

مقایسه مقدار نفوذ سوخت موتور دیزل پر خوران محدود^۱ و موتور تنفس طبیعی OM314 کامیونت خاور LP608 در شرایط بار جاده

محسن قاضی خانی

استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد
Ghazikhani@ferdowsi.um.ac.ir

سیدعلی موسوی شایق*

کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد
A.M.Shayegh@gmail.com

یاسر کاشی طرقي

کارشناس مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

سیدعلی رضا دربندی زاده

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

سیدسعید سزاوار

کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

* نویسنده مسئول

پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۸۷/۰۸/۲۷

چکیده

یکی از روش‌های کاهش آلودگی دود سیاه در موتورهای دیزل تنفس طبیعی، تبدیل موتور تنفس طبیعی به موتور پر خوران محدود است، به طوری که مقدار نفوذ سوخت در این موتور به علت افزایش فشار استوانه^۲ در مقایسه با تنفس طبیعی کاهش می‌یابد. هدف از این پژوهش، یافتن مقدار کاهش نفوذ سوخت در استوانه در اثر پر خوران فشار محدود در شرایط واقعی عملکرد موتور OM314 و نیز بررسی اثر افزایش فشار تزریق سوخت بر مقدار آلاینده دود سیاه در موتور پر خوران OM314 است. بنابراین ابتدا شرایط واقعی استفاده از موتور تنفس طبیعی OM314 با استفاده از نتایج حاصل از آزمون جاده کامیونت خاور به دست آمد. پس از آزمون جاده، موتور تنفس طبیعی و پر خوران محدود OM314 در گشتاور و سرعت موتور در جاده - بر روی بستر آزمون، آزمایش شدند. سپس با استفاده از رابطه دنت متغیر^۳ جدیدی به نام نسبت نفوذ سوخت تعریف شد و با استفاده از این متغیر، تغییر مقدار نفوذ سوخت در استوانه در موتور تنفس طبیعی و پر خوران محدود در شرایط بار جاده محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد. نتایج حاصل از تحلیل نشان می‌دهند که با افزایش دمای چندراهه ورودی، نسبت نفوذ سوخت تغییر نمی‌کند؛ اما با افزایش فشار چندراهه ورودی، نسبت نفوذ سوخت کاهش یافته است. نتایج نظری نشان می‌دهند که با افزایش فشار نسبی چندراهه ورودی استوانه به میزان ۰/۲ بار در حالت پر خوران محدود، فشار تزریق سوخت به میزان ۵۰ بار جهت جبران کاهش نفوذ سوخت در موتور پر خوران محدود باید افزایش یابد. نتایج حاصل از آزمون سبزه حالت ECE-R49 نشان می‌دهند که با افزایش ۵۰ بار در فشار تزریق موتور پر خوران محدود، آلاینده دود سیاه ۱۶٪ کاهش یافته است.

واژه های کلیدی: موتور دیزل، پر خوران محدود، چندراهه ورودی، نفوذ سوخت، توان بار جاده

۱- مقدمه

چرخشی نداشته باشد؛ باعث کاهش نسبت اختلاط و افزایش آلودگی‌های ناشی از مخلوط‌های نسخته می‌گردد [۲]. از طرف دیگر کم‌تر بودن طول نفوذ سوخت از میزان طراحی شده، باعث کاهش اختلاط سوخت و هوا می‌شود.

نفوذ سوخت بر اثر تزریق در اتاق احتراق از عوامل مؤثر بر زمان احتراق و آلودگی دوده و NOx در موتورهای دیزل است [۱]. فشار زیاد سوخت در پشت سوخت‌پاش در لحظه پاشش سوخت، در سوخت تزریقی سرعت اولیه‌ای ایجاد می‌کند؛ به طوری که در اثر این سرعت اولیه، سوخت در هوای متراکم استوانه نفوذ می‌کند. در موتورهای دیزل با پاشش مستقیم سوخت (DI)، نفوذ بیش از حد سوخت در استوانه، باعث برخورد فواره سوخت تزریقی با دیواره استوانه می‌شود که خصوصاً اگر هوای تراکم حرکت

- 1- Limited Inlet Manifold Pressure Turbocharged Engine (LIMP Turbo Charged Engine)
- 2- Cylinder
- 3- Parameter

سوخت به طور مستقیم افزایش می‌یابد. کنجی آماگای و همکارانش [۴] در آزمایشی تجربی به این نتیجه دست یافتند که با عملیات پاشش به صورت دو مرحله‌ای نفوذ سوخت تزریق شده در مرحله دوم به داخل شعله حاصل از تزریق در مرحله اول باعث افزایش میزان پیشروی احتراق خواهد شد.

در تحقیقات قبلی، نویسنده مقاله دربارهٔ پرخورانی محدود موتور تنفس طبیعی OM314 به این نتیجه رسیده است که موتور تنفس طبیعی دیزل با هدف کاهش آلایندة دود سیاه بدون تغییر در نسبت تراکم و زاویه هم‌پوشانی درجه‌ها پرخوران شود. این پرخورانی با افزایش محدود فشار چندراهه ورودی همراه است و پرخوران محدود نامیده شده است [۵-۸]. این تحقیقات با انتقال نتایج به شرکت آلمانی BOGWARNER و همکاری در انتخاب و ارسال پرخوران مناسب برای پرخوران محدود همراه بوده است.

هدف از این پژوهش، یافتن مقدار کاهش نفوذ سوخت در استوانه در اثر پرخوران فشار محدود در شرایط واقعی عملکرد موتور OM314 و نیز بررسی اثر افزایش فشار تزریق سوخت بر مقدار آلایندة دود سیاه در موتور پرخوران OM314 است. در این طرح، ابتدا شرایط بار جاده برای موتور تنفس طبیعی OM314 با استفاده از آزمایش جاده به دست آمده است؛ به این ترتیب که گشتاور و توان بار جاده^۱ در بارها و دورهای مختلف کامیونت LP608 از طریق آزمون جاده استخراج شدند. سپس موتور پرخوران محدود OM314 تحت شرایط توان و بار جاده بر روی بستر آزمون، آزمایش شدند. سپس با استفاده از معادله دنت یک متغیر جدید به نام نسبت نفوذ سوخت تعریف شد و با استفاده از این متغیر میزان تغییرات نسبت نفوذ سوخت نسبت به تغییرات دمای چندراهه ورودی و تغییرات فشار استوانه در دو حالت تنفس طبیعی و پرخوران محدود، محاسبه و با هم مقایسه شدند. نصب پرخوران محدود بر روی موتور تنفس طبیعی باعث افزایش فشار محفظه استوانه در لحظه پاشش سوخت می‌شود و کاهش نفوذ سوخت را به دنبال دارد. در این طرح، مقدار افزایش فشار تزریق جدید در حالت پر خوران محدود نیز به صورت نظری محاسبه گردید. همچنین تعیین فشار بهینه‌ای برای تزریق سوخت در محفظه احتراق موتور پرخوران محدود OM314 با استفاده از آزمون سیزده حالت ECE-R49 انجام پذیرفته است.

۲- تجهیزات آزمایشگاهی و روش آزمون

۲-۱ - آزمون جاده

توان بار جاده (RLP) متغیری است که شرایط واقعی استفاده از وسیله نقلیه را در جاده مشخص می‌کند. استانداردهای اندازه‌گیری آلودگی وسایل نقلیه باید در هر کشوری با تغییرات (RLP) آن‌ها متناسب باشد. همچنین مشخصات فیزیکی جاده، جرم وسیله نقلیه، شرایط آئرودینامیک و رفتار رانندگی در میزان آلودگی تأثیر تعیین‌کننده‌ای دارند.

توان بار جاده را می‌توان با استفاده از معادله (۱) محاسبه کرد [۲]:

$$P_{RLP} = (C_r M_v g + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_v S^2 v) S_v \quad (1)$$

به طوری که

C_r : ضریب اصطکاک غلشی است و مقدار (۰/۰۱۳۵) انتخاب شده است [۹].

M_v : جرم وسیله نقلیه برحسب کیلوگرم

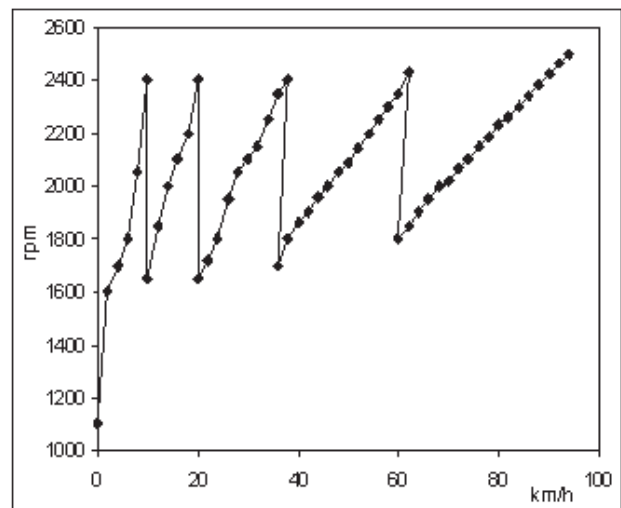
g : شتاب گرانش برحسب متر بر مجذور ثانیه

نفوذ سوخت در موتورهای دیزل تأثیر چشمگیری بر احتراق این موتورها دارد. نفوذ سوخت بهینه باعث می‌شود که تغییرات غنا (نسبت هم‌ارزی سوخت با هوا) در محفظه احتراق کمتر شود. کاهش تغییرات غنا (ϕ) در لحظه پاشش سوخت، دود سیاه را کاهش می‌دهد [۲]. مقدار بهینه نفوذ سوخت، سرعت مرحله سوم احتراق دیزل، یعنی مرحله اختلاط همراه با احتراق را افزایش می‌دهد؛ به طوری که با افزایش سرعت مرحله سوم، طول کل مدت زمان احتراق در موتورهای دیزل کاهش می‌یابد و به این طریق آلودگی ناشی از ذرات (PM) و مصرف مخصوص ترمزی سوخت (bsfc) نیز کاهش می‌یابد [۲].

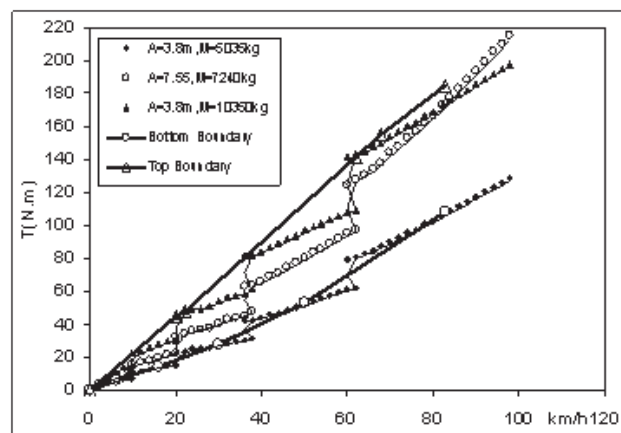
ماسارواگارا و همکارانش [۳] برای به دست آوردن اثر دمای سوخت بر نفوذ سوخت، پاشش سوخت را با دماهای مختلف بین ۳۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد آزمایش کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش دمای سوخت، مقدار پیشروی

جدول (۱) - چگالی هوا، جرم کامیون و سطح پیشانی جلو کامیون در آزمون جاده

Test No	$\rho_a (kg/m^3)$	$M_v (kg)$	$A_v (m^2)$
1	1.081	5035	3.8
2	1.060	7240	7.552
3	1.0518	10350	3.8



شکل (۱) - تغییرات سرعت موتور نسبت به سرعت کامیونت



شکل (۲) - تغییرات گشتاور موتور نسبت به سرعت کامیونت و نمایش مرز بالا و پایین

نشان داده شده است. این دو مرز نشان دهنده بیشینه و کمینه گشتاور تولیدی موتور در آزمون جاده است. برای آزمایش بر روی موتور در آزمایشگاه، پنج نقطه از مرز بالا و پنج نقطه از مرز پایین به عنوان شرایط عملکردی موتور انتخاب شده‌اند که در جداول (۲) و (۳) ارائه شده‌اند.

۲-۲- مشخصات بستر آزمایش موتور تنفس طبیعی و پرخوران محدود و روش آزمایش

شکل‌های (۳) و (۴) و جدول (۴) بستر آزمایش موتور تنفس طبیعی و پرخوران محدود و مشخصات موتورها را نمایش می‌دهند. مشخصات موتور پر خوران محدود M314 مشابه موتور تنفس طبیعی نصب شده بر روی کامیونت LP 608 است، با این تفاوت که این موتور دارای پرخوران مجهز به دریچه میانی (Waste-Gate) با بیشینه پایش فشار نسبی چندراهه ورودی معادل ۰/۲۳ بار است.

موتور در حالت تنفس طبیعی و پرخوران محدود در شرایط مربوط به جداول (۲) و (۳) که بیانگر نقاط مرز پایین و مرز بالاست، در بستر آزمون در حالت پایدار آزمایش شده است. لگام ترمز مورد استفاده در آزمایشگاه تحقیقات موتور دیزل، از نوع هیدرولیکی مدل هنن و فرود DXF با ظرفیت ۱۱۲ کیلو وات (۱۵۰ اسب بخار)، با سرعت بیشینه ۷۵۰۰ دور بر دقیقه است. سرعت دورانی موتور را دورسنج برقی به صورت نوسان ولتاژ القایی در پیچک حسگر، اندازه‌گیری می‌کند و از دماسنج (ترموکوپل) نوع K برای اندازه‌گیری دمای چندراهه ورودی استفاده شده است. برای اندازه‌گیری فشار چندراهه ورودی از فشارسنج بردن استفاده شد. همچنین از تحلیل‌گر AVL-415 برای اندازه‌گیری دود سیاه خروجی از مجرای دود استفاده شده است. متغیرهای اندازه‌گیری شده در جداول (۵-۸) ارائه شده‌اند.

۳-۲- الگوی فیزیکی نسبت نفوذ سوخت

دنت [۱] برای به دست آوردن نسبت میان مقدار نفوذ سوخت و متغیرهای وابسته به آن با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و الگوی ترکیبی فواره گاز معادله (۳) پیشنهاد کرده است:

$$S = 3.07 \left(\frac{\Delta P}{\rho_g} \right)^{\frac{1}{4}} (td_n)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{294}{T_g} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (3)$$

به طوری که S مقدار نفوذ سوخت بر حسب متر، ΔP افت فشار سوخت بر حسب پاسکال در دماغه افشانه،

P_a : چگالی هوای محیط بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب

A_v : سطح پیشانی جلوی وسیله نقلیه بر حسب مترمربع

S_v : سرعت وسیله نقلیه بر حسب متر بر ثانیه

C_D : ضریب مقاومت جریان هوا که مقدار (۰/۴) انتخاب شده است [۹]. شایان ذکر است که P_{RLP} بر حسب وات محاسبه می‌شود [۲]. برای آزمایش موتور در

$$T_{RLP} = \frac{P_{RLP} 60}{2\pi N} \quad (2)$$

گشتاور T_{RLP} ، گشتاور بار جاده به نیوتن متر، N سرعت موتور بر حسب دور بر دقیقه و P_{RLP} مقدار توان جاده بر حسب وات است.

کامیونت خاور در سه ظرفیت مختلف در جاده، آزمایش شد. در هر آزمون جاده، تغییرات سرعت موتور و سرعت کامیونت در وضعیت‌های مختلف جعبه دنده ثبت گردیده است. مشخصات کامیونت در هر آزمایش جاده در جدول (۱) آمده است.

شکل (۱) تغییرات سرعت موتور را نسبت به سرعت خودرو در وضعیت دنده‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ نشان می‌دهد. شکل (۲) تغییرات گشتاور بار جاده را نسبت به سرعت خودرو در وضعیت دنده‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ نشان می‌دهد. در این شکل محدوده گشتاور بار جاده موتور را در شرایط واقعی کار در جاده به صورت دو مرز بالا و پایین نمایش داده است. در واقع بین این دو مرز، محدوده عملکرد موتور در آزمون جاده

جدول (۲) - نقاط مورد آزمایش در مرز پایین.

Point	T_{RLP} (N.m)	N (rpm)
1	6	1800
2	14	2100
3	28	2100
4	53	2000
5	108	2300

جدول (۳) - نقاط مورد آزمایش در مرز بالا

Point	T_{RLP} (N.m)	N (rpm)
1	45	1650
2	48	1720
3	142	1800
4	155	2000
5	185	2350

جدول (۴) - مشخصات موتور تنفس طبیعی و پرخوران محدود OM314

دیزل چهار زمانه، چهار استوانه و از نوع تزریق مستقیم	
سرعت دورانی بیشینه	۲۸۰۰ دور بر دقیقه
توان تولیدی بیشینه	۸۵ اسب بخار
گشتاور تولیدی بیشینه	۲۳۵ نیوتن متر
نسبت تراکم	۱:۱۷
قطر استوانه	۹۷ میلی متر
طول سیلندر	۱۲۸ میلی متر
حجم جابجایی	۳/۷۸ لیتر
فشار متوسط مؤثر	۶/۸ بار در ۲۸۰۰ دور بر دقیقه
فشار تزریق سوخت افشانه	۲۰۰ bar

جدول (۴) - نقاط مورد آزمایش در مرز بالا در حالت تنفس طبیعی

ردیف	S/S _R	P _{cy} (bar)	Torque (N.m)	N (rpm)	T _o (°C)	P _o (bar)	P _{man} (bar)	T _{man} (°C)
۱	۱	۳۸/۴۶	۴۵	۱۶۵۰	۱۳	۰/۹۶۷	۰/۹۶۷	۱۶
۲	۱	۳۸/۴۶	۴۸	۱۷۲۰	۱۳/۵	۰/۹۶۷	۰/۹۶۷	۱۷/۵
۳	۱	۳۸/۴۶	۱۴۲	۱۸۰۰	۱۴	۰/۹۶۷	۰/۹۶۷	۱۸/۵
۴	۱	۳۸/۴۶	۱۵۵	۲۰۰۰	۱۴/۵	۰/۹۶۷	۰/۹۶۷	۲۱
۵	۱	۳۸/۴۶	۱۸۵	۲۳۵۰	۱۵/۸	۰/۹۶۷	۰/۹۶۷	۲۲

t زمان لازم برای پاشش سوخت بر حسب ثانیه،

d_n قطر دماغه افشانه بر حسب متر،

ρ_g چگالی گاز در محیط تزریق بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب،

T_g دمای گاز در محیط تزریق بر حسب کلون است.

این معادله بیان می کند که با افزایش چگالی و دمای گاز درون محفظه احتراق مقدار نفوذ سوخت کاهش می یابد. از طرفی افزایش فشار پاشش می تواند باعث افزایش مقدار نفوذ سوخت شود. البته با افزایش فشار تزریق، ممکن است فواره سوخت زودتر از هم گسیخته شده، یا باعث برخورد فواره با دیواره ها شود.

همچنین هیرو یاسو و همکاران یک معادله آزمایشگاهی برای تعیین نوک فواره سوخت به صورت (۴ و ۵) پیشنهاد کرده اند:

$$t < t_{break} \quad S = 0.39 \left(\frac{2\Delta P}{\rho_l} \right)^{\frac{1}{2}} t \quad (4)$$

$$t > t_{break} \quad S = 2.95 \left(\frac{\Delta P}{\rho_g} \right)^{\frac{1}{4}} (td_n)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

به طوری که

$$t_{break} = \frac{29\rho_l d_n}{(\rho_g \Delta P)^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

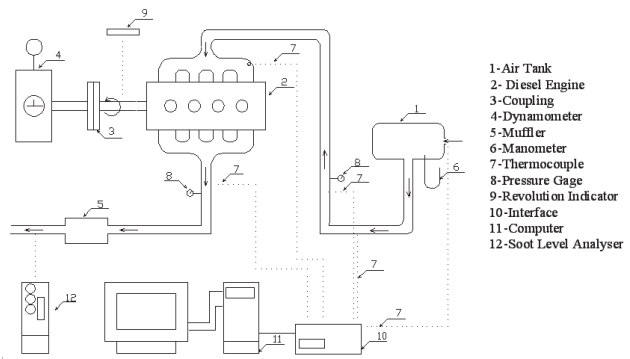
در معادله (۴)، چگالی سوخت مایع است. در این معادله، در حالتی که زمان پاشش کوچک تر از زمان شکست باشد، اثر چگالی گاز به طور مستقیم در معادله وارد نمی شود. چون هدف از این تحقیق بررسی اثر افزایش چگالی گاز درون محفظه احتراق - که در اثر پرخورانی حاصل شده است - بر مقدار نفوذ سوخت در استوانه است؛ بنابراین به نظر می رسد که استفاده از معادله دنت در این تحقیق برای محاسبه نسبت نفوذ سوخت از دقت بزرگ تری برخوردار باشد که مبنای محاسبات قرار گرفته است.

۲-۴ - تعریف نسبت نفوذ سوخت ($\frac{S}{S_R}$)

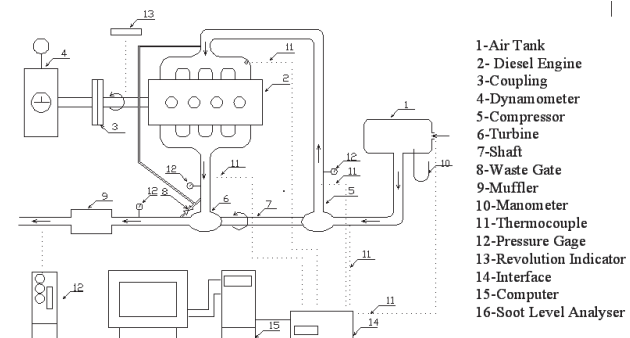
حاصل تقسیم مقدار نفوذ سوخت در استوانه موتور در شرایط واقعی به مقدار نفوذ سوخت در استوانه موتور در شرایط مرجع، نسبت نفوذ سوخت نامیده شده که طبق معادله (۷) تعریف می شود. در این تحقیق حالت مرجع موتور تنفس طبیعی و حالت واقعی موتور پرخوران محدود است.

$$\frac{S}{S_R} = \frac{3.07 \left(\frac{\Delta P}{\rho_g} \right)^{\frac{1}{4}} (td_n)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{294}{T_g} \right)^{\frac{1}{4}}}{3.07 \left(\frac{\Delta P_R}{\rho_{gR}} \right)^{\frac{1}{4}} (td_n)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{294}{T_{gR}} \right)^{\frac{1}{4}}} \quad (7)$$

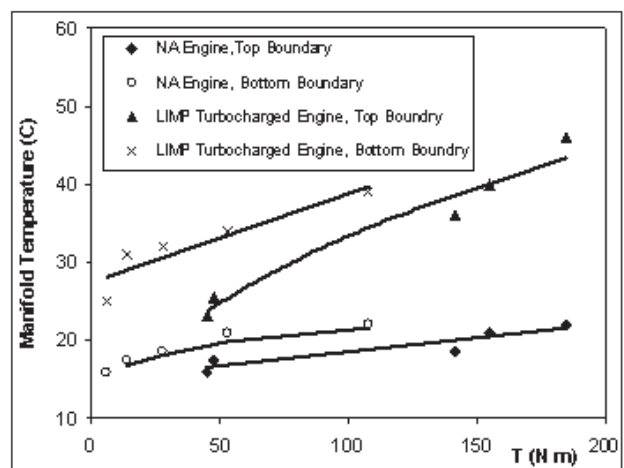
برای محاسبه نسبت نفوذ سوخت با توجه به معادله (۷) این فرضیات در نظر گرفته شده است.



شکل ۳ - بستر آزمون موتور در حالت تنفس طبیعی



شکل ۴ - بستر آزمون موتور در حالت استفاده از پرخوران



شکل ۵ - تغییرات دمای هوای چندراهه ورودی در شرایط پرخوران محدود و تنفس طبیعی در مرز بالا و پائین

۲-۵-۳- فشار استوانه در انتهای تراکم در شرایط مرجع از معادله هم‌انترپوی

محاسبه می‌شود:

$$P_g = P_{man} \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{1.3} \quad (8)$$

P_g بیانگر فشار محفظه احتراق در لحظه پاشش سوخت (انتهای تراکم)، $\left(\frac{V_1}{V_2} \right)$ نسبت تراکم موتور که برابر با ۱۷ بوده و P_{man} فشار چندراهه ورودی است.

۴-۳-۲- فشار تزریق مرجع برابر فشار تزریق در موتور OM314 بوده، معادل ۲۰۰ بار است. تزریق سوخت در شرایط مرجع در نقطه مکث بالا انجام می‌شود.

۲-۶- فرضیات شرایط واقعی (موتور پرخوران محدود)

۲-۶-۱- فشار و دمای استوانه در انتهای زمان تنفس معادل با فشار و دمای چندراهه ورودی در شرایط واقعی است.

۲-۶-۲- فشار استوانه در انتهای تراکم در شرایط واقعی از معادله هم‌انترپوی (۴) محاسبه می‌شود.

۲-۶-۳- تزریق سوخت در نقطه مکث بالا انجام می‌شود.

۲-۶-۴- مدت و مقدار تزریق معادل با شرایط مرجع است.

۲-۶-۵- قطر دماغه افشانه در شرایط واقعی معادل با قطر نازل در شرایط مرجع است.

طبق معادله گاز کامل چگالی گاز درون استوانه در حالت مرجع و واقعی از معادله (۶) محاسبه می‌شوند:

$$\rho_g = \frac{P_g}{RT_g} \quad (9)$$

با فرض فرآیند تراکم هم‌انترپوی فشار محفظه احتراق در انتهای تراکم برای حالت واقعی و حالت مرجع از معادله (۱۰) محاسبه می‌شوند.

$$\frac{P_g}{P_{man}} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{1.3} \quad (10)$$

دمای استوانه در انتهای تراکم با توجه به فرضیات محاسبه و مشخصات موتور، به صورت (۱۱) تعیین می‌شود:

$$\frac{T_g}{T_{man}} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{0.3} \quad (11)$$

در لحظه پاشش سوخت با در نظر گرفتن فشار مطلق، افت فشار سوخت در سوخت‌پاش به صورت (۱۲) به دست می‌آید:

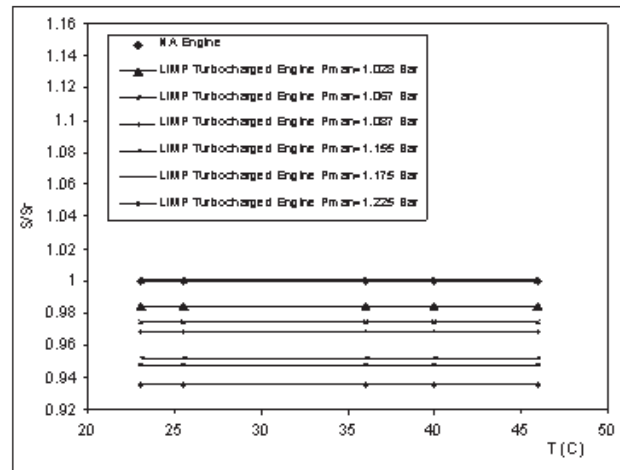
$$\Delta P = (200 + P_o) - P_g \quad (12)$$

با قراردادن مقادیر چگالی و دمای محفظه احتراق و افت فشار سوخت در دماغه

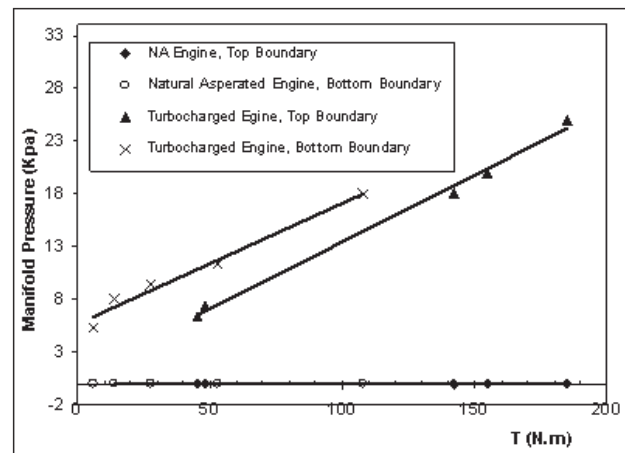
۲-۵- فرضیات شرایط مرجع (موتور تنفس طبیعی)

۲-۵-۱- دمای چندراهه ورودی در شرایط مرجع ۱۵ درجه سانتیگراد و فشار آن معادل فشار محیط است. این فشار برابر با فشار چندراهه ورودی در موتور تنفس طبیعی است که به عنوان حالت مرجع در نظر گرفته شده است.

۲-۵-۲- فشار و دمای استوانه در انتهای زمان تنفس معادل با فشار و دمای چندراهه ورودی است.



شکل ۶- تغییرات نسبت نفوذ سوخت در موتور تنفس طبیعی و پرخوران با تغییرات دمای چندراهه ورودی در لحظه تزریق سوخت، فشار تزریق ۲۰۰ bar



شکل ۷- تغییرات فشار نسبی چندراهه ورودی در شرایط پرخوران محدود و تنفس طبیعی در مرز بالا و پایین

جدول (۵)- نقاط مورد آزمایش در مرز پایین در حالت تنفس طبیعی

ردیف	S/S_R	P_{cy} (bar)	Torque (N.m)	N (rpm)	T_o (°C)	P_o (bar)	P_{man} (bar)	T_{man} (°C)
۱	۱	۳۸/۴۶	۶	۱۸۰۰	۱۲	۰/۹۶۷	۰/۹۶۷	۱۷
۲	۱	۳۸/۴۶	۱۴	۲۱۰۰	۱۶	۰/۹۶۷	۰/۹۶۷	۲۰
۳	۱	۳۸/۴۶	۲۸	۲۱۰۰	۱۷	۰/۹۶۷	۰/۹۶۷	۲۰
۴	۱	۳۸/۴۶	۵۳	۲۱۰۰	۱۷	۰/۹۶۷	۰/۹۶۷	۲۰
۵	۱	۳۸/۴۶	۱۰۸	۲۳۰۰	۱۷	۰/۹۶۷	۰/۹۶۷	۲۰

۳- بحث و نتیجه گیری

۳-۱ - اثر افزایش دما بر نسبت نفوذ سوخت

با توجه به معادله (۱۳) مشاهده می شود نسبت نفوذ سوخت مستقل از تغییر دماست. شکل (۵) نشان می دهد که با افزایش گشتاور اعمالی به موتور، دمای چندراهه ورودی افزایش می یابد. همان طور که ملاحظه می شود برای موتور تنفس طبیعی این تغییرات با افزایش گشتاور چندان زیاد نیست؛ اما همواره دمای چندراهه ورودی در حالت پرخوران محدود بیشتر از دما در شرایط تنفس طبیعی است.

شکل (۶) نشان می دهد نسبت نفوذ سوخت در موتور پرخوران کمتر از نسبت نفوذ سوخت در موتور تنفس طبیعی است؛ اما در همه شرایط مستقل از دمای چندراهه ورودی و دمای استوانه است. مستقل بودن نسبت نفوذ سوخت را با تغییرات دمای استوانه به این صورت می توان توضیح داد که با افزایش دمای هوا، حرکات مولکولی آن افزایش می یابد. افزایش حرکات مولکولی هوا در محفظه استوانه می تواند باعث کاهش نفوذ سوخت تزریقی شود. باید توجه داشت در فشار ثابت استوانه در لحظه تزریق سوخت، با افزایش دما، چگالی هوا کاهش می یابد. کاهش چگالی می تواند باعث افزایش نفوذ سوخت تزریقی در استوانه باشد. در نهایت می توان به این ترتیب نتیجه گیری کرد که افزایش نسبت نفوذ سوخت بر اثر کاهش چگالی هوا معادل با کاهش نسبت نفوذ سوخت بر اثر افزایش حرکات مولکولی (ناشی از افزایش دما) شده است؛ به طوری که می تواند اثر یکدیگر را خنثی کنند.

۳-۲ - اثر افزایش فشار استوانه بر نفوذ سوخت

شکل (۷) نشان می دهد که در موتور تنفس طبیعی فشار چندراهه ورودی همواره برابر با فشار جو است؛ اما در موتور پرخوران محدود با افزایش گشتاور اعمالی به موتور فشار چندراهه ورودی افزایش می یابد. با استفاده از معادله (۱۳) اثر افزایش فشار چندراهه ورودی بر نسبت نفوذ سوخت محاسبه شده و در شکل (۸) تغییرات نسبت نفوذ سوخت برای موتور تنفس طبیعی و دو حالت پرخوران محدود در شرایط توان بار جاده مقایسه شده است.

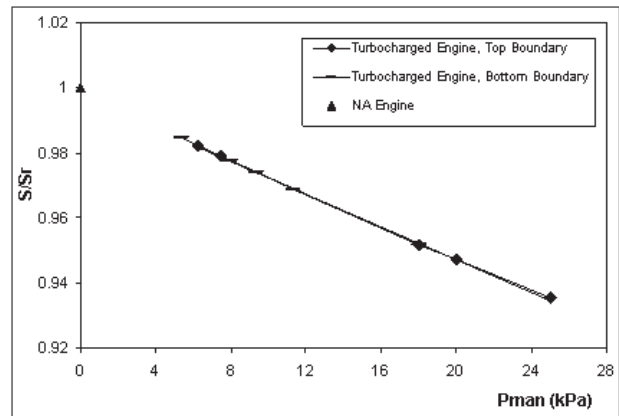
در معادله (۱۴) نمونه محاسبه نسبت نفوذ سوخت برای نقطه (۵) از جدول (۶) در حالت پرخوران محدود نمایش داده شده است. برای موتور در حالت تنفس طبیعی با توجه به این که فشار چندراهه ورودی برابر با فشار جو است، نسبت نفوذ سوخت برابر با یک است.

$$\frac{S}{S_R} = \left[\frac{(200 + 0.975) - 1.225(17)^{1.3}}{(200 + 0.975) - 0.975(17)^{1.3}} \right]^{\frac{1}{4}} \left[\frac{0.975}{1.225} \right]^{\frac{1}{4}} = 0.930 \quad (14)$$

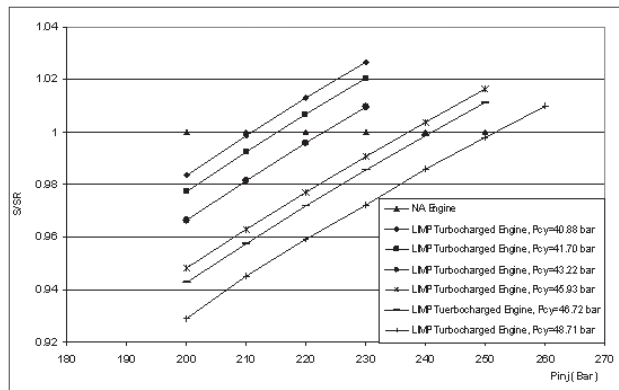
در شکل (۸) می بینید که با افزایش فشار چندراهه ورودی بیشتر از فشار مربوط به مقدار مرجع، یعنی حالت تنفس طبیعی، فشار هوا در انتهای تراکم نیز بیشتر از فشار انتهای تراکم در حالت مرجع می گردد. این افزایش فشار در انتهای تراکم نسبت نفوذ سوخت را در استوانه کاهش می دهد. در موتور پرخوران همواره با افزایش فشار چندراهه و فشار استوانه نسبت نفوذ سوخت کاهش می یابد که به علت افزایش چگالی گاز درون استوانه است. کاهش نسبت نفوذ سوخت در شرایط پرخورانی ضرورت بازنگری در فشار تزریق موتورهای دیزل پرخوران شده را تأیید می کند.

۳-۳ - اثر افزایش فشار تزریق سوخت بر نسبت نفوذ سوخت

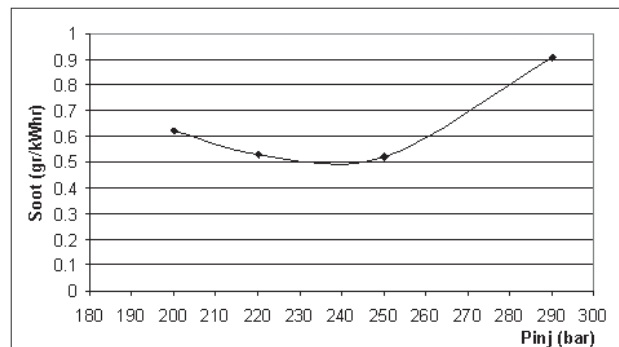
میزان پیشروی سوخت در استوانه متناسب با فشار تزریق سوخت است، به گونه ای که با افزایش فشار تزریق، میزان پیشروی افزایش می یابد. در موتور پرخوران محدود



شکل ۸- تغییرات نسبت نفوذ سوخت در موتور تنفس طبیعی و پرخوران با تغییرات فشار نسبی چندراهه ورودی، فشار تزریق ۲۰۰ bar



شکل ۹- نمودار تغییرات نسبت نفوذ سوخت برحسب افزایش فشار تزریق سوخت در موتور پرخوران محدود



شکل ۱۰- نمودار تغییرات تولید آلاینده دود سیاه برحسب افزایش فشار تزریق سوخت در موتور پرخوران محدود بر حسب آزمون ECE-R49

افشانه در لحظه پاشش در معادله (۷) و اعمال فرضیات ذکر شده در بخش (۳-۲) و (۳-۳)، نسبت نفوذ سوخت در داخل استوانه در انتهای مرحله تراکم به صورت معادله (۱۳) حاصل می شود:

$$\frac{S}{S_R} = \left[\frac{(200 + P_o) - P_{man}(17)^{1.3}}{(200 + P_o) - P_o(17)^{1.3}} \right]^{\frac{1}{4}} \left[\frac{P_o}{P_{man}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (13)$$

به کمک معادله (۱۳)، نسبت نفوذ سوخت ($\frac{S}{S_R}$) برای حالت تنفس طبیعی و پرخوران در شرایط مرز بالا و مرز پایین محاسبه شده که به ترتیب در جدول های (۴) الی (۷) ارائه گردیده است.

جدول (۶) - نقاط مورد آزمایش در مرز بالا در حالت پرخوران محدود

ردیف	S/S _R	P _{cy} (bar)	Torque (N.m)	N (rpm)	T _o (°C)	P _o (bar)	P _{man} (bar)	T _{man} (°C)	T _{cy} (°C)
۱	.۹۸۱	۴۱/۲۳	۴۵	۱۶۵۰	۱۰	۰/۹۷۵	۱/۰۳۷	۲۳	۴۱۹/۶۴
۲	.۹۷۷	۴۱/۷۰	۴۸	۱۷۲۰	۱۱.۵	۰/۹۷۵	۱/۰۴۹	۲۵.۵	۴۲۵/۴۹
۳	.۹۶۸	۴۵/۹۴	۱۴۲	۱۸۰۰	۱۵	۰/۹۷۵	۱/۱۵۵	۳۶	۴۵۰
۴	.۹۶۳	۴۶/۷۲	۱۵۵	۲۰۰۰	۱۷	۰/۹۷۵	۱/۱۷۵	۴۰	۴۵۹/۴۹
۵	.۹۳۰	۴۸/۷۱	۱۸۵	۲۳۵۰	۱۹	۰/۹۷۵	۱/۲۲۵	۴۶	۴۷۲/۴۶

جدول (۷) - نقاط مورد آزمایش در مرز پایین در حالت پرخوران محدود

ردیف	S/S _R	P _{cy} (bar)	Torque (N.m)	N (rpm)	T _o (°C)	P _o (bar)	P _{man} (bar)	T _{man} (°C)	T _{cy} (°C)
۱	.۹۸۴	۴۰.۸۸	۶	۱۸۰۰	۱۲	.۹۷۵	۱/۰۲۸	۲۵	۴۲۴/۱۹
۲	.۹۷۶	۴۱.۹۱	۱۴	۲۱۰۰	۱۶	.۹۷۵	۱/۰۵۴	۳۱	۴۳۸/۲۳
۳	.۹۷۲	۴۲.۴۴	۲۸	۲۱۰۰	۱۷	.۹۷۵	۱/۰۶۷	۳۲	۴۴۰/۵۶
۴	.۹۶۶	۴۳.۲۲	۵۳	۲۱۰۰	۱۷	.۹۷۵	۱/۰۸۷	۳۴	۴۴۵/۲۵
۵	.۹۶۸	۴۵.۹۳	۱۰۸	۲۳۰۰	۱۷	.۹۷۵	۱/۱۵۵	۳۹	۴۵۷

این افزایش فشار بسته به فشار محفظه احتراق بین ۱۰ bar تا ۵۲ bar محاسبه شده است. در این تحقیق، تعیین فشار بهینه‌ای برای تزریق سوخت در محفظه احتراق موتور پرخوران محدود OM314 با استفاده از آزمون سیزده حالت ECE-R49 انجام پذیرفته است.

شکل (۱۰) که با استفاده از آزمون سیزده حالت ECE-R49 رسم شده، نشان می‌دهد با افزایش فشار تزریق، آلایندگی دود سیاه بتدریج کاهش می‌یابد تا به کمترین مقدار خود برسد و سپس با افزایش بیشتر فشار تزریق سوخت، مقدار آلایندگی دود سیاه افزایش می‌یابد. با افزایش بیشتر فشار سوخت به بیش از مقدار بهینه، احتمال از هم پاشیده شدن سریع فواره سوخت و نیز برخورد به دیواره افزایش می‌یابد که باعث افزایش آلایندگی دود سیاه می‌شود. شکل (۱۰) نشان می‌دهد که فشار تزریق ۲۵۰ bar کمترین آلایندگی دود سیاه را تولید می‌کند که با اعمال این فشار تزریق، آلایندگی دود سیاه ۱۶٪ نسبت به فشار تزریق ۲۰۰ bar کاهش نشان می‌دهد. این نتایج آزمایشگاهی صحت استفاده از معادله نسبت نفوذ سوخت برای تعیین مقدار اولیه افزایش فشار تزریق سوخت را بیان می‌کند.

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق، تغییر مقدار نفوذ سوخت در موتور پرخوران محدود OM314 با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و نظری بررسی شده که نتایج به دست آمده عبارتند از:

- ۱- افزایش دمای استوانه در انتهای تراکم به علت افزایش جنبش‌های مولکولی هوای متراکم باعث کاهش نفوذ سوخت می‌شود؛ اما به علت کاهش چگالی هوا نفوذ سوخت را افزایش می‌دهد. تأثیر متقابل این دو متغیر در اتاق احتراق موتورهای دیزل به گونه‌ای است که افزایش دمای استوانه در انتهای تراکم تأثیری بر نفوذ سوخت ایجاد نمی‌کند.

فشار استوانه در انتهای مرحله تراکم بیشتر از حالت تنفس طبیعی است. این امر باعث کاهش مقدار پیشروی سوخت می‌شود. برای جلوگیری از کاهش نفوذ سوخت، فشار تزریق در موتور پرخوران محدود باید به گونه‌ای افزایش یابد تا مقدار پیشروی سوخت به حالت بهینه جدید برسد.

در شکل (۹) مقدار افزایش فشار سوخت پاش برای رسیدن به نسبت نفوذ سوخت معادل با یک (S/S_R=1) برای نقاط مرز بالا و مرز پایین رسم شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، نقاط برخورد منحنی تغییرات نسبت نفوذ سوخت با خط افقی نسبت نفوذ سوخت یک، میزان افزایش فشار تزریق سوخت لازم در حالت پرخورانی موتور را برای مرزهای بالا و پایین نمایش می‌دهند. به عنوان مثال، در حالتی که فشار استوانه در انتهای تراکم برابر 93/45 bar است، فشار تزریق مورد نیاز برای رسیدن به نسبت نفوذ برابر با یک، ۲۳۶ bar است. شایان ذکر است که فشار تزریق در حالت مرجع، یعنی تنفس طبیعی، ۲۰۰ bar است.

همچنین ملاحظه می‌شود با افزایش فشار استوانه که به علت پرخورانی محدود، حاصل شده است، مقدار فشار تزریق مورد نیاز نیز افزایش می‌یابد. با توجه به نمودار فشار تزریق مورد نیاز برای نسبت نفوذ سوخت برابر با یک (S/S_R=1) در موتور پرخوران محدود از ۲۱۰ bar تا ۲۵۲ bar است. میزان بهینه افزایش فشار تزریق، باید با آزمایش استاندارد اندازه‌گیری میزان آلایندگی موتور پرخوران محدود انتخاب شود که در ادامه مقاله بررسی می‌شود.

۳-۴ - بررسی آزمایشگاهی افزایش فشار تزریق بر میزان آلایندگی دود سیاه موتور پرخوران محدود

در بخش قبل ذکر گردید که برای جبران مقدار کاهش نفوذ سوخت ناشی از افزایش فشار محفظه احتراق در موتور پرخوران محدود، فشار تزریق باید افزایش یابد که مقدار

۳- مقدار افزایش فشار تزریق، با آزمون استاندارد اندازه‌گیری میزان آلاینده‌ها در موتور پرخوران محدود و مشخص نمودن فشار بهینه برای کمترین میزان آلاینده دود سیاه با استفاده از آزمون سیزده حالت ECE-R49 تعیین گردیده که این مقدار برابر با ۵۰ bar برای این موتور است.

۲- فشار تزریق در موتور دیزل پرخوران محدود باید به گونه‌ای افزایش یابد که اثر افزایش فشار استوانه در لحظه تزریق را خنثی کند. نتایج نظری نشان می‌دهند، به به میزان ۰/۲ بار افزایش فشار بیشینه چن‌دراهه ورودی فشار تزریق به مقدار ۵۰ bar باید افزایش یابد.

نمادها و نشانه‌ها

DI	تزریق مستقیم	P_{RLP}	توان جاده (kW)
ϕ	غنا (نسبت هم ارزی سوخت و هوا)	S	نفوذ سوخت
PM	ذرات معلق	ΔP	افت فشار سوخت در دماغه افشانه (Pa)
$bsfc$	مصرف مخصوص سوخت ترمزی (g/kWh)	t	زمان پاشش سوخت (s)
RLP	توان بار جاده‌ای	d_n	قطر دماغه (m)
C_r	ضریب اصطکاک غلتشی	S_r	نفوذ سوخت در شرایط مینا
M_v	جرم وسیله نقلیه (kg)	P_{man}	فشار چن‌دراهه ورودی
g	شتاب گرانش زمین (m/s^2)	P_g	فشار محفظه احتراق در زمان پاشش سوخت
ρ_g	چگالی هوای ورودی (kg/m^3)	ρ_g	چگالی گاز داخل استوانه (kg/m^3)
A_v	سطح پیشانی جلوی وسیله نقلیه (m^2)	T_{man}	دمای گاز در محل تزریق (K)
S_v	سرعت وسیله نقلیه (m/s)	T_g	دمای گاز در محل تزریق (K)
T_{RLP}	گشتاور بار جاده‌ای موتور (N-m)	ρ_l	چگالی سوخت مایع (kg/m^3)
N	سرعت موتور (rpm)	P_o	فشار محیط (Pa)

منابع

- 1- Ishiwata, H. "Recent Progress in High Pressure Injection and Rate Shaping Technology for Diesel In-Inline Pumps", Int. Symp., On Advanced Spray Combustion, Hiroshima, Japan, 1994, 71-78.
- 2- Heywood, J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Series in Mechanical Eng., 1988.
- 3- Masaru, Ogara., and Shoji, Yamada. Effect of Fuel Temperature on Spray Characteirstics of Diesel Spray Impinging on a Ringed Wall, Nippon Institute of Technology Science University of Tokyo, 2001.
- 4- Kenji, Amagai., and Yukihiro, Hashimoto. "Ignition and Combustion Characteristics of Two-Stage Injection Diesel Spray", Department of Mechanical System Engineering, Tokyo, 1998.
- ۵- بوسفی، افشین. «بررسی اثر پرخورانی فشار محدود روی کاهش دود سیاه در موتورهای تنفس طبیعی»، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد به راهنمایی دکتر محسن قاضی‌خانی، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مکانیک، بهمن‌ماه ۱۳۷۸.
- ۶- صباراده، علی. «تاثیر سوپر شارژ و تغییرات فشار مینفولد بر میزان دود سیاه و عملکرد موتور دیزل OM314»، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد به راهنمایی دکتر محسن قاضی‌خانی، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مکانیک، مهرماه ۱۳۸۲.
- ۷- داورپناه، مجید. «بررسی تاثیر تغییرات بازه عملکرد WASTE GATE به جهت کاهش آلودگی دود سیاه در موتورهای توربوشارژ دیزلی»، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد به راهنمایی دکتر محسن قاضی‌خانی، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مکانیک، خردادماه ۱۳۸۴.
- 8- Bosch: Automotive handbook, 2nd English edition, Robert Bosch GmbH, Stuttgart, 1986.