



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

تحلیل حرارتی منی فولد دود آب خنک موتور دیزل دریایی با بررسی اثرات جوشش در راهگاه خنک کاری

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

دانشجو

مجید ستارچه

اساتید راهنما:

دکتر محمد حسین حامدی، دکتر سید علی جزایری

آبان ماه ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تأییدیه هیأت داوران جلسه دفاع از پایان نامه

نام دانشکده: مهندسی مکانیک

نام دانشجو: مجید ستارچه

عنوان پایان نامه: تحلیل حرارتی منی فولد دود آب خنک موتور دیزل دریایی با بررسی اثرات جوشش در

راهگاه خنک کاری

تاریخ دفاع: ۹۰/۸/۲۱

رشته: مکانیک

گرایش: تبدیل انرژی

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنمای اول	دکتر محمد حسین حامدی	استاد	صنعتی خواجه نصیر	
۲	استاد راهنمای دوم	دکتر سید علی جزایری	دانشیار	صنعتی خواجه نصیر	
۳	استاد ممتحن داخلی	دکتر علی کشاورز	دانشیار	صنعتی خواجه نصیر	
۴	استاد ممتحن داخلی	دکتر مسعود ضیاء بشرحق	دانشیار	صنعتی خواجه نصیر	

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب مجید ستارچه به شماره دانشجویی ۸۸۰۲۶۹۴ دانشجوی رشته مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسؤولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: مجید ستارچه

امضا و تاریخ: ۹۰/۹/۷

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ ممنوع است.

نام اساتید راهنما: دکتر محمد حسین حامدی، دکتر سید علی جزایری

تاریخ: ۹۰/۹/۷

امضا:

تقدیم به

همسرم، آنکه با صبر و محبت بی کرانش، حقیقت یکدل وهمدم
بودن را به زیباترین راز زندگی مشترک، برایم معنا کرد.

تشکر و قدردانی

در اینجا بر خود می‌دانم از زحمات دکتر جزایری، دکتر رامین مهدی پور هیئت علمی دانشگاه تفرش دکتر مهدی شاه‌بختی و همچنین دوستان عزیزم مهندس بردیا وصال‌پور و دکتر علی قاسمیان که خالصانه در پیشرفت این پروژه همراه و یاور من بودند، تشکر صمیمانه‌ای داشته باشم و امیدوارم که شایسته الطاف این عزیزان باشم.

چکیده

با توجه به گسترش روز افزون موتورهای احتراق داخلی، اهمیت حرارت تولیدی در موتورها به دلیل افزایش توان و راندمان چشمگیر شده است. تخمین مناسب انتقال حرارت و توزیع دما در موتور به منظور بررسی تنش‌های حرارتی، امری ضروری است، که اهمیت مدل‌سازی دقیق راهگاه خنک‌کاری در جهت کاهش بارهای حرارتی تولیدی در موتور را ایجاب می‌کند. عبور سیال خنک‌کننده با دمایی کمتر از دمای اشباع در مجاورت دیواره گرم موتور، باعث ایجاد پدیده جوشش حبابی سرد¹ می‌گردد. این جوشش سیال، تاثیر بسزایی در روند خنک‌کاری موتور داشته و اگر بتواند بصورت کنترل شده در موتور هدایت گردد، یقیناً در افزایش راندمان موتور و افزایش عمر کاری قطعات، تاثیر گذار خواهد بود. صرف نظر از این پدیده در روند مدل‌سازی به دلیل پیچیده‌گی‌های حاکم بر آن، سبب ایجاد خطای قابل توجهی در محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی دیواره می‌شود. در این پایان‌نامه هدف این است، که با شبیه‌سازی شرایط عمل‌کردی یک موتور دیزل دریایی در حالت واقعی، مدل‌های عددی برای مدل‌سازی انتقال حرارت با در نظرگیری اثرات جوشش، معرفی و بررسی گردند و سپس مشخص شود که هر مدل با چه تقریبی مناسب می‌باشد.

موتور دیزل دریایی BMD 900 با توان ماکزیمم ۹۰۰ اسب بخار، ارتقاء یافته موتور پایه OM457 محصول شرکت *Daimler-Chrysler* می‌باشد، که به منزله تغییر، از کاربری خودرویی به کاربری دریایی و افزایش قدرت آن تا توانی حدود ۶۷۰ کیلووات تولید می‌شود. این موتور پایه در کشتی‌های Axor، اتوبوس‌های درون شهری و برون شهری *Tourismo* در ۴ کلاس مختلف تولید می‌شود که تحت ابعاد و هندسه یکسان در ۴ قدرت مختلف از ۳۰۰ تا ۴۲۰ اسب بخار تولید می‌گردد. مشخصه‌های فنی موتور BMD 900 در ادامه آورده شده است.

Name	Power (Kw)	Torque (N-m)	Displacement (liter)	Bore (mm)	Stroke (mm)
BMD 900	670	2450	12	128	155

در اولین قدم از حل مسئله، برای شبیه‌سازی روندکاری موتور با حالت واقعی، لازم است یک مدل ترمودینامیکی از موتور در سیکل باز تهیه شود. ایجاد این مدل به کاربر این امکان را می‌دهد تا با دستیابی به مقادیر دبی جرمی گازها و تغییرات فشار در ورود و خروج از منیفولد دود، از این نتایج، به عنوان شرایط مرزی در تحلیل CFD، بهره‌برد. در ساخت این مدل ترمودینامیکی، اجزاء اصلی موتور شامل توربوشارژر، اینترکولر، لوله‌های اتصالی میان بخش‌های موتور، سیلندرها و ... شبیه‌سازی می‌گردند. برای این کار لازم است مشخصه‌های کاری هر یک از موارد مذکور معلوم باشد. برای موتور

¹ Sub cooled boiling

BMD900، این نتایج از موتور پایه (OM457) و سایر اطلاعات در دسترس موجود است. در پروژه مورد نظر، با توجه به حجم بالای مش ایجاد شده برای لوله منی فولد و راهگاه آب خنک کاری اطراف آن و هزینه محاسباتی و Run time بالا، از روش برهم نهی (Super position) برای تحلیل حرارتی استفاده شده است.

از آنجایی که مدل سازی دقیق پدیده جوشش بطوری که بتواند تمامی رخدادهای حاصل در این پدیده را از آغاز تا انتهای آن برآورد نماید، مقدور نیست و از مهم تر به دلیل حجم بالای فرآیند محاسباتی لازم برای پدیده جوشش، روشی که در این گزارش اعمال شده، روشی است که در مقایسه با تمامی کارهای طی شده برای مدل سازی جوشش بسیار سریعتر و با کمترین هزینه محاسباتی، نتایج قابل قبولی می دهد، که شرح کامل آن همراه با جزئیات لازم در ادامه گزارش خواهد آمد. در این روش، در ابتدا مدل راهگاه آب، با اعمال شرایط مرزی لازم حل می شود. این حل تا جایی ادامه دارد تا اینکه پروسه محاسباتی مسئله به حالت پایدار (Steady) برسد. پس از دریافت نتایج حاصل از حل راهگاه آب، که شامل ضریب انتقال حرارت برای تمامی نودهای مشترک با دیواره جامد می باشد، این نتایج بر روی مش هندسه منی فولد دود منتقل می گردد. در این قسمت با اعمال مقادیری از قبیل نرخ گرمی گاز به همراه دمای آن برای شرط مرزی ورودی و پروفیل تغییرات فشار برای شرط مرزی خروجی در کنار نتایج حاصله از حل دینامیک سیالاتی آب، مش جامد حل می شود. در طی مراحل لازم برای حل مش جامد، در هر مرحله حل CFD، مقادیر دمای دیواره برای تمامی نودها با توجه به رابطه تجربی تصحیح می شوند. در نهایت دمای واقعی دیواره با در نظرگیری اثرات جوشش و پس از طی چندین مرحله حل CFD، بدست می آید. در نهایت با داشتن پروفیل دمای روی دیواره خارجی منی فولد دود، می توان با تغییر کاربری پمپ آب تنش های اعمالی روی سازه آن را در راستای افزایش عمر کاری منی فولد اصلاح کرد.

کلمات کلیدی

تنش های حرارتی، راهگاه خنک کاری، سیال خنک کننده، پدیده جوشش، جوشش Sub cooled

فهرست مطالب

فصل ۱. آشنایی با پدیده جوشش ۲

۱-۱- مقدمه ۳

۲-۱- پدیده جوشش ۳

۱-۲-۱- فیزیک حاکم ۳

۲-۲-۱- مسائل مهم در بررسی پدیده جوشش ۹

۳-۲-۱- پارامترهای موثر در جوشش ۱۱

فصل ۲. تحقیقات انجام شده در زمینه تحلیل دمایی منیفولد دود و پدیده جوشش ۱۸

۱-۲- مقدمه ۱۹

۲-۲- فعالیت‌های سازه‌ای ۲۰

۳-۲- فعالیت‌های انجام شده در زمینه جوشش ۲۱

۱-۳-۲- تحقیقات تجربی ۲۱

۲-۳-۲- تحقیقات در زمینه مدل‌سازی عددی ۲۵

۳-۳-۲- تحقیقات در رابطه با مدل‌سازی در خودرو ۲۵

فصل ۳. روش‌های حل عددی جوشش ۲۹

۱-۳- محاسبه انتقال حرارت ۳۰

۱-۳-۱- روش Chen در جوشش ۳۲

۲-۳-۱- روش BDL (Boiling Departure lift off model) در جوشش ۳۲

فصل ۴. ساخت مدل ترمودینامیکی سیکل باز موتور ۳۵

۱-۴- مقدمه ۳۶

۲-۴- نحوه مدل‌سازی ترمودینامیکی ۳۷

۱-۲-۴- مدل‌سازی لوله‌ها و راه‌گاه‌ها ۳۷

۲-۲-۴- مدل‌سازی توربوشارژر ۳۸

۳-۲-۴- مدل‌سازی خنک‌کن میانی ۳۹

۴-۲-۴- مدل‌سازی محفظه احتراق ۳۹

۵-۲-۴- مدل‌کردن آزاد سازی انرژی حرارتی ۴۱

۳-۴- مدل موتور ۴۱

۴-۴- شرایط ورودی ۴۲

۵-۴- خنک‌کن میانی ۴۲

۶-۴- منیفولد هوا و راهگاه‌های ورودی ۴۲

۷-۴- منیفولد دود و راهگاه خروجی ۴۲

۸-۴- بحث و نتایج ۴۲

۱-۸-۴- نتایج توان و گشتاور ۴۳

۴۴	نتایج فشار	۲-۸-۴
۴۴	نتایج دما	۳-۸-۴
۴۵	نتایج دبی در ورودی به منیفلد دود	۴-۸-۴
۴۶	نتایج توربوشارژر، اینترکولر و دبی هوا در ورودی به منیفلد هوا	۵-۸-۴

فصل ۵. مدل سازی پدیده جوشش..... ۴۸

۴۹	مقدمه	۱-۵
۴۹	روش های مدل سازی انتقال حرارت در راهگاه خنک کاری	۲-۵
۵۰	ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط	۱-۲-۵
۵۰	مدل سازی دو فاز	۲-۲-۵
۵۰	حل کوپل انتقال حرارت جامد و سیال	۳-۲-۵
۵۱	محاسبه ضریب حرارت جابجایی پایه	۴-۲-۵
۵۲	فرمول بندی ضریب انتقال حرارتی جابجایی پایه	۳-۵
۵۴	روند مدل سازی در روش انتقال حرارت پایه	۴-۵
۵۵	آماده سازی مدل و المان بندی	۱-۴-۵
۵۷	تعریف مدل فیزیکی در نرم افزار Fluent	۲-۴-۵
۵۸	شرایط مرزی و روش حل	۳-۴-۵
۵۹	جهت جریان	۴-۴-۵
۶۰	شرایط کارکردی	۵-۴-۵

فصل ۶. نتایج انتقال حرارت راهگاه آب و منیفولد دود..... ۶۱

فصل ۷. معتبر سازی نتایج CFD..... ۶۷

۶۸	روش کار	۱-۷
۷۰	نتایج معتبر سازی نتایج CFD	۲-۷

فصل ۸. نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۷۳

۷۴	نتیجه گیری	۱-۸
۷۴	پیشنهادات	۲-۸

مراجع..... ۷۶

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: الف) نمودار جوشش (ب) تغییرات دمای دیواره و سیال در طول دیواره ۴
- شکل ۲-۱: نیروهای وارد بر حباب ۴
- شکل ۳-۱: پروفیل دمایی و ناحیه ایجاد شده در پدیده جوشش ۵
- شکل ۴-۱: نواحی شکل‌گیری حباب‌های هوا در لوله و تغییرات ضریب جابجایی هر ناحیه ۶
- شکل ۵-۱: عکس‌های تجربی از پدیده جوشش ۷
- شکل ۶-۱: مقایسه درصد انتقال حرارت برای سیال FC-72 در حالت جوشش توسعه یافته ۸
- شکل ۷-۱: اثر متقابل حباب با سیال و دیواره جامد ۱۰
- شکل ۸-۱: مقایسه رژیم جریان جوشش در دو لوله با سرعت‌های متفاوت ۱۱
- شکل ۹-۱: مقایسه پروفیل انتقال حرارت بر مبنای اختلاف دمای دیواره و سیال، برای سیال کم سرعت (....) و سیال سرعت بالا (---) ۱۲
- شکل ۱۰-۱: مقایسه پروفیل انتقال حرارت برای سرعت‌های مختلف ورودی به بدنه موتور ۱۲
- شکل ۱۱-۱: مقایسه پروفیل انتقال حرارت برای زبری‌های مختلف سطح ۱۳
- شکل ۱۲-۱: مقایسه پروفیل انتقال حرارت برای دماهای مختلف ورودی به بدنه موتور ۱۴
- شکل ۱۳-۱: مقایسه پروفیل انتقال حرارت برای فشارهای مختلف سیال ورودی به موتور ۱۵
- شکل ۱۴-۱: قطر جدایش حباب تابعی از غلظت مواد و شار حرارتی ۱۵
- شکل ۱۵-۱: تاثیر مواد افزاینده در نقطه جوشش در موتور احتراقی ۱۶
- شکل ۱-۲: دستگاه آزمایش مرجع ۲۲
- شکل ۲-۲: دستگاه تست تحقیق ۲۲
- شکل ۳-۲: دستگاه تست تحقیق ۲۳
- شکل ۱-۳: مقایسه درصد مکانیزم‌های حاکم بر انتقال حرارت ۳۰
- شکل ۲-۳: حالتهای متفاوت شناوری حباب ۳۳
- شکل ۳-۳: الگوریتم محاسباتی در روش BDL ۳۴
- شکل ۱-۴: بالانس انرژی در سیلندر ۴۰
- شکل ۲-۴: مدل ترمودینامیکی موتور در سیکل باز ۴۱
- شکل ۳-۴: منحنی تغییرات توان در تست تجربی و شبیه‌سازی ترمودینامیکی ۴۳
- شکل ۴-۴: منحنی تغییرات گشتاور در تست تجربی و شبیه‌سازی ترمودینامیکی ۴۳
- شکل ۵-۴: منحنی تغییرات فشار سیلندر در دوره‌های مختلف ۴۴
- شکل ۶-۴: منحنی تغییرات دمای احتراق سیلندر در دوره‌های مختلف ۴۵
- شکل ۷-۴: منحنی تغییرات دبی جرمی ورودی به مینیفولد دود در دوره‌های مختلف ۴۵
- شکل ۸-۴: منحنی تغییرات دما در خروجی از اینترکولر و کمپرسور ۴۶
- شکل ۹-۴: تغییرات دبی هوا در ورودی به INTAKE MANIFOLD در دوره‌های مختلف موتور ۴۷
- شکل ۱-۵: روند مورد بررسی برای روش ضریب انتقال حرارت پایه ۵۱

- شکل ۵-۲: تغییرات ضریب انتقال حرارت در بخش تک فازی و دو فازی جریان لوله ۵۲
- شکل ۵-۳: منیفولد دود موتور دیزل ۵۵
- شکل ۵-۴: راهگاه آب منیفولد دود موتور ۵۵
- شکل ۵-۷: شرایط مرزی حل CFD راهگاه آب (۱- دیواره منیفولد دود ۲- ورودی آب ۳- خروجی آب
 ۴- انتقال حرارت جابجایی دیواره خارجی) ۵۹
- شکل ۵-۸: شرایط مرزی حل CFD منیفولد دود (۱- ورودی گاز ۲- خروجی گاز ۳- دیواره) ۵۹
- شکل ۶-۱: نرخ ضریب انتقال حرارت دیواره در دبی جرمی $3/5 \text{ kg/s}$ ۶۲
- شکل ۶-۲: نرخ ضریب انتقال حرارت دیواره در دبی جرمی 4 kg/s ۶۲
- شکل ۶-۳: نرخ ضریب انتقال حرارت دیواره در دبی جرمی $4/5 \text{ kg/s}$ ۶۳
- شکل ۶-۴: نمای طولی از خطوط جریان و گردابه‌های آن در نزدیکی خروجی جریان ۶۳
- شکل ۶-۵: خطوط آشفته جریان در نمای سه بعدی ۶۴
- شکل ۶-۶: نمایی نزدیک از توزیع دما روی لایه‌های دیواره منیفولد دود در تماس با گازهای خروجی ... ۶۴
- شکل ۶-۷: توزیع دما روی دیواره با فرض جوشش (چپ) و بدون جوشش (راست) در دبی $3/5 \text{ kg/s}$... ۶۵
- شکل ۶-۸: توزیع دما روی دیواره با فرض جوشش (چپ) و بدون جوشش (راست) در دبی 4 kg/s ۶۵
- شکل ۶-۹: توزیع دما روی دیواره با فرض جوشش (چپ) و بدون جوشش (راست) در دبی $4/5 \text{ kg/s}$ ۶۶
- شکل ۷-۱: شماتیک دستگاه استفاده شده ۶۸
- شکل ۷-۲: مدل هندسی همراه با شرط مرزی ۱- ورودی سیال، ۲- خروجی سیال ۳- دیواره حرارتی ... ۶۹
- شکل ۷-۳: نتایج تست تجربی در سرعت‌های مختلف ۶۹
- شکل ۷-۴: هندسه مش خورده ۷۰
- شکل ۷-۵: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی ($U=1.17 \text{ m/s}$) ۷۰
- شکل ۷-۶: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی ($U=0.39 \text{ m/s}$) ۷۱

فهرست جداول

- جدول ۱-۱ مقایسه مکانیزم‌های مختلف انتقال حرارت ۸
- جدول ۲-۱ تاثیر مقادیر ضد یخ بر دمای جوشش در فشارهای مختلف..... ۱۶
- جدول ۱-۷ درصد خطای محاسباتی و نتایج تجربی $U=1.17 \text{ m/s}$ ۷۱
- جدول ۲-۷ درصد خطای محاسباتی و نتایج تجربی $U=0.39 \text{ m/s}$ ۷۱

علائم و اختصارات

$y^+(L)$	دمای بی بعد در فاصله $y^+(L)$	$T_{y^+(L)}^+$	شار حرارتی $(\frac{w}{m^2})$	q
چگالی	ρ		ضریب جابجایی $(\frac{w}{m^2k})$	h
کشش سطحی	σ		گرمای نهان تبخیر $(\frac{j}{kg})$	h_{fg}
ضریب پخشندگی	ν		ظرفیت حرارتی فشار ثابت $(\frac{j}{kg.k})$	C_p
لزجت	μ		فشار متوسط (bar)	ΔP
کسر جرمی بخار	ξ		ضریب جابجایی پایه $(\frac{w}{m^2k})$	h_{Const}
			دمای دیواره (k)	T_w
			دمای اشباع سیال (k)	T_s
			ضریب تصحیح <i>Chen</i>	b
			شعاع شناوری	r_D
			شعاع جدایش	r_L
			ضریب تصحیح	ϕ
			عدد رینولدز	Re
			عدد پرانتدل	Pr
			عدد نوسلت	q
			دمای گاز (k)	h
			دمای مجاورت دیواره و سیال (k)	h_{fg}
			دمای سیال (k)	C_p
			فاصله از دیواره	$y^+(L)$

مقدمه

از میان مجموعه قطعاتی که با قرارگیری در کنار هم مجموعه واحد موتور را تشکیل می‌دهند، منیفولد دود به عنوان یکی از قطعات حساس موتور، تحت بار حرارتی بالایی به دلیل هدایت گازهای داغ خروجی از سیلندر قرار دارد. در مبحث موتورهای دریایی، با توجه به نیاز به توان بالا در حجم و وزن کمتر، بار حرارتی منیفولد دود به دلیل بالا بودن دور موتور و حجم زیاد پرخورانی، بسیار بالا می‌باشد، از این رو جهت بهبود شرایط عمل‌کردی و افزایش عمرکاری منیفولد دود و همچنین به استناد قوانین سخت‌گیرانه موسسات و سازمان‌های ناظر بر امور دریانوردی مبنی بر عدم وجود سطح داغ در موتورخانه کشتی‌ها، اقدام به خنک‌کاری با آب دریا می‌شود. در این گزارش سعی بر آن است تا با تحلیل حرارتی منیفولد دود یک موتور دیزل دریایی و مدل‌سازی سیال آب در راهگاه خنک‌کاری آن، مقادیر انتقال حرارت از دیواره لوله منیفولد به آب عبوری از راهگاه بدست آید. بدون شک به دلیل دمای بالایی که دیواره خارجی منیفلد دارد، تماس آب با آن منجر به پدیده جوشش خواهد شد. در مدل‌سازی انتقال حرارت در موتور، برآورد مناسب ضریب جابجایی حرارتی دیواره سیال از پارامترهای مهم به شمار می‌آید. در راهگاه خنک‌کاری، آب با عبور از مجاورت دیوار گرم، به دمای جوشش می‌رسد و حباب‌هایی در آن شکل می‌گیرد. فرایند تغییر فاز در پدیده جوشش منجر به جذب انرژی بیشتری توسط آب شده و کارایی سامانه خنک‌کاری را بهبود می‌بخشد. اما زمانی که سرعت سیال کم باشد، حباب‌های تشکیل شده، روی دیواره باقی مانده و تشکیل لایه بخار را می‌دهند. این پدیده خفگی جریان نام دارد. در تشکیل لایه بخار علاوه بر افزایش افت فشار سیال، به دلیل بالا بودن مقاومت حرارتی هوا، انتقال حرارت به سیال کاهش می‌یابد. به نقطه قبل از تشکیل فیلم بخار، نقطه بحرانی انتقال حرارت (CHF) گفته می‌شود. لذا به منظور بهره‌گیری از کارایی انتقال حرارت جوشش، باید با اعمال راهکارهای مناسب، هسته‌های حباب تشکیل شده را از دیواره جدا نمود. در به‌کارگیری جریان جوششی برای خنک‌کاری راهگاه دود موتور، مشکلاتی وجود دارد که به چند مورد اشاره می‌گردد:

- سامانه خنک‌کاری با پدیده جوشش به دلیل دو فاز بودن مایع خنک‌کاری، نیازمند موادی با جنس مرغوبتر و عملیات ساخت پیچیده‌تر دارد که افزایش قیمت سامانه را به دنبال دارد.
- حساسیت جریان جوششی به صافی و جنس سطح باعث عملیات ساخت پرهزینه‌تر می‌گردد.
- کنترل دینامیک حرکت سیال و تعیین دبی جریان به گونه‌ای که پدیده خفگی پیش نیاید، امر پیچیده‌ای است.

تمامی موارد اشاره شده نشان می‌دهد که طراحی راهگاه خنک‌کاری با استفاده از قابلیت انتقال حرارت جوشش، بطوریکه شرایط کارکرد از نقطه بحرانی فاصله داشته باشد، نیاز به دقت بالایی دارد. در گزارشات حاصل از بررسی جوشش در برخی مقالات بیان شده که عدم در نظر گیری این فاکتور، خصوصاً در دماهای بالا، سبب خطای قابل توجهی در محاسبات ضریب جابجایی می‌گردد.

فصل ۱ آشنایی با پدیده جوشش

با توجه به گسترش روز افزون صنعت خودروسازی در سال‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای بر روی بهینه کردن عملکرد خودرو انجام گرفته است. از آنجایی که استفاده از موتورهای احتراقی در موارد نیاز به توان کم و یا زیاد متداول است، لذا استفاده از موتورهایی با راندمان بالا که دارای وزن و حجم کم باشند، بسیار واجب و ضروری می باشد. تحقیقات زیادی در راستای کاهش وزن، افزایش راندمان حرارتی، ایجاد احتراق سالم و... صورت گرفته است. در تمام این تحقیقات بررسی تنش داخل بدنه و انتقال حرارت در بدنه بسیار ضروری می باشد. انتخاب جنس بدنه، نحوه خنک‌کاری، هندسه محفظه احتراق و ... پدیده‌هایی هستند که در این مسئله مورد توجه قرار می گیرند.

۱-۲- پدیده جوشش

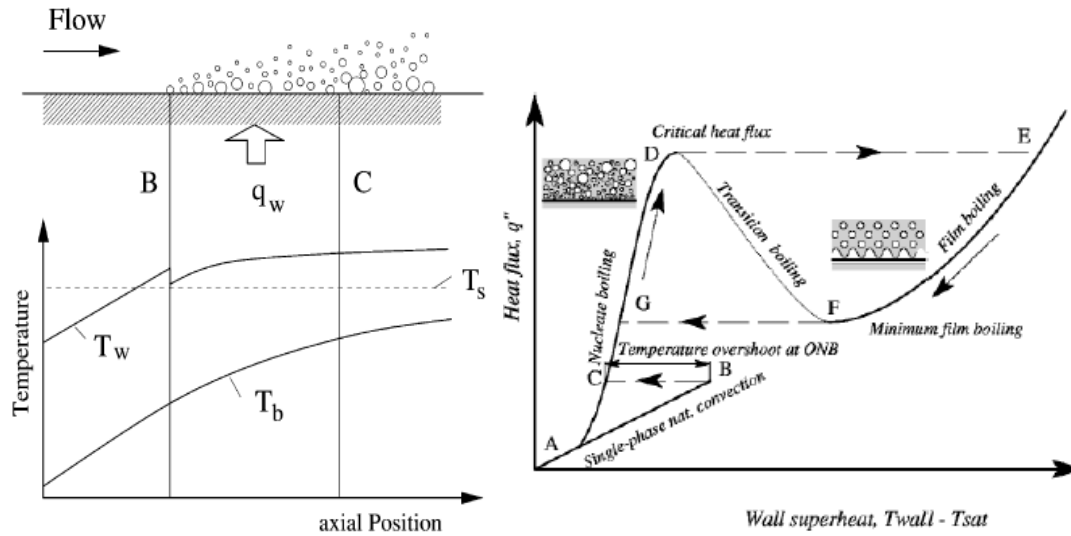
۱-۲-۱- فیزیک حاکم

تعریف سه مرحله جوشش

زمانیکه مایع خنک کننده به دیواره داغ برخورد می کند، به دلیل انتقال حرارت جابجایی، سبب بالا رفتن دمای سیال نزدیک دیواره شده و باعث ایجاد لایه مرزی و بوجود آمدن پروفیل سرعت و دما مانند شکل (۱-۱) می شود. در این حالت دمای آب نزدیک به دیواره بالاتر از دمای متوسط سیال (Bulk Temperature) می باشد. زمانی که دمای دیواره از دمای جوشش عبور می کند، سیال نزدیک دیواره به دمای جوشش می رسد. در این لحظه حباب‌هایی از بخار روی بدنه ایجاد شده و نیروهای ذیل بر حباب اعمال خواهند شد (شکل (۱-۲)):

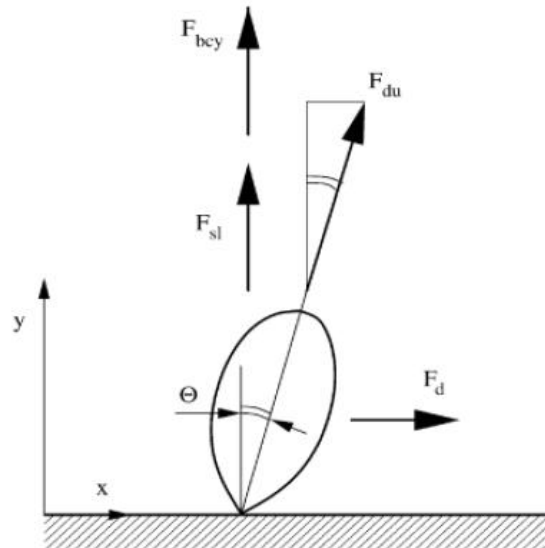
نیروی لیفت، نیروی درگ، نیروی بویانسی، نیروی افزایش حجم حباب، کشش سطحی اگر سرعت سیال و برآیند نیروها به گونه‌ای باشد که بتواند حباب را از دیواره جدا نماید، حباب، وارد ناحیه‌ای با دمای پایین تر شده و پدیده چگالش اتفاق می افتد. این رخداد دمای سیال لایه میانی را بالا برده و سبب جایگزینی سیال خنک لایه‌های بالایی به جای حباب جدا شده می شوند. با این عمل، سیال نزدیک دیواره مقدار انرژی عظیمی را جابجا می نماید. به عبارتی سیال خنک تر لایه‌های بالایی به نزدیکی دیواره گرم آمده، گرم شده و انرژی نهان برای تغییر فاز را از دیوار جذب می نماید و بعد به لایه‌های بالایی منتقل می کند. (شکل (۱-۳)). نکته مهم این می باشد که انرژی نهان جذب شده مقدار بسیار بزرگتری در مقایسه با انرژی جابجا شده توسط مکانیزم جابجایی اجباری دیواره می باشد. با افزایش دمای دیواره، تعداد حباب‌های ایجاد شده در دیواره افزایش می یابد و این امر باعث می گردد که ضریب انتقال حرارت افزایش یابد. می توان در شکل (۱-۱)، مشاهده نمود که شیب نمودار در ضریب جابجایی نسبت به دمای دیواره، مقدار بزرگتری نسبت به قسمت تک فاز می باشد. اگر سرعت تشکیل حباب از سرعت جدا شدن آن از دیواره، بیشتر باشد، باعث می شود که حبابها به هم متصل گردد و در نهایت یک لایه هوا در دیواره شکل بگیرد. به این پدیده تشکیل فیلم جوشش (Film boiling) می گویند. به فرآیند گذر از حالت تشکیل هسته حباب (Nucleate boiling) و شروع پدیده

فیلم بخار را ناحیه گذار (Transition boiling) می‌نامند. این لایه بخار به دلیل پایین بودن ضریب انتقال حرارت هدایت نسبت به پدیده‌های قبلی مانند عایق عمل کرده و باعث می‌گردد که دمای دیواره به شدت بالا رود. می‌توان این پدیده را در خط DF مشاهده نمود.



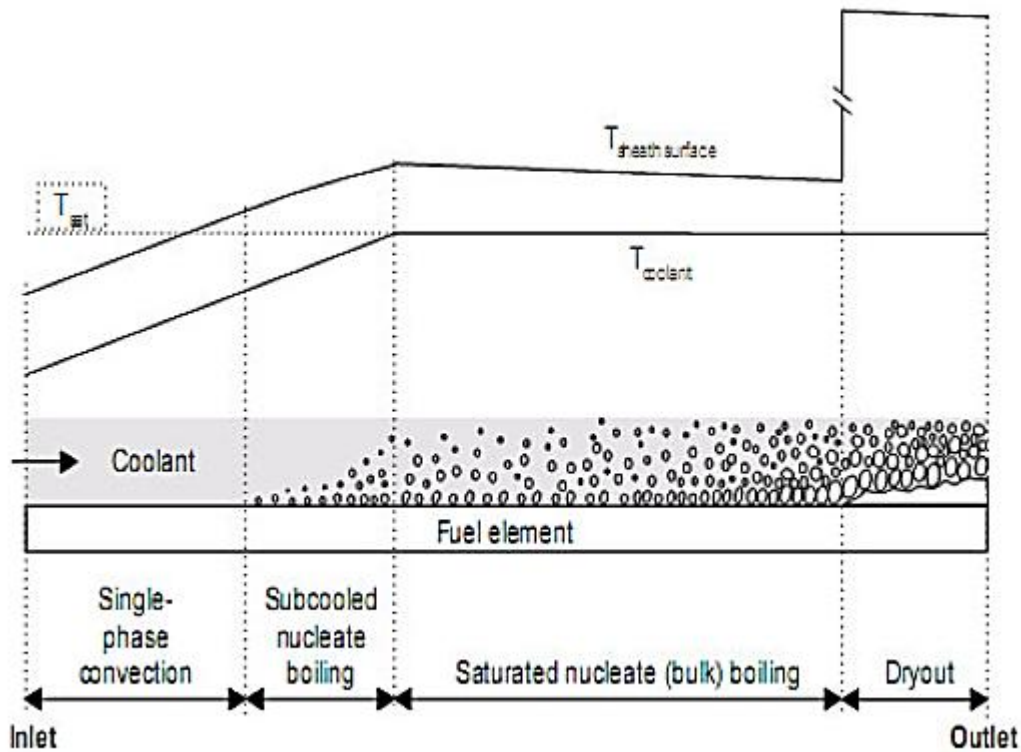
شکل ۱-۱: الف) نمودار جوشش [۶] (ب) تغییرات دمای دیواره و سیال در طول دیواره [۳۵]

شکل ۱-۱: الف) نمودار جوشش [۶]



شکل ۱-۲: نیروهای وارد بر حباب [۳۵]

در خودرو با توجه به سوختی که به موتور وارد می شود، مقدار حرارتی که باید توسط سیستم خنک کاری جابجا گردد مشخص می شود. زمانی که شار حرارتی افزایش یابد، دمای دیواره طبق خط AB افزایش می یابد، تا زمانی که حباب‌هایی در بدنه ایجاد گردد. این عمل باعث خنک شدن دیواره می شود. می توان در شکل (۱-۱) جهش مورد نظر را در خط BC مشاهده نمود. با افزایش شار حرارتی، دمای دیواره افزایش می یابد (خط CD). در این قسمت بر تعداد هسته های حباب و همچنین ابعاد آن افزوده می شود. نقطه D به عنوان انتقال حرارت بحرانی (Critical heat flux) شناخته می شود. از این پس با افزایش کمی در حرارت، باعث می شود که دمای دیواره مسیر DE را طی نماید و دما جهش بزرگی داشته باشد. این امر معمولاً باعث ایجاد یک تنش حرارتی بزرگ در قسمت جامد دیواره می گردد.



شکل ۱-۳: پروفیل دمایی و ناحیه ایجاد شده در پدیده جوشش [۶]