رابطه‌ی دمای سطح و شار حرارتی در فشار ۲bar وسرعت ۳m/s برای یک سطح آلومنیومی و چدنی به‌ازای افت فشار ثابت[۳] ۱۸
شکل ۲-۱۶: مناطق حساس حرارتی سرسیلندر در مقاله‌ی نوریس [۴] ۱۹
شکل۲-۱۷: دستگاه به کاررفته در کار رابینسون برای شبیه‌سازی جوشش در موتورهای احتراق داخلی[۵] ۲۰
شکل ۲-۱۸: تأثیر سرعت بر نمودار جوشش[۵] ۲۱
شکل ۲-۱۹: تأثیر زبری بر نمودار جوشش[۵] ۲۲
شکل ۲-۲۰: تأثیر زبری و سرعت بر نمودار جوشش[۵] ۲۲
شکل ۲-۲۱: تأثیر زبری و فشار بر نمودار جوشش[۵] ۲۳
شکل ۲-۲۲: تأثیر زبری و دمای ورودی بر نمودار جوشش [۵] ۲۳
شکل ۲-۲۳: تأثیر زبری بر روی نقطه‌ی شار حرارتی بحرانی در نمودار جوشش [۵]. ۲۴
شکل ۲-۲۴: رابطه‌ی دمای سطح و شار حرارتی در فشار $2bar$، دمای ورودی ۹۰°c برای یک سطح آلومینیومی به‌ازای سرعت‌های مختلف [۶] ۲۵
شکل ۲-۲۵: تأثیر فشار بر روی نمودار جوشش، دمای ورودی ۹۰°c و سرعت ورودی ۰/۲۵m/s [۶] ۲۶
شکل ۲-۲۶: تأثیر فشار بر روی نمودار جوشش، دمای ورودی ۶۰°c و سرعت ورودی $0/25m/s$ [۶] ۲۶
شکل ۲-۲۷: تأثیر دماهای ورودی مختلف بر نمودار جوشش به‌ازای فشار $2bar$ و سرعت $1m/s$ [۶] ۲۶
شکل ۲-۲۸: ضریب انتقال حرارت در دو حالت جوشش و بدون جوشش [۸] ۲۷
شکل ۲-۲۹: شار حرارتی با در نظر گرفتن جوشش و بدون جوشش [۸] ۲۸
شکل ۲-۳۰: توزیع دما بر روی سطح سرسیلندر با در نظر گرفتن جوشش و بدون جوشش [۸] ۲۹
شکل ۲-۳۱: نقشه‌ی تعیین سرعت خنک‌کننده بر حسب شار حرارتی و دمای سطح [۹] ۳۰
شکل ۲-۳۲: سیستم کنترلی برای تعیین دور پمپ [۹] ۳۰
شکل ۲-۳۳: دستگاه آزمایشگاهی به‌کار رفته در کار رابرتسون [۹] ۳۱
شکل ۲-۳۴: نمونه‌ای از نقشه‌ی تهیه شده برای شرایط کارکرد موتور [۹] ۳۱

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۳۵: شماتیک دستگاه به‌کار رفته در کار استینر و همکاران [۱۰] ۳۲
شکل ۲-۳۶: بخش آزمون دستگاه آزمایشگاهی استینر و همکاران [۱۰]..... ۳۲
شکل ۲-۳۷: نمودار جوشش جریانی در فشار $۱/۵bar$ و سه سرعت مختلف؛ خط کامل (ـــ) روش BDL، خط چین (- - - -) روش چن، اندازه گیری (•)[۱۰].. ..... ۳۳
شکل ۲-۳۸: نمودار جوشش جریانی در فشار $۲bar$ و سه سرعت مختلف؛ خط کامل (ـــ) روش BDL، خط چین (- - - -) روش چن، (•) اندازه گیری [۱۰] ۳۳
شکل ۲-۳۹: محل کاشت ترموکوپل‌ها بر روی سرسیلندر موتور [۱۱].. ..... ۳۴
شکل ۲-۴۰: نحوه‌ی به‌دست آوردن دماهای دیواره در سمت گاز و سمت خنک‌کننده به‌کمک دماهای اندازه‌گیری شده در دیواره‌ی سرسیلندر [۱۱]..... ۳۵
شکل ۲-۴۱: دمای سطح اندازه گیری شده بر حسب شار حرارتی [۱۱]. ۳۶
شکل ۲-۴۲: شماتیک دستگاه ساخته شده برای شبیه‌سازی فرآیند جوشش در موتور[۱۱]..... ۳۶
شکل ۲-۴۳: تصویری از مجرای مستطیلی به کار رفته در کار لی [۱۱].. ..... ۳۷
شکل ۲-۴۴: قطعه‌ی مسی گرم‌شونده در دستگاه آزمایشگاهی لی [۱۱]. ۳۷
شکل ۲-۴۵: ابعاد دقیق بخش مسی گرم شونده در دستگاه آزمایشگاهی لی [۱۱]..... ۳۷
شکل ۲-۴۶: مقایسه‌ی منحنی شار حرارتی بر حسب دما برای اطلاعات موتور در دور $۳۰۰۰rpm$ و یافته‌های تجربی بخش آزمون[۱۱]..... ۳۸
شکل ۲-۴۷: مقایسه‌ی منحنی شار حرارتی بر حسب دما برای اطلاعات موتور در دور $۵۶۰۰rpm$ و یافته‌های تجربی بخش آزمون[۱۱]..... ۳۸
شکل ۲-۴۸: موقعیت کاشت ترموکوپل‌ها در سرسیلندر [۱۲].. ..... ۳۹
شکل ۲-۴۹: مقایسه‌ی نتایج تجربی با دیتوس بولتر اصلاح شده [۱۴].. ..... ۴۳
شکل ۲-۵۰: مقایسه‌ی نتایج تجربی و مدل چن در فشار های مختلف، سرعت ورودی $۰/۵m/s$ و دمای ورودی $۹۸/۸°c$[۱۴].. ..... ۴۳
شکل ۲-۵۱: مقایسه‌ی نتایج تجربی و مدل چن در سرعت‌های مختلف، فشار $۱/۸۲bar$ و دمای ورودی $۹۸/۸°c$ [۱۴]. ۴۳

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱: یک حباب غوطه‌ور در سیال [۲۰] ۴۵
شکل ۳-۲: یک حفره‌ی مخروطی شکل ایده‌آل با دهانه‌ی دایره‌ای[۲۲]. ۴۶
شکل ۳-۳: نمودار فشار حباب بر حسب دمای مورد نیاز جهت رشد حباب [۲۲]. ۴۷
شکل ۳-۴: نمودار جوشش برای یک سطح با شار حرارتی کنترل شده [۲۴].. ..... ۴۹
شکل ۳-۵: نواحی مختلف جوشش استخری [۱۰] ۵۰
شکل ۳-۶: تغییرات دمای دیواره و دمای متوسط سیال در پدیده‌ی جوشش جریانی [۱۰] ۵۱
شکل ۳-۷: رژیم‌های متفاوت جوشش [۲۶] ۵۳
شکل ۳-۸: نمودار شار حرارتی بر حسب دمای سطح برای سرعت‌های مختلف [۱۰] ۵۶
شکل ۳-۹: تراکم حباب‌ها در نواحی مختلف [۲۶] ۵۶
شکل ۳-۱۰: نمودار جوشش برای یک سطح با شار حرارتی کنترل شده [۲۶]. ۵۷
شکل ۳-۱۱:ضریب سرکوب‌کننده‌ی ارائه شده توسط چن[۳۱]. ۶۱
شکل ۳-۱۲: سه مرحله‌ی جدایش حباب از سطح [۱۰] ۶۲
شکل ۳-۱۳:نیروهای وارد بر یک حباب[۱۰]. ۶۴
شکل ۳-۱۴: صحه‌گذاری مقادیر بدست آمده S_{flow} از حل معادلات، خط افقی بیان‌گر سرعت‌های مختلف و خط قائم نشان‌دهنده‌ی S_{flow} می‌باشد ۶۷
شکل ۳-۱۵: نقاط پیش‌بینی شده برای وقوع جوشش در گزارش شرکت AVL ۶۸
شکل ۳-۱۶: مقایسه‌ی روش BDL و چن در پیش‌بینی منحنی جوشش[۳۷]. ۶۸
شکل ۴-۱: لایه مرزی حرارتی و هیدرودینامیکی برای یک سیال جاری روی یک سطح ۷۵
شکل ۵-۱:دستگاه به کاررفته در کار رابینسون برای شبیه‌سازی جوشش در موتورهای احتراق داخلی[۶]. ۸۴
شکل ۵-۲: شماتیکی از مجرای مستطیلی به کار رفته در کار لی[۱۱]. ۸۴
شکل ۵-۳: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۰/۲۵متر بر ثانیه، فشار ۲ بار و دمای ورودی ۹۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش رابینسون. ۸۵

عنوان **صفحه**

شکل ۵-۴: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۱متر بر ثانیه، فشار ۱ بار و دمای ورودی ۹۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش رابینسون. ۸۵
شکل ۵-۵: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۰/۵متر بر ثانیه، فشار ۱ بار و دمای ورودی ۹۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش لی. ۸۵
شکل ۵-۶: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۱متر بر ثانیه، فشار ۱ بار و دمای ورودی ۹۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش لی ۸۵
شکل ۵-۷: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۰/۵متر بر ثانیه، فشار ۱ بار و دمای ورودی ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش لی. ۸۶
شکل ۵-۸: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۰/۵متر بر ثانیه، فشار ۱ بار و دمای ورودی ۵۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش لی. ۸۶
شکل ۵-۹: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۰/۵متر بر ثانیه، فشار ۱ بار و دمای ورودی ۹۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش لی ۸۶
شکل ۵-۱۰: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۰/۵متر بر ثانیه، فشار ۱ بار و دمای ورودی ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش لی ۸۷
شکل ۵-۱۱: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۱متر بر ثانیه، فشار ۱ بار و دمای ورودی ۷۰ درجه سانتی‌گراد درآزمایش لی ۸۷
شکل ۵-۱۲: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۰/۵متر بر ثانیه، فشار ۱ بار و دمای ورودی ۹۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش لی ۸۸
شکل ۵-۱۳: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۰/۵متر بر ثانیه، فشار۲ بار و دمای ورودی ۹۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش لی. ۸۸
شکل ۵-۱۴: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۰/۵متر بر ثانیه، فشار ۱/۴ بار و دمای ورودی ۹۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش لی ۸۸
شکل ۵-۱۵: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۰/۵متر بر ثانیه، فشار ۲/۶ بار و دمای ورودی ۹۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش لی ۸۸

عنوان **صفحه**

شکل ۵-۱۶: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۰/۲۵متر بر ثانیه، فشار ۲ بار و دمای ورودی ۹۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش رابینسون. ۹۱
شکل ۵-۱۷: : مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۰/۵متر بر ثانیه، فشار ۲ بار و دمای ورودی ۹۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش رابینسون ۹۱
شکل ۵-۱۸: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۱ متر بر ثانیه، فشار ۲ بار و دمای ورودی ۹۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش رابینسون ۹۱
شکل ۵-۱۹: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۱/۵متر بر ثانیه، فشار ۱ بار و دمای ورودی ۹۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایش رابینسون. ۹۱
شکل ۵-۲۰: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۰/۵متر بر ثانیه، فشار ۲ بار و دمای ورودی ۹۸/۸ درجه سانتی‌گراد در آزمایش لی ۹۲
شکل ۵-۲۱: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۰/۵متر بر ثانیه، فشار ۱/۴ بار و دمای ورودی ۹۸/۸ درجه سانتی‌گراد در آزمایش لی. ۹۲
شکل ۵-۲۲: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۰/۵متر بر ثانیه، فشار ۲ بار و دمای ورودی ۷۸/۸ درجه سانتی‌گراد در آزمایش لی. ۹۲
شکل ۵-۲۳: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۱متر بر ثانیه، فشار ۲ بار و دمای ورودی ۷۸/۸ درجه سانتی‌گراد در آزمایش لی ۹۲
شکل ۵-۲۴: مقایسه نتایج تجربی موتور و مدل‌های ارائه شده در سرعت ۱ متر بر ثانیه، فشار ۲ بار و دمای ورودی ۷۸/۸ درجه سانتی‌گراد درآزمایش لی. ۹۳

فهرست علایم و نشانه‌ها

علامت اختصاری	عنوان
BDL	جدایش و بلند شدن حباب
CFD	دینامیک سیالات محاسباتی
CHF	شارحرارتی بحرانی (W/m^2)
C_P,C,c	چگالی حرارتی مخصوص (J/Kg.K)
D_h	قطر هیدرولیکی (m)
D	قطر (m)
F	فاکتور زبری
K_f	ضریب رسانندگی
Nu	عدد ناسلت
Pr	عدد پرانتل
Q	شار حرارتی (W/m^2)
Re	عدد رینولدز
Rp	پارامتر زبری (m)
S	فاکتور سرکوب‌کننده‌ی جوشش
T	دما (°C)
USL	طول ورودی گرم نشده
V,v	سرعت (m/s)
a	شعاع مقطع دایروی (m)
C	چگالی گرمای ویژه (J/Kg.K)
d	قطر (m)
f	فاکتور اصطکاک
g	شتاب جاذبه‌ای زمین (m/s^2)

علامت اختصاری	عنوان
h	ضریب انتقال حرارت (W/m^2K)
K	ضریب هدایت حرارتی (W/mK)
P	فشار ($N/m2$)
q	شار حرارتی (W/m^2)
x	شعاع (m)
t	زمان (s)
v	حجم مخصوص (m^3/Kg)، سرعت (m/s)
x	دامنه نوسان (m)، فاصله (m)
نمادهای یونانی	
α	ضریب پخشی حرارتی (m^2/s)
Δ	اختلاف
ε	پارامتر زبری (m)
λ	گرمای نهان تبخیر (J/kg)
μ	ویسکوزیته‌ی دینامیکی (Kg/ms)
ρ	چگالی (Kg/m^3)
σ	تنش سطح (N/m)
زیرنویس	
b	توده
con	جابه‌جایی
exptl	تجربی
fd	کاملاً توسعه یافته
fc	جابه‌جایی اجباری
G,g	گاز
Max	بیشینه

علامت اختصاری	عنوان
min	کمینه
sat	اشباع
wall	دیوار

فصل ۱– مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

موتورهای احتراق داخلی موتورهای حرارتی هستند که انرژی شیمیایی سوخت را به انرژی حرارتی و بخشی از آن را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. یکی از مباحث مطرح در موتورهای احتراق داخلی، مبحث انتقال حرارت در آن‌ها است. این موتورها گرچه تا حد زیادی بهبود یافته و اصلاح شده‌اند، اما هنوز بازده بالایی برای تبدیل انرژی شیمیایی به توان مکانیکی ندارند. انرژی آزاد شده‌ی سوخت در یک موتور احتراق داخلی طی یک سیکل کاری به سه طریق از آن خارج می‌شود. این سه طریق عبارتند از: توان مکانیکی تولید شده، انرژی گازهای داغ خروجی از موتور و انتقال حرارت از دیواره‌ها. بیشترین میزان انرژی موجود در بنزین به گرما تبدیل می‌شود. موتور خودرو، بهترین عملکرد را در دمای مناسب خود دارد. وقتی موتور سرد است، عملکرد اجزای آن با نقصان مواجه می‌شود و بازده موتور کمتر و در نتیجه آلودگی ایجاد شده بیشتر می‌شود. درون موتور خودرو، سوخت به طور دائم می‌سوزد و عمل احتراق انجام می‌شود. گرمای حاصل از احتراق، به میزان زیادی از طریق اگزوز خارج می‌شود، اما مقداری از گرمای ایجاد شده به داخل موتور رسوخ کرده و باعث افزایش دما و در نهایت گرم شدن موتور می‌شود. همچنین یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی در موتورهای احتراق داخلی مدت زمان گرم شدن [1]موتور می‌باشد که مبحث خنک‌کاری نقش موثری در کاهش و یا افزایش زمان مذکور و متعاقباً کاهش و یا افزایش آلاینده‌های خروجی موتور به عهده دارد. یکی دیگر از موارد اهمیت انتقال حرارت موتور، حرکت سریع و رو به رشد موتورهای احتراق داخلی در جهت افزایش توان وکوچک‌سازی موتور است که در این قسمت نیز سیستم خنک‌کاری نقش انکارناپذیری را بازی می‌کند چرا که تولید توان بیشتر در موتورهای احتراق داخلی با اندازه‌های کوچک‌تر موجب می‌گردد تا شار حرارتی بیشتری به اجزا و قطعات موتور تحمیل گردد که در این صورت، برخی از نقاط حساس موتور که در معرض شار حرارتی بیشتری هستند -مانند ناحیه‌ی بین سوپاپ‌های دود و اطراف شمع- در پاره‌ای از اوقات دردسر ساز شده و دقت بیشتری در طراحی سیستم خنک‌کاری را می‌طلبد.

دماهای بالاتر باعث کاهش ضخامت پایداری روغن می‌شود و خواص روغن به شدت افت می‌کند که این مسئله موجب افزایش استهلاک قطعات و ازدیاد دمای آنها خواهد شد. لذا خنک‌کاری صحیح بر روی کارکرد و عمر سایر قطعات هم تأثیر بسزایی دارد. اگر دمای کارکـرد خیلـی زیاد شـود، نقاطی از پیستون‌ها و قسمت‌هایی از میل‌لنگ که در یاتاقان می چرخند، منبسط می شوند که این موضوع باعث خروج آنها از لقی

[1] Warm up