نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ – کرج

ارائه مدلی از منیفولد دود تحت مکش

سید مجید غیوری[۱]، اسدالله اکرم[۲]*، مجید خانعلی[۳]

۱ و ۲ – به ترتیب دانشجو کارشناسی ارشد ، استادیار و دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران

ایمیل مکاتبه کننده: Majid.ghauori@ut.ac.ir

چکیده

امروزه برای افزایش نسبت تراکم و در نتیجه افزایش توان موتورهای احتراق داخلی از دو سیستم معروف سوپرشارژ و توربوشارژ استفاده می‌کنند. در سوپرشارژها توان خروجی از میل لنگ کاهش و نیز در دورهای بالای موتور،کوبش به شدت افزایش می‌یابد. به همین دلیل سیستم مکمل آن توربوشارژ ارائه شد. با این حال در سیستم توربوشارژ نیز معایبی وجود دارد. در سیستم توربوشارژها، پره‌های توربین کمپرسور توربوشارژ جلوی جریان خروجی دود از چندراهه دود را می‌گیرند و اجازه تخلیه کامل سیلندرها را نمی‌دهند در نتیجه حجم زیادی دود در مخلوطی که باید مترااکم شود باقی می‌ماند. در این مطالعه، معایب سیستم‌های کنونی افزایش توان مطرح و طرحی جدید برای رفع این معایب ارائه شده است. طرح مدنظر مدلی از چندراهه دود می‌باشد که با استفاده از مکش، دود حاصل از احتراق را با سرعت از سیلندرها خارج می‌کند. این مدل به عنوان یک نظریه در این مقاله مطرح شده است. مدل شبیه به سیستم توربوشارژ اما با عملکردی برعکس می‌باشد. در این طرح ثابت می‌شود که جرم مخلوط ورودی به سیلندرها افزایش و درنتیجه می‌توان با موتور کم حجم‌تر توانی برابر موتور اصلی بدست آورد.

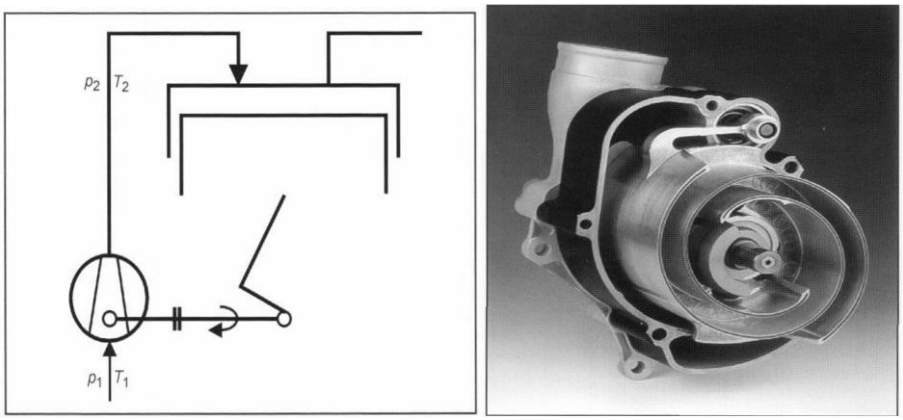
واژه‌های کلیدی: موتور احتراق داخلی، توربوشارژ، مکش، چندراهه دود

مقدمه

یکی از راه‌های کاهش آلاینده‌های موتور (NO_X , CO_2 , ...) و مصرف سوخت افزایش بازده‌ی موتور می‌باشد. در این راستا امروزه کاهش ظرفیت و گنجایش موتور مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. کاهش ظرفیت و گنجایش موتور زمانی کارآمدتر است که باعث افزایش فشار موثر متوسط ترمزی (Brake Mean Effective Pressure) شود. یکی از راه‌های افزایش فشار موثر متوسط ترمزی استفاده از پرخوران (Supercharging) است. موتورهایی که فشار هوای ورودی آن‌ها بیشتر از فشار اتمسفر است موتورهای پرخوران شده نامیده می‌شوند(ریچارد و اسچافر ۱۹۹۷).

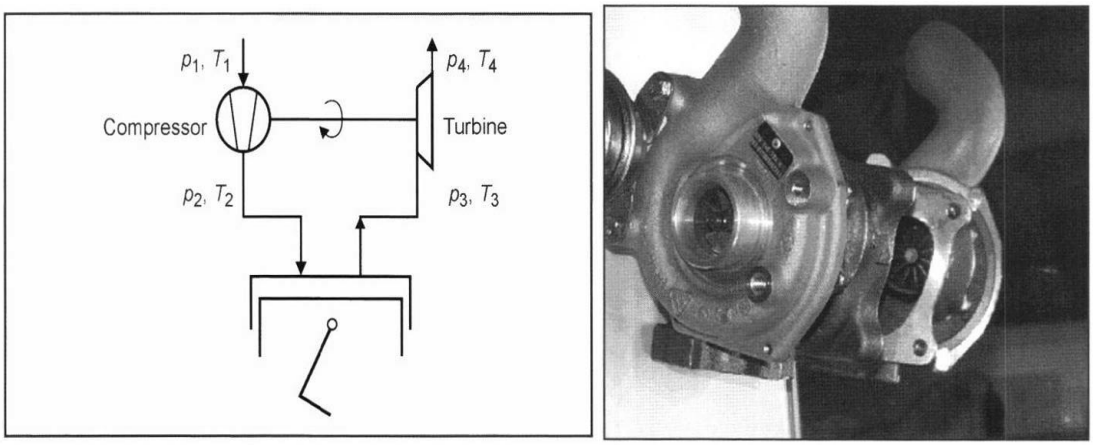
دو نوع سیستم پرخوران شناخته شده امروزی که اکثر تولید کنندگان موتورهای درونسوز برای افزایش توان موتور تولیدی استفاده می‌کنند سوپرشارژها و توربوشارژها می‌باشند. سوپرشارژ دمنده‌ای است که توان محرک پره‌های توربین کمپرسور

خود را از تسمه متصل به میل لنگ می‌گیرد و فشار هوای ورودی به چندراهه را افزایش می‌دهد. اما با این حال توان خروجی از میل لنگ را کاهش داده و در دورهای بالا باعث پدیده کوبش می‌شود.



شکل ۱– نما و شماتیکی از طرز کار سوپرشارژ

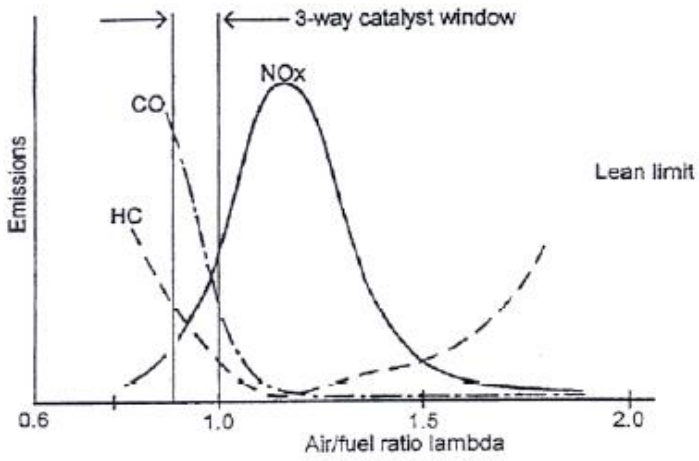
توربوشارژ متشکل از یک توربین گازی که در مسیر خروجی گاز قرار گرفته است و بر اثر فشار گاز خروجی به گردش درآمده و توان مورد نیاز کمپرسور خود را تامین می‌کند. در این سیستم به دلیل مسیر طولانی خروج دود از اگزوز دمای آن کاهش یافته درنتیجه آلاینده‌های NO_X و HC کاهش می‌یابد. اما عمده مشکل آن جلوگیری پره‌های توربین از خروج کامل دود می‌باشد(ریچارد و اسچافر ۱۹۹۷).



شکل ۲– نما و شماتیکی از طرز کار توربوشارژ

این مقاله برای مطرح کردن طرح چندراهه دود تحت مکش ارائه شده است. این طرح که در مرحله‌ی نظریه می‌باشد به‌دلیل وجود نارسایی‌های موجود در سیستم‌های پرخورانی ارائه شده که شامل یک سیستم مکشی بعد از منیفولد دود می‌باشد که توسط تسمه، توان خود را از میل لنگ گرفته و دود را به طور کامل از سیلندرها تخلیه می‌کند. در این زمینه تحقیقات زیادی انجام شده که بیشتر در پی آنالیز و تحلیل حرکت موج سیالی داخل سیلندر و شارژرها برآمده‌اند.

اثرگذاری سیستم توربوشارژ بر مصرف سوخت و میزان آلایندگی مورد بررسی قرار گرفت. چهار نوع توربوشارژ روی موتور یک اتوبوس موجود در شرکت واحد تهران تست گردید. در مجموعه تستی که انجام گرفت نتیجه شد که بین چهار نوع توربوشارژ تست شده توربوشارژ مدل garrett GT37 کم‌ترین مصرف و آلایندگی را دارا می‌باشد. میزان آلایندگی را از شکل۳ زیر می‌توان تناسب بست. همچنین تاثیر رقیق‌سازی سوخت مصرفی با آلایندگی مورد آزمایش قرار گرفت(امامزاده و همکاران ۱۳۸۵).



CO: Carbon monoxide NOx: Oxides of nitrogen HC: Hydrocarbon

شکل ۳- نمودار ارتباط میزان آلاینده‌ها با درصد هوای اضافی

بازده تنفسی معیاری است که بیانگر عملکرد مجموعه‌ی مکش می‌باشد.که با استفاده از معادله (۱) حاصل می‌شود:

$$v = \frac{G_a}{v_{dis}\,\rho_{ini}} = \frac{v_{ini}}{v_{dis}}\eta \qquad (۱)$$

که در آن صورت کسر هوای ورودی به موتور در حالت واقعی و مخرج کسر حجم هوای نظری پرکننده‌ی موتور است(سپهر صنایع ۱۳۸٤).

با توجه به اینکه توربین توربوشارژ توسط سرعت گازهای خروجی موتور به حرکت درمی‌آید به موتور فشار وارد می‌شود تا هم پره‌ها را به حرکت درآورد هم بر نیروی اینرسی پره‌ها غلبه کند و هم نیروی اصطکاک شافت و بلبیرینگ‌ها را خنثی کند(جادج ۱۹٦۷).

به دلیل پدیده‌ی کوبش در موتورهای پرخوران، مدلی برای پیش بینی کوبش در موتورهای جرقه‌ای ارائه گردید. این کار بر روی یک موتور پرخوران ۱/٦ لیتری انجام گرفت و اندازه زاویه کوبش میل‌لنگ را حاصل گردید. شدت کوبش را، که به صورت افزایش فشار سیلندر مشخص می‌شود به صورت زیر ارائه کردند:

$$Q_{auto} = m_{end\text{-}gas} C_v (T - T_u) \qquad (۲)$$

$$P = \frac{T}{T_u} P_u \qquad (۳)$$

که در آن Q_{auto} انرژی آزاد شده از گاز انتهایی، $m_{end-gas}$ جرم گاز انتهایی، C_v گرمای مخصوص در حجم ثابت، T دمای مخلوط بعد از خود اشتعالی، T_u دمای گاز انتهایی قبل از خود اشتعالی و P فشار بعد از خود اشتعالی است(کاکایی و نصرآبادی ۱۳۸۹).

عملکرد یک موتور بنزینی چهار سیلندر مجهز به توربوشارژ در ۱۲ سرعت دورانی مورد بررسی قرار گرفت. با دو روش شبیه سازی یک‌بعدی جریان ناپایا و شبیه سازی سه‌بعدی جریان پایا، تراکم‌پذیر و لزجت داخل توربین یک توربوشارژ موتور بنزینی مورد مقایسه قرار گرفت و نتیجه شد که روش یک‌بعدی برای کارهای مهندسی دقت کافی را دارا می‌باشد(طباطبایی و همکاران ۱۳۹۰).

دو ثانیه طول می‌کشد تا موتور بعد از شتاب اولیه برای توربوشارژ گاز خروجی تولید کند. راه‌حل آن هم ساخت توربوشارژ کوچک‌تر و سبک‌تر می‌باشد که این مشکل را تا حدودی برطرف می‌کرد. با این وجود توربوشارژ کوچک در سرعت بالا به علت گردش سریع گاز خروجی از مابین پره‌ها، باعث خرابی و شکستگی پره‌ها یا شافت مرکزی توربوشارژ می‌شود(آورینگتون و بور ۱۹۸٤).

جریان داخل توربین یک توربوشارژ که به صورت گریزازمرکز می‌باشد شبیه‌سازی عددی گردید. کمپرسور توسط نرم‌افزار فلوئنت مدل شد. با این وجود اختلاف ۱۲/۷ بین نتایج عددی و تجربی با میزان خطای ۲ درصد بدست آمد. که به دلایل توزیع غیریکنواخت فشار استاتیکی در محفظه حلزونی همچنین شکل غیر متقارن محفظه حلزونی و اغتشاشات جریان دایره‌ای ارزیابی شد(طیبی و بیاتی ۱۳۸۹).

جهت جبران افت توان موتورهای گازسوز از توربوشارژر استفاده گردید. افزایش توان خروجی حاصل از توربوشارژ ۲۰٪ بدست آمد. با استفاده از مدل‌سازی صفربعدی توربوشارژ نهایی برای انطباق با موتور مورد نظر انتخاب شد(اصفهانیان و همکاران).

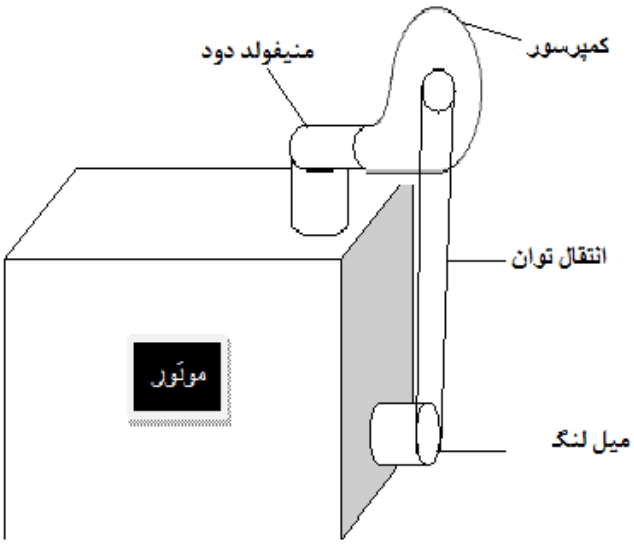
تاثیر سیستم توربوشارژ بر مصرف سوخت و توان و کشش سه نوع تراکتور را بررسی شد. آزمون روی باند بتونی تحت استاندارد OECD بر روی تراکتورها انجام گرفت. نتیجه شد که اختلاف مصرف ویژه سوخت تراکتورهای توربوشارژدار با سطح اطمینان ۵ درصد نسبت به بدون توربوشارژ معنی دار بوده است. همچنین نتیجه شد که توان و نیروی کششی توربوشارژدار نیز با سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بوده است(هولاسو و همکاران ۱۳۹۲).

جهت بهبود عملکرد توربوشارژرها از یک سیستم انتقال توان پولی–تسمه برای انتقال توان از توربین به کمپرسور استفاده گردید که با استفاده از یک سامانه الکترونیکی کنترل می‌شد. سیستم از بروز دورهای بالا و رکود دور در لحظات اولیه و درنتیجه افزایش بلااستفاده‌ی فشار هوا و دمای آن جلوگیری کرد(امیررضوانی و مدرس).

هدف از ارائه این طرح در ابتدا بیان نارسایی‌هایی است که در دو سیستم توربوشارژ و سوپرشارژ وجود دارد و در نهایت بررسی یک سیستم جدید به منظور افزایش توان موتور با بازده بالاتری نسبت به دو سیستم مذکور می‌باشد.

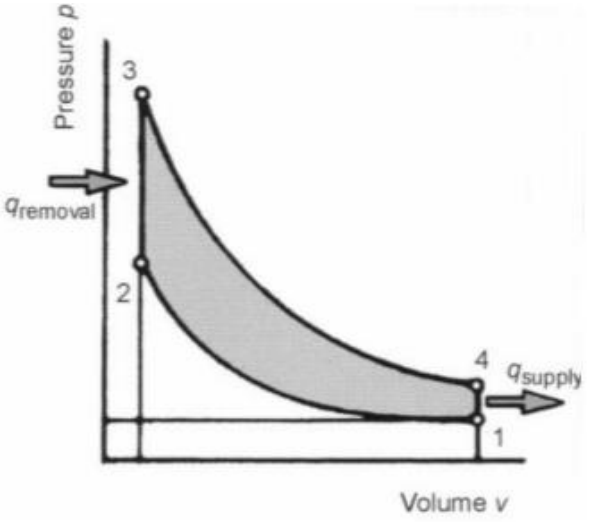
طرح و امکان‌سنجی

متاسفانه عملکرد موتورهایی که به سامانه پرخوران مجهز هستند به شدت توسط پدیده‌ی کوبش (Knock) محدود می‌شود واین به جهت دمای بالای هوای ورودی به سیلندرها بر اثر افزایش فشار است. مشکل دیگر موتورهای توربوشارژر عدم شتاب‌گیری سریع می‌باشد. در نتیجه در این مقاله برآن شدیم تا سیستمی ارائه کنیم تا حداقل از نظر تئوری توان پیشی گرفتن از سیستم‌های مرسوم سوپرشارژ و توربوشارژ داشته باشیم. سیستم مدنظر سیستمی شبیه به توربوشاررژ می‌باشد با این تفاوت که روند کاری آن برعکس است. در این سیستم از پشت موتور توسط توان روی میل‌لنگ توربین کمپرسور را راه‌اندازی کرده و دود داخل سیلندرها را به‌طور کامل تخلیه می‌کنیم.در دورهای بالا زمان کمی برای تخلیه سیلندرها وجود دارد بنابراین کارایی سوپاپ ها و شمع ها و ... کاهش می‌یابد. اگر بگونه‌ای عمل کنیم که در دورهای بالا دود را از سیلندرها خارج کنیم باعث کاهش دمای هوای ورودی و جلوگیری از پیش احتراقی خواهد شد در نتیجه می‌توان سوخت بیشتری وارد سیلندرها کرده و از سوخت با اکتان پایین‌تر نیز استفاده کرد.تخلیه کامل دود از سیلندرها باعث افزایش آلاینده‌ی NO_x می‌شود که می‌توان این آلاینده را با استفاده از مبدل کاتالیستی (catalyst converter) که باعث افزایش سرعت واکنش شیمیایی می‌شود، این آلاینده را کنترل کرد. در شکل زیر شماتیکی از طرح منیفولد دود مکشی نشان داده شده است.



شکل ٤– طرح‌واره‌ای از سیستم منیفولد دود مکشی

در نمادهای استفاده شده علامت بار برای سیستم با منیفولد دود مکشی استفاده می‌شود. اگر چرخه‌ی آتو را برای موتور لخت و موتور با سیستم منیفولد دود تحت مکش درنظر بگیریم داریم:



شکل ٥- چرخه‌ی نظری آتو

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1} \quad (٤)$$

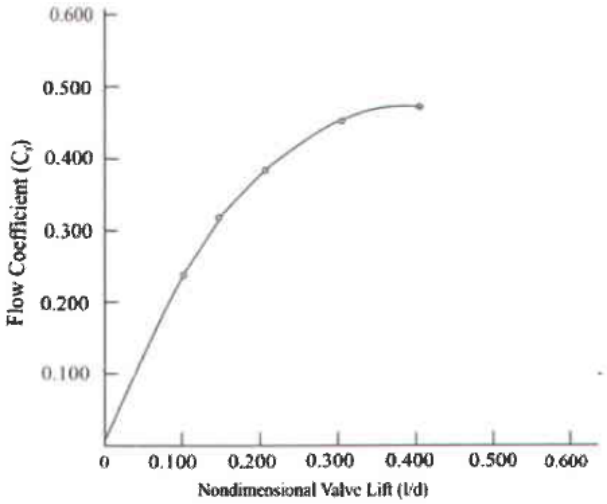
نقطه ۱ زمان شروع مکش است که دما و فشار مشخصی دارد در حالتی که موتور لخت تست می‌شود. چون در دو حالت حجم موتور تغییری نمی‌کند داریم:

$$T_1 P_1 V_1 \bar{T}_1 = \bar{P}_1 \bar{V}_1 \quad (٥)$$

$$V_1 = \bar{V}_1 \quad (٦)$$

$$\dot{m} = C_f \rho_v A_v V_{is} \quad (٧)$$

در این رابطه C_f ضریب جریان عبوری از سوپاپ، V_{is} سرعت آیزنتروپیک و A_v مساحت مقطع و ρ_v چگالی جریان عبوری از سوپاپ می‌باشد.



شکل ٦- ضریب جریان سیال عبوری از سوپاپ

رابطه نشانگر این است که تفاوت جرم در دو حالت مدنظر به ضریب جریان عبوری از سوپاپ، سرعت آیزنتروپیک و چگالی جریان عبوری از سوپاپ بستگی دارد. با توجه به اینکه در سیستم ارائه شده بر خلاف توربوشارژ سرعت آیزنتروپیک افزایش می‌یابد در نتیجه جرم هوای ورودی به سیلندر با استفاده از سیستم ارائه شده در این مقاله نسبت به سیستم‌های فعلی افزایش خواهد یافت.

نتیجه‌گیری

ثابت شد که جرم هوای ورودی به سیلندر با استفاده از سیستم منیفولد دود مکشی افزایش می‌یابد، بنابراین می‌توان با موتور با حجم کم‌تر توان معادل یک موتور بزرگ‌تر لخت تولید کرد. با آزمایش روی یک موتور با نسبت تراکم معمولی ۱۵-۱٦ می توان افزایش راندمان چشم‌گیری را مشاهده کرد اما اساس کار این طرح برای تولید موتور بنزینی با نسبت تراکم‌های بالا است تا توان های بالا را با حجم کوچکی از موتور تولید کنیم که اثرات مخرب اینرسی روی قطعات موتور کاهش یابد.
بدلیل اینکه طرح ارائه شده در مرحله نظریه می‌باشد، پیشنهاد می‌شود جهت تکمیل طرح در زمینه عملی کردن طرح تلاش شود.

منابع و مآخذ

۱. اصفهانیان، و. مواسات، م. کمندلویی، د. صلواتی‌زاده، ع. انطباق توربوشارژر برای جبران کاهش افت توان در موتورهای گازسوز با درنظرگیری آلودگی. چهارمین همایش بین‌المللی موتورهای درونسوز.
۲. امامزاده، ا. قدمیان، ح. عتابی، ف. چهرازی، س. ۱۳۸۵. تحلیل و ارزیابی اثرگذاری سیستم توربوشارژ بر مصرف سوخت و میزان آلاینده‌های خروجی اتوبوس‌های گازسوز نمونه‌ی منتخب شرکت واحد اتوبوسرانی تهران. علوم و تکنولوژی محیط زیست.
۳. امیررضوانی، ه. مدرس،ا. بررسی عملکرد توربوشارژر روی توان اندیکه موتور و معایب این تکنولوژی و ارائه راهکارهایی برای بهبود عملکرد این سیستم. دانشگاه ارومیه.
٤. پاشایی هولاسو، خ. محمدی الستی، ب. عباسقلی پور، م. ۱۳۹۲. بررسی تاثیر سیستم توربوشارژر بر پارامترهای مصرف سوخت موتور، توان و کشش تراکتورهای ITM475، ITM48و ITM800. هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد.
۵. صنایع، س. (ویلارد پاک رابک). ۱۳۸٤. مبانی مهندسی موتورهای احتراق داخلی. انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران. ۱۹٦ ص
٦. طباطبایی، ح. برومند، م. طیبی رهنی، م. ۱۳۹۰. مقایسه عددی و تجربی جریان یک‌بعدی و سه‌بعدی روی عملکرد توربین توربوشارژ یک موتور بنزینی. مجله علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس.
۷. طیبی رهنی، م. بیاتی، م. ۱۳۸۹. شبیه سازی عددی جریان داخل کمپرسور یک توربوشارژر. مجله مکانیک و هوا فضا (مکانیک سیالات و آیرودینامیک).

۸. کاکایی، ا. نصرآبادی، م. ۱۳۸۹. تاپیر یک زیر مد خوداشتعالی برای پیش‌بینی کوبش در موتور اشتعال جرقه‌ای. نشریه‌ی علمی-پژوهشی سوخت و احتراق.

9. Judge, ED. A. W. 1967. High speed diesel engines. 6th chapman&hall.

10. Overington, M. and De boer, C. 1984. Vehicle fuel economy-high compression ratio and supercharging compared. SAE technical paper 840242.

11. Richard, V. B. andSchafer, F. 1997. Internal combustion engine handbook. SAE international. 355-356 pp.

Introduction of the exhaust suction manifold model

Abstract
Today two papular systems named as supercharging and turbocharging are use to increase the compression ratio and thus increase the engine power. In supercharged system the engine crankshaft power output is reduce and the knock in high speed was increases. So turbocharged complement system was presented. However, there are disadvantages in the turbocharged system. In turbocharged, compressor turbine vane blocks the flow of the exhaust fume and won't let to fully cylinder discharging and a large amount of fume remains in the feul mixture. The aim of this paper is to introduction these disadvantages and offere a new system to remove these disadvantages. The exhaust manifold is considered a model of exhaust manifold that implements suction, the fume will evacuate from the cylinders, faster. This model has been present in this paper as a theory. In fact this model is conversed turbocharged system. The scheme proved that the mass of the mixture into the cylinder was increases, and thus a smaller engine you can get the main engine.

Keywords: Internal Combustion Engine, Turbocharged, Suction, Exhaust Manifold.