

مطالعه اثر راهگاههای ورودی سر سیلندر بر روی شکل جریان هوا در سیلندر موتورهای دیزل

دکتر احمد علی سهرابی

استادیار دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده:

اثر جریان هوای داخل سیلندر بر روی عملکرد و راندمان موتورهای دیزل موضوع تحقیقات بسیار وسیعی در سال‌های اخیر بوده است. از طرف دیگر میزان آلودگی دود اگزوز نیز بستگی زیادی به شکل حرکت هوا و چگونگی اختلاط سوخت با هوا در داخل سیلندر دارد. یکی از روش‌های بررسی شکل جریان هوا و میزان اثر طراحی راهگاههای ورودی سر سیلندر، روش تنفس با جریان ثابت (steady flow method) است که در آن از وسائلی مانند بادسنج‌های پروانه‌ای، سیم ملتهب و غیره استفاده وسیعی شده است. هر کدام از این وسایل محدودیت خاص خود را دارد. در این مقاله ابتداء اثر مشخصات دو نوع مختلف راهگاه ورودی بر شکل جریان هوای داخل سیلندر شامل چرخش و توربولانس مورد بررسی قرار میگیرد سپس با استفاده از اطلاعات حاصله طرح‌های جدیدی از راهگاه ورودی سر سیلندر عرضه می‌شود، که در آن علاوه بر ملاحظه ظرفیت هواپذیری آنها، از قابلیت ایجاد چرخش مناسب هوا در داخل سیلندر برخوردار هستند.

The Effect of Inlet Port Design on the Air Motion in the Cylinders of Diesel Engines

A. A. Sohrabi, Ph.D.

Assistant Prof., Mech. Eng. Dept.

Amirkabir Univ. of Tech.

ABSTRACT:

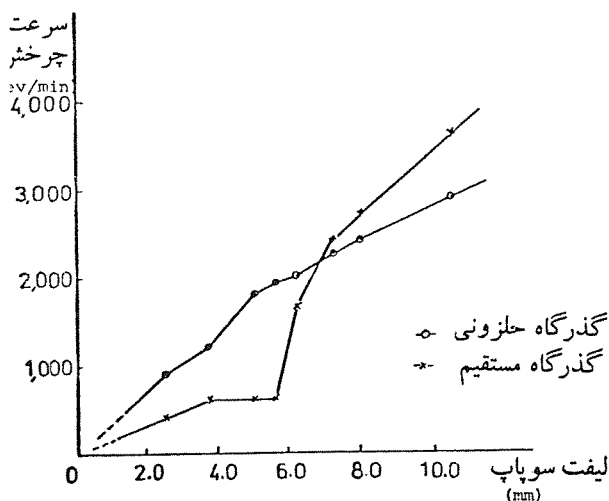
The effect of cylinder flow pattern on performance and efficiency of diesel engines have been vastly investigated in recent years. The level of exhaust emission has been found to be dependent on the cylinder flow pattern too. By using steady flow rig, in which vane anemometers, hot - wire anemometers, etc are employed, one can study the effect of inlet port design on the air motion in the cylinders.

In this paper the influence of design characteristics of two different inlet ports on cylinder air flow, including swirl rates and turbulence is studied, and based on the data obtained, new designs of inlet ports are constructed. The new designs have shown good performance in swirl production in the cylinder, as well as high breathing capacity.

جدید و تکمیل شده‌ای دست یافت. این سؤال ممکن است مطرح شود که شرایط واقعی سیال در سیلندر موتور به هنگام تراکم (و لحظه تزریق سوخت) چه ارتباطی با شرایط سیال در مرحله تنفس دارد. آزمایشات اولیه‌کاشی (۲) نشان داد که در مرحله تراکم شکل حرکت سیال کم و بیش بصورت آخرین وضعیت مربوط به مرحله تنفس باقی خواهد ماند لذا میتوان بجای مطالعه جریان در لحظه تزریق سوخت جریان هوا را در مرحله تنفس مطالعه نمود.

آزمایش:

برای مطالعه عملکرد گذرگاه هوا در داخل یک سرسیلندر می‌توان از روش تنفس با جریان ثابت (*steady flow rig*) استفاده نمود. در این روش که در (۳) توضیح داده شده است یک جریان هوای دائم به سر سیلندر متصل میشود و بجای سیلندر فلزی از یک لوله پلاستیکی شفاف استفاده می‌کنیم بنحوی که بتوان با نصب بادسنج تیغه‌ای در داخل لوله میزان چرخش را به کمک یک استروبو سکوپ اندازه‌گیری کرد. انتهای لوله پلاستیکی باز است و هوا پس از چرخش در لوله به اتمسفر وارد میشود. در این روش میزان گشودگی یا لیفت سوپاپ (*valve lift*) ثابت است و می‌توان آزمایش را برای مقادیر مختلف لیفت سوپاپ انجام داد. لازم به تذکر است که اطلاعات حاصل از روش فوق‌الذکر را می‌توان برای محاسبه چرخش نهائی هوا در داخل سیلندر در مرحله تنفس بکار برد. در مأخذ (۴) اصول محاسبه عرضه شده است. اگر بادسنج را در فاصله معادل قطر سیلندر دور از سر سیلندر نصب نمائیم و سرعت چرخش (*swirl*) آن را برای لیفت‌های مختلف سوپاپ برای هر دو نوع گذرگاه اندازه‌گیری کنیم یک منحنی مطابق شکل ۱ بدست می‌آید.



شکل ۱- میزان چرخش بادسنج برای دو نوع گذرگاه

تشکیل مخلوط همگون سوخت و هوا برای احتراق در داخل سیلندر موتورهای دیزل بستگی زیادی به شکل حرکت و سرعت هوای ورودی دارد. در موتورهای بتزینی اختلاط سوخت و هوا قبل از ورود به سیلندر انجام می‌گیرد و مخلوط نسبتاً همگنی وارد سیلندر میشود که با جرعه زدن شمع احتراق بوقوع می‌پیوندد. ولی در موتورهای دیزل هوای تازه ابتدا متراکم شده و سپس در زمان بسیار کوتاهی که در خلال مدت تزریق سوخت بوجود می‌آید عمل اختلاط بایستی صورت گیرد. لذا شکل حرکت مناسب هوا در این مدت کوتاه میتواند در اختلاط سوخت و هوا بسیار مؤثر و مفید واقع شود، در غیر اینصورت سوخت فرصت مخلوط شدن با هوا را پیدا نکرده و احتراق ناقص به همراه دود آلودگیهای دیگر و همچنین کاهش راندمان موتور حاصل می‌شود (۱).

در موتورهای کوچک پر سرعت با ایجاد چرخش هوا (*air swirl*) در داخل اتاق احتراق به این اختلاط کمک می‌کنند. این چرخش ممکن است با تعبیه ماسک بر روی سوپاپ هوا و یا طراحی مخصوص راهگاه ورودی هوا بدست آید. با توجه به محدود بودن تعداد روزنه‌های انژکتور برای پاشش سوخت می‌توان دریافت که برای اختلاط کامل سوخت و هوا فقط یک سرعت دورانی چرخش هوا بهینه خواهد بود و سرعتهای بالاتر و یا پائین تر از آن اختلاط مناسبی را بوجود نمی‌آورند.

برای ایجاد چرخش هوا در داخل سیلندر بطور کلی دو نوع طراحی راهگاه و یا عبارتی گذرگاه ورودی هوا در سیلندرهاي موتورهای دیزل وجود دارد که عبارتند از:

الف) گذرگاه حلزونی (*helical port*) که در اغلب موتورهای دیزل مرسدس بتز بکار می‌روند

ب) گذرگاه مستقیم (*directed port*) مانند گذرگاه موتورهای پرکینز

در گذرگاههای نوع اول مسیر هوا طوری طراحی شده است که یک حرکت چرخشی به هوای ورودی داده میشود قبل از اینکه از سوپاپ گذشته و وارد سیلندر شود.

از نقطه نظر عملکرد، موتورهای با گذرگاه حلزونی دارای راندمان بهتر و آلودگی آگروز کمتری هستند همچنین زمان تزریق را می‌توان بمقدار زیادی به تعویق انداخت (رتارد تزریق) بدون اینکه کاهشی در راندمان و یا افزایش در مقدار دود آگروز بوجود آید. رتارد تزریق میتواند باعث کاهش درجه حرارت ماکزیمم سیکل شده و نتیجتاً میزان آلودگی NO_x کاهش یابد.

در این مقاله شکل جریان هوا در این دو نوع گذرگاه بهنگام ورود هوا بداخل سیلندر (مرحله تنفس) مورد مطالعه و مقایسه قرار خواهد گرفت تا چگونگی بوجود آمدن اختلاف در عملکرد گذرگاههای مختلف مشخص شده و بتوان به طرحهای

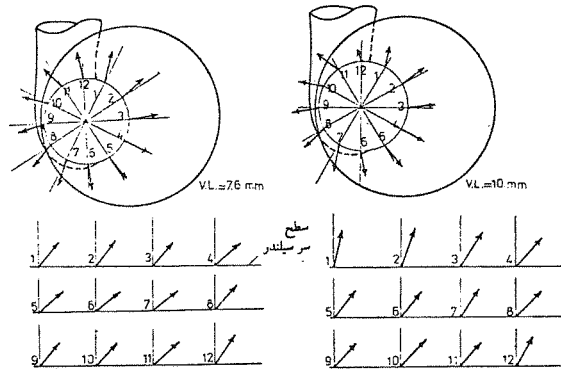
در فاصله یک قطر از سیلندر تا حدود دو سوم لیفت ماکزیمم ادامه دارد در حالیکه برای گذرگاههای حلزونی این گردابها قبل از یک سوم لیفت ماکزیمم از بین میروند و به یک گرداب مسلط تبدیل میشوند.

برای فاصلههای دیگر در داخل سیلندر نیز این موضوع بطور کلی مشابه حالت قبلی است. اگر بادسنج را در فواصل دیگر سیلندر قرار دهیم برای دو نوع گذرگاه مقادیر چرخش مطابق شکل ۵ بدست میآید. برای گذرگاه مستقیم هر چه از سیلندر دورتر میشویم مقادیر چرخش افزایش مییابد. در فاصله یک سوم قطر و لیفتهای کم بادسنج هیچگونه چرخشی را نشان نمیدهد، زیرا دو گرداب مخالف بر روی آن اثر میکنند در حالیکه برای گذرگاه حلزونی برای فواصل نزدیک به سر سیلندر و لیفتهای کوچک سوپاپ یک شکل کلی یکنواخت بوجود آمده است و از فاصله نصف قطر سیلندر به بالا سرعت بادسنج تقریباً ثابت است. همانگونه که در شکل ۲ مشهود است طرز قرار گرفتن نخهای پنبه‌ای حاکی از وجود یک جریان معکوس عمودی بطرف سر سیلندر است. برای گذرگاه مستقیم این جریان بسیار قوی و عمده بوده و محل خود را تغییر می‌دهد البته از فاصله یک قطر سیلندر به بعد این جریان بتدریج محو می‌شود. برای گذرگاه حلزونی جریان معکوس حاصله بسیار ضعیفی در نزدیکی سر سیلندر مشاهده شده است.

مطالعه پیرامون راستای سرعت هوا در اطراف سوپاپ ورودی

ایجاد شکل جریان دارد ولی با افزایش لیفت سوپاپ یکی از دو جریان فوق‌الذکر تقویت شده و بر دیگری غلبه پیدا می‌کند و در این مرحله طراحی فرم گذرگاه در شکل جریان اثر میگذارد و باعث ایجاد یک "تک گرداب" میشود.

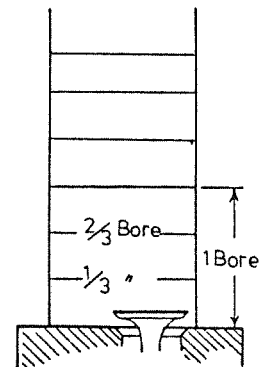
برای گذرگاه حلزونی، تشکیل "تک گرداب" در لیفت‌های پائین سوپاپ بوقوع می‌پیوندد. این موضوع ممکن است به خاطر مؤلفه مماسی سرعت هوا در محل سکوها سوپاپ باشد هر چند که این مؤلفه‌ها چندان قابل ملاحظه نیستند. شکل ۴ جهت نخ‌های اطراف سوپاپ هوا را نشان میدهد نتایج حاصله از بادسنج تیغه‌ای



شکل ۴- جهت جریان هوا به هنگام عبور از سوپاپ

850	1200	1300	1350	2100	2400	2800	3600
600	1200	1000	1100	2000	2400	2800	3600
450	800	700	820	2000	2400	2800	4000
400	600	600	600	1650	2400	2700	3600
350	400	0-400	0	950	1400	2000	3600
0	400	0-100	0-100	450	750	1100	2000
VL= 2.5	3.8	5.	5.7	6.3	7.3	8.1	10.7 mm

گذرگاه مستقیم



(values are in rev/min)

(مقادیر بر حسب دور در دقیقه)

800	1200	1600	1800	2000	2240	2400	2840
850	1200	1600	1800	2100	2280	2560	2840
850	1300	1600	1800	2100	2240	2600	2880
900	1200	1800	1920	2000	2250	2400	2880
1050	1400	1800	1920	2100	2250	2360	2720
640	760	760	770	840	940	960	1200
VL=2.5	3.8	5.	5.7	6.3	7.3	8.1	10.7 mm

گذرگاه حلزونی

شکل ۵- میزان چرخش بادسنج در فواصل مختلف سیلندر

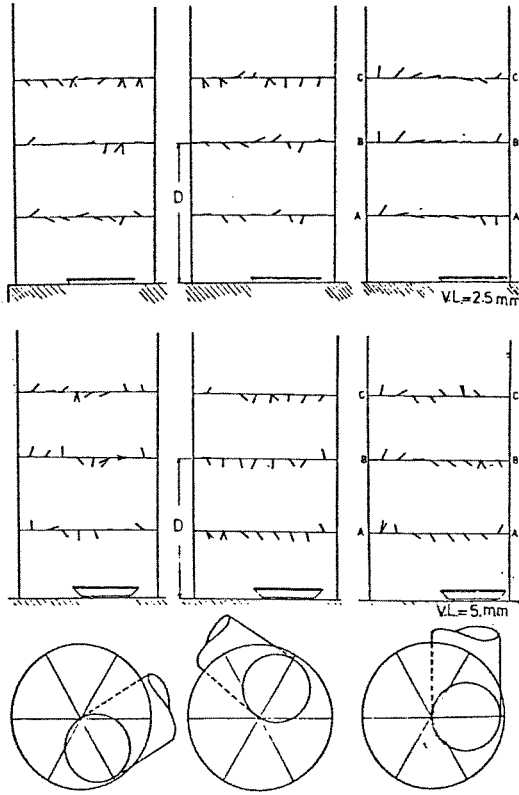
این آزمایش قطر سیلندر برابر 97mm و افت فشار در دو طرف سوپاپ ورودی برابر $25/4$ سانتی متر آب تنظیم شده است. این منحنی نشان میدهد که در سیلندرهایی با گذرگاه حلزونی میزان چرخش هوا کم و بیش بصورت یکنواخت با باز شدن سوپاپ هوا افزایش می یابد ولی در سیلندرهایی با گذرگاه مستقیم چرخش هوا در لیفت های پائین ناچیز بوده و این مقدار کم تا حدود نصف و حتی تا دو سوم مقدار ماکزیمم لیفت سوپاپ ادامه دارد تا اینکه بطور ناگهانی مقدار چرخش افزایش یافته و تا ماکزیمم لیفت همچنان افزایش می یابد به نحوی که مقادیر حاصله از مقادیر قبلی برای گذرگاه حلزونی بیشتر است. این تغییر ناگهانی در سیلندرهایی نوع دوم همانگونه که بعداً "شرح داده خواهد شد به علت تغییر شکل جریان داخل سیلندر از یک "زوج گرداب" به یک "تک گرداب" است.

در لیفت های بالاتر میزان چرخش در گذرگاههای حلزونی کمتر از میزان چرخش در گذرگاههای مستقیم است زیرا هوای ورودی به علت سرعت زیاد در این حالت کمتر تحت تأثیر پیچ و خمهای گذرگاه قرار می گیرد و لذا حرکت کلی هوا بصورت حرکت در یک گذرگاه مستقیم درمی آید در حالیکه پیچ و خمهای مسیر باعث کاهش راندمان حجمی گذرگاه میشوند و نتیجتاً چرخش نسبت به حالت دوم کمتر است.

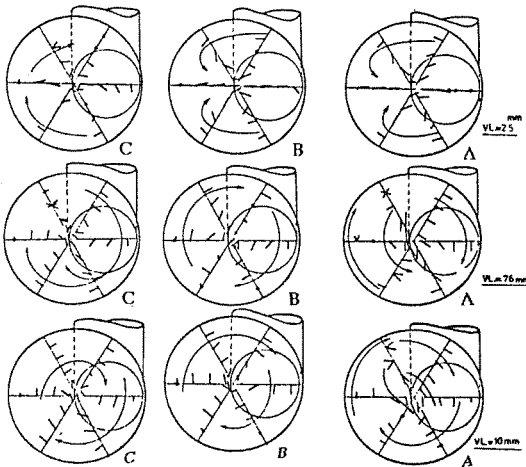
اگر چه بیشترین موتمم هوا به داخل سیلندر در لیفت های بالای سوپاپ وارد میشود ولی باید در نظر داشت که چرخش های هر چند ناچیز هوا در مراحل اولیه تنفس باعث تصاعد چرخش های منظم بعدی خواهد شد و نتیجتاً یک حرکت منظم چرخشی در انتهای مرحله تنفس و در خلال مرحله تراکم در داخل سیلندر بوجود می آید که به هنگام پاشش سوخت امکان اختلاط مناسب سوخت و هوا بوجود خواهد آمد.

برای مطالعه شکل و ترکیب حرکت هوا در داخل سیلندر علاوه بر بادسنج تیغهای، تکنیک های دیگری نیز توسط محققین مختلف بکار گرفته شده است از جمله استفاده از دود، نخ های ظریف پنبه ای، مدل آب، پرچم های کوچک کاغذی (۴) و بالاخره سیم ملتعب (۵) و اشعه لیزر (۶). در این جا از نخ های نازک پنبه ای جهت نصب در قسمتهای مختلف سیلندر پلاستیکی استفاده شده است. برای لیفت های مختلف سوپاپ در دو حالت با گذرگاه مستقیم و گذرگاه حلزونی جهت و شکل استقرار نخ ها یادداشت گردید. البته در بعضی از نقاط بخاطر توربولانس شدید هوا نخ های پنبه ای مرتعش بوده و متوسط جهت آنها در نظر گرفته شد. شکل ۲ و ۳ وضعیت کلی نخ ها را در سطوح مختلف سیلندر نشان میدهد.

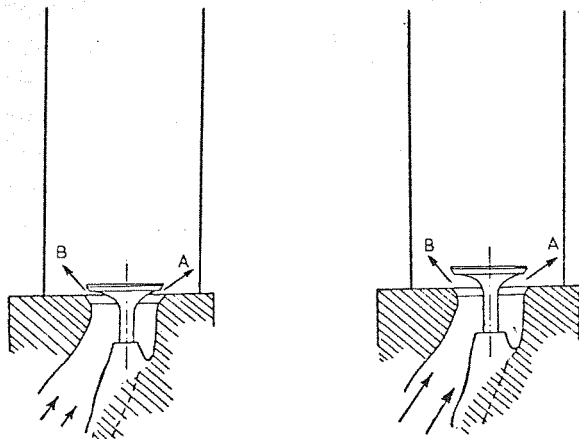
برای گذرگاه مستقیم، همانگونه که شکل ۳ نشان میدهد در لیفت های پائین سوپاپ ابتدا دو گرداب مخالف هم در داخل سیلندر بوجود می آید. این بعلت دو جریان مخالف ورودی به سیلندر است. در این مرحله، طراحی گذرگاه تأثیر ناچیزی در



شکل ۲- شکل جریان در داخل سیلندر که توسط نخهای پنبه ای بدست آمده است.



شکل ۳- شکل جریان در داخل سیلندر



شکل ۷- جهت جریان در نزدیکی سوپاپ گذرگاه حلزونی

جای سوراخهای متعدد بر روی دیسک اگر یک سوراخ بزرگ به قطر $25/4\text{mm}$ و یا 50mm در آورده شود میزان افزایش بیشتر خواهد بود. بنظر میرسد که استقرار دیسک در داخل سیلندر باعث کاهش جریان معکوس شده و یک توزیع سرعت یکنواخت در امتداد طول سیلندر بوجود می آورد.

اندازه گیری توربولانس

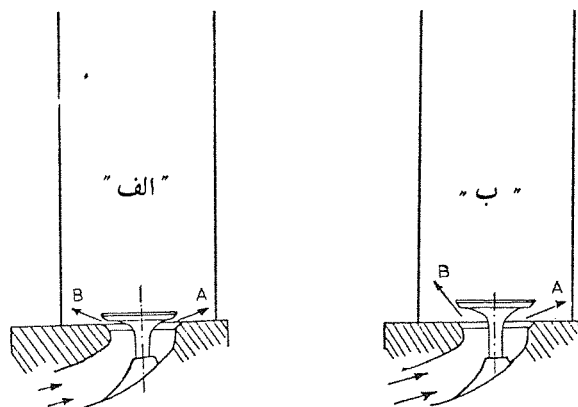
تا این مرحله مقایسه بین چرخش کلی هوا در دو گذرگاه بعمل آمد. برای تکمیل مقایسه تصمیم گرفته شد سطح توربولانس جریان نیز در دو گذرگاه مقایسه شود. برای اینکار از یک سیم ملتهب استفاده شد که مقادیر سرعت متوسط و مقادیر $r.m.s$ جریان را در سه قطر متقارن سیلندر اندازه گیری میکرد. یک نمونه از نتایج حاصله در شکل ۸ نشان داده شده است.

بررسی ارقام بدست آمده نشان میدهد که بطور متوسط شدت توربولانس در دو گذرگاه اختلاف چندانی با هم ندارند، تنها در امتداد یکی از قطرها در گذرگاه مستقیم سطح توربولانس بیشتری از گذرگاه حلزونی بدست آمده است. این محل با توجه به نتایج حاصل از شکل و جهت نخهای پنبه ای محل برخورد دو گرداب مخالف در داخل سیلندر می باشد.

همچنین نصب دیسک در داخل سیلندر تغییرات قابل ملاحظه ای را در نتایج بوجود نیاورده است این نتایج میتواند مؤید این مطلب باشد که افزایش شدت توربولانس هوا در موتورهای دیزل نقش مهمی را در احتراق و عملکرد موتور ندارند هر چند که برای اثبات کامل آن احتیاج به بررسی های بیشتر می باشد.

در مرحله بعدی آزمایشات، شکل جریان در داخل گذرگاه مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار یک سوپاپ شفاف به جای

نیز مطالب فوق را تأیید می کند در شکل ۶ الف و ب برای گذرگاه مستقیم در لیفت های پائین و بالای سوپاپ جهت سرعت هوا توسط نخ های ظریف پنبه ای مشخص شده اند. در لیفت های پائین راستای A و راستای B کم و بیش دارای یک زاویه تمایل نسبت به سر سیلندر هستند و نتیجتاً دو گرداب مخالف بوجود می آورند که تأثیر آنها بر بادسنج تیغه ای این است که آن را متوقف می کنند ولی در لیفت های بالاتر جریان A قوی تر شده و همچنین زاویه های تمایل نسبت به سر سیلندر کمتر می شود در حالی که جریان B بخاطر شکل گذرگاه ضعیف تر شده و زاویه تمایل آن بیشتر میشود لذا جریان A به جریان B مسلط شده و یک تک گرداب بوجود می آید.



شکل ۶- جهت جریان در نزدیکی سوپاپ گذرگاه مستقیم

برای گذرگاه حلزونی شکل ۷ در لیفت های پائین سوپاپ جریان A زاویه تمایل کمتری از جریان B نسبت به سر سیلندر دارد. جریان B به طرف قسمتهای مرکزی سیلندر حرکت کرده و جریان A به جداره سیلندر رسیده و بطور مماسی شروع به چرخش در اطراف سیلندر می کند و نتیجتاً اثر جریان B محو میشود و بدین خاطر در لیفت های پائین سوپاپ چرخش قابل ملاحظه ای به وجود می آید. با افزایش لیفت سوپاپ قدرت هر دو جریان به یک نسبت افزایش یافته و در نتیجه نرخ کمتری از افزایش چرخش را نشان میدهد (به شکل ۲ توجه کنید).

در سیستم تنفس با جریان ثابت هیچگونه ملاحظه ای در مورد وجود پیستون در داخل سیلندر بعمل نیامده است با این حال برای نزدیک تر شدن به شرایط واقعی سیلندر موتور تصمیم گرفته شد که یک دیسک مشبک در فاصله دو برابر قطر سیلندر در داخل لوله پلاستیکی نصب گردد تا بجای پیستون در داخل سیلندر عمل کند. اندازه گیری چرخش هوا در دو گذرگاه فوق الذکر یک افزایش قابل ملاحظه ای را نشان داد. همچنین به

سکوی سوپاپ.

ساخت مدل‌های سر سیلندر

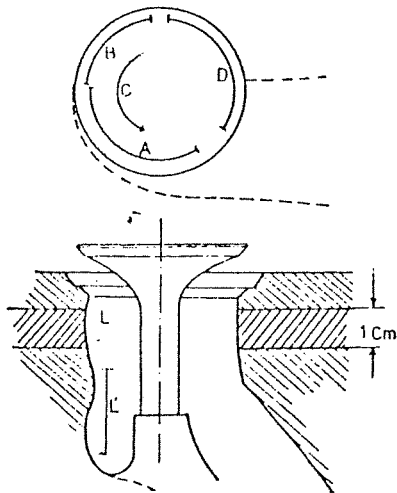
مدل سر سیلندرهای آزمایشگاهی را میتوان از رزین‌های فایبرگلاس ساخت. زیرا پروسه ساخت آنها ساده و ارزان است و می‌توان اشکال دلخواه را در آنها تعبیه نمود. برای اینکار ابتدا مقداری لاستیک وینیل *Vinamold rubber* را ذوب کرده و در گذرگاه‌های موجود می‌ریزیم. پس از سرد شدن آنها را از گذرگاه بیرون کشیده و بعنوان ماهیچه برای قالب‌گیری رزین فایبرگلاس بکار می‌بریم هر گونه تغییرات را میتوان بروی ماهیچه لاستیکی که بسیار نرم و قابل تراش است انجام داد. جزئیات این روش در مآخذ ۴ آمده است.

چون به هنگام ترکیب رزین و کاتالیست آن حرارت ایجاد میشود لذا پروسه قالب‌گیری باید بصورت لایه لایه و با صرف وقت زیادی انجام گیرد در غیر اینصورت حرارت ایجاد شده باعث ایجاد ترک‌های بزرگ و تغییر شکل مدل میشود.

اندازه‌گیری چرخش هوا برای مدل‌های ساخته شده

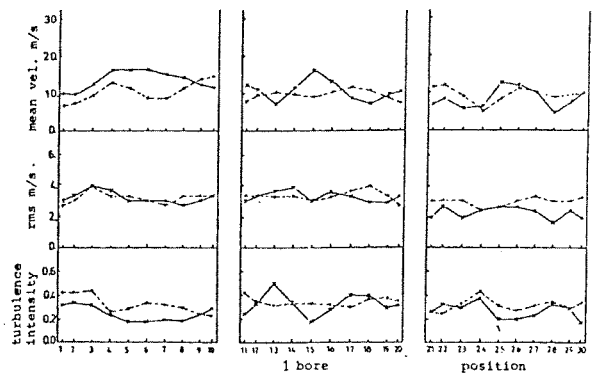
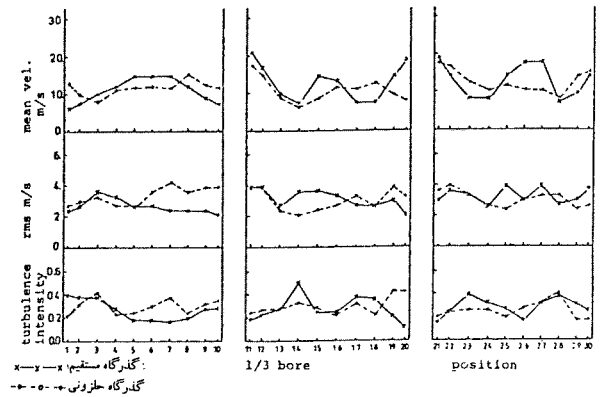
با استفاده از روش جریان دائم برای لیفت‌های مختلف سوپاپ مقادیر چرخش هوا را اندازه‌گیری می‌کنیم. نتایج حاصله حاکی از آن است که گذرگاه *B* بیشترین چرخش و گذرگاه *A* کمترین چرخش را بوجود می‌آورند. طولانی کردن محفظه قبل از سوپاپ که در گذرگاه *C* انجام شد تغییرات قابل ملاحظه‌ای را در چرخش هوا نشان نمیدهد.

مطالعه شکل جریان با نخ‌های پنبه‌ای در داخل سیلندر مربوط به سه گذرگاه جدید نشان داد که گذرگاه *A* دارای وضعیتی بین گذرگاه مستقیم و گذرگاه حلزونی است. برای گذرگاه *C* همانگونه که در شکل ۹ نشان داده شده است هوای ورودی در



شکل ۹- گذرگاه *C* با مسیر طولانی شده قبل از سوپاپ

سوپاپ فلزی ساخته شد و با نخ‌های ظریف پنبه‌ای جهت جریان درون هر دو گذرگاه یادداشت گردید برای گذرگاه حلزونی مشخص گردید که در بعضی از نقاط گذرگاه جریان بطرف سیلندر کاملاً عمودی است و برای گذرگاه مستقیم مشخص گردید که در لیفت‌های پائین ساقه سوپاپ و گاید آن جهت قسمت زیادی از جریان را معکوس می‌کنند و شاید این خود باعث ایجاد زوج گرداب در لیفت‌های پائین باشد.



شکل ۸- تغییرات سرعت متوسط و شدت توربولانس برای دو گذرگاه مستقیم و حلزونی

تغییر فرم گذرگاه

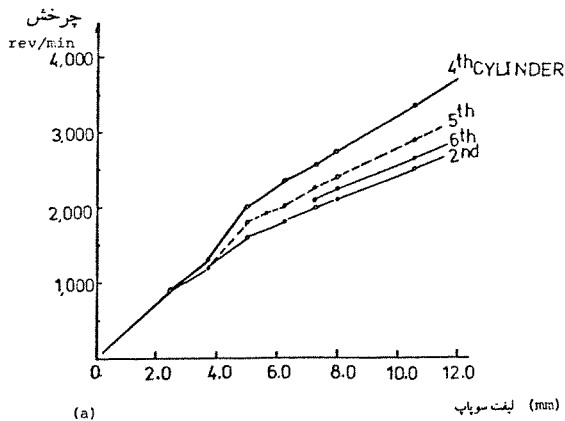
با توجه به اطلاعات حاصله از مقایسه دو نوع اصلی گذرگاه تصمیم گرفته شد سه مدل دیگر با فرم‌های جدید ساخته شود تا مطالعه مشخصات گذرگاه حلزونی در آنها تکمیل تر گردد این سه نوع گذرگاه عبارتند از:

نوع *A*- گذرگاه حلزونی معمولی ولی بدون زاویه حلزونی (به عبارت دیگر حذف پیچ‌های حلزون)

نوع *B*- یک گذرگاه حلزونی با ورودی جانبی در سر سیلندر (به عبارت دیگر ترکیبی از گذرگاه حلزونی و گذرگاه مستقیم)

نوع *C*- یک گذرگاه حلزونی با قسمت طولانی شده قبل از

البته باید انتظار داشت که در موتورهای با سیلندره‌های متعدد (مثلاً شش سیلندر) مانیفولد هوا اثر متفاوتی بر هر کدام از گذرگاهها خواهد داشت زیرا طول مسیر و خم‌های مانیفولد برای هر کدام از سیلندرها متفاوت است. جهت ارزیابی میزان این تأثیر تغییرات چرخش برای یک سر سیلندر موتور شش سیلندری با گذرگاه حلزونی معمولی اندازه‌گیری شد نتایج حاصل (شکل ۱۱) اختلاف حدود ۲۵ درصد را نشان می‌دهد. این اندازه‌گیری



شکل ۱۱- مقایسه چرخش هوا برای سیلندره‌های مختلف یک سر سیلندر

چرخش برای هر سیلندر در وضعیتی انجام شد که مسیر بقیه سیلندرها بسته بودند. در موتور چند سیلندری همزمان بودن مرحله تنفس دو سیلندر یا بیشتر مسلماً در میزان این اختلافات مؤثر خواهد بود.

گذرگاه اصلاح شده جدید و نتیجه‌گیری

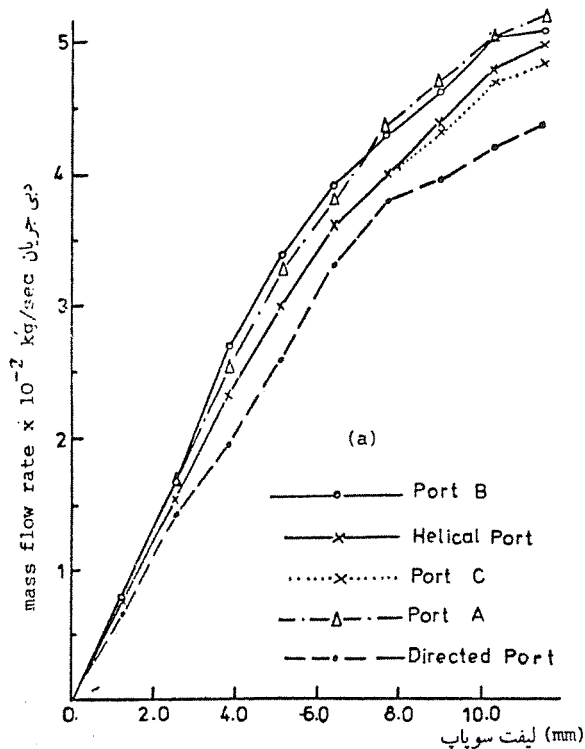
با بررسی اطلاعات بدست آمده از آزمایشات فوق یک گذرگاه جدید با مشخصات مشروحه زیر ساخته شد. مدل نگاتیو گذرگاه از حدود پنجاه لایه چوبی ساخته شد ابتدا یک قالب از جنس تراسل، از این مدل چوبی ساخته شد و سپس یک ماهیچه لاستیکی *vinamold* از قالب مزبور بدست آمد. که در قالب‌گیری رزین فایبر گلاس بکار برده شد. نمای جانبی و دو مقطع مختلف از گذرگاه در شکل ۱۲ ج نشان داده شده است. نتایج اندازه‌گیری چرخش حاصله هوا در سر سیلندر جدید در شکل ۱۳ نشان داده شده است. مقایسه ارقام بدست آمده از گذرگاهها نشان می‌دهد که مقدار چرخش هوا نه تنها بهبودی را نشان نمی‌دهد بلکه برخلاف گذرگاه حلزونی اولیه افزایش چرخش یکنواخت و متناسب با افزایش لیفت سوپاپ نمی‌باشد. مثلاً در لیفت سوپاپ برابر $2/5$ mm یک چرخش ناپایدار بادسنج مشاهده میشود. با مطالعه شکل جریان حاصله نتایج زیر بدست می‌آید:

سطح *L* در ناحیه *A* بصورت قائم بوده و در ناحیه *B* با زاویه تمایل زیاد به طرف مرکز سیلندر حرکت می‌کند، لذا یک وضعیتی شبیه گذرگاه حلزونی قبلی بوجود آمده است و این طولانی شدن مسیر هیچ اثری روی چرخش هوا ندارد. برای گذرگاه *B* در لیفت‌های پائین سوپاپ شکل جریان داخل سیلندر شبیه گذرگاه حلزونی بوده و در لیفت‌های بالا شبیه گذرگاه مستقیم عمل میکند.

ظرفیت هواپذیری گذرگاهها

طراحی فرم گذرگاه سر سیلندر موتور نه تنها در چرخش هوا نقش مهمی دارد بلکه بر روی راندمان حجمی موتور نیز اثر می‌گذارد. لذا مقایسه قابلیت چرخش دهی گذرگاهها باید همراه با مقایسه ظرفیت هواپذیری آنها باشد.

ممکن است گذرگاهی بتواند با پیچ و خمهای متعدد چرخش زیادی را ایجاد نماید ولی مقاومت مسیر در مقابل جریان دبی هوا را کاهش داده که به نوبه خود بر میزان سوخت مصرف شده و قدرت خروجی اثر منفی می‌گذارد شکل ۱۰ ظرفیت هواپذیری چند نوع گذرگاه را نشان می‌دهد. در این شکل گذرگاه *B* در مقایسه با دیگر گذرگاهها ظرفیت هواپذیری خوبی را عرضه می‌کند.



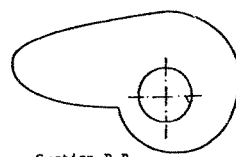
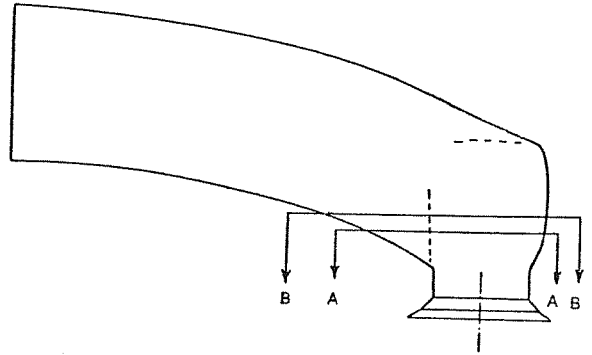
شکل ۱۰- مقایسه ظرفیت هواپذیری گذرگاههای مختلف

الف) در همه حالات جریان اصلی ورودی با یک جریان مخالف روبرو میشود که در نتیجه آن گردابه‌های مخالف شیه حالتی که در گذرگاه مستقیم برای لیفت‌های پائین تشکیل میشود بوجود می‌آید.

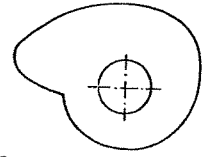
ب) در فاصله یک قطر سیلندر از سر سیلندر دو گرداب مخالف بر تیغه‌های بادسنج اثر کرده و چرخشی بوجود نمی‌آید.

ج) در لیفت‌های بالای سوپاپ یک جریان معکوس عمودی وجود دارد که مقدار آن روی قطر 120° بیشتر است. بررسی جریان در داخل گذرگاه قبل از سوپاپ توسط نخ‌های ظریف نشان داد که ساقه سوپاپ جریان هوا را به دو قسمت تقسیم میکند و این خود باعث تضعیف قدرت ایجاد چرخش هوا توسط گذرگاه میشود. برای اصلاح این وضع قسمتی از سطح مقطع گذرگاه توسط خمیر مخصوص پلاستیسین (Plasticine) پوشانده شد (شکل ۱۴) و فرم جدید گذرگاه (که D_1 نامیده میشود) بهبودی در سطح چرخش بوجود آورد. شکل ۱۵ ارقام جدید را نشان میدهد. گرچه در لیفت‌های پائین سوپاپ مثلاً در $V.L. = 2mm$ میزان چرخش ثابت باقی می‌ماند که خود نشان دهنده ضعف این فرم از گذرگاه است. افزایشی که در میزان چرخش بوجود آمد در مقابل کاهش ظرفیت هواپذیری حاصل شد. شکل ۱۶ این کاهش را نشان میدهد.

ثابت ماندن دبی در لیفت‌های بالای سوپاپ نشان میدهد که گشودگی سوپاپ عامل کنترل دبی نخواهد بود بلکه کاهش سطح مقطع جریان خود بصورت عامل کنترل کننده درآمده



Section B-B



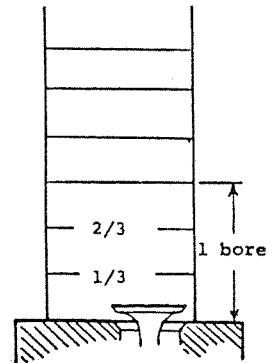
Section A-A

شکل ۱۲ - نمای جانبی و دو مقطع گذرگاه D

200	350	400	900	3150	1700	2000	2300
100-200	350	450	900	1300	1800	2000	2400
100-200	100-200	200-300	550	1150	1400	2000	2300
300	0-200	0-200	800	1600	1900	2000	2300
630	100-500	0-100-500	700-800	1300	1600	1900	1900
0-100	200-300	200-300	650	1200	1250	750	600
V.L.=1.3	2.5	3.8	5	6.3	7.6	10	11.4 mm

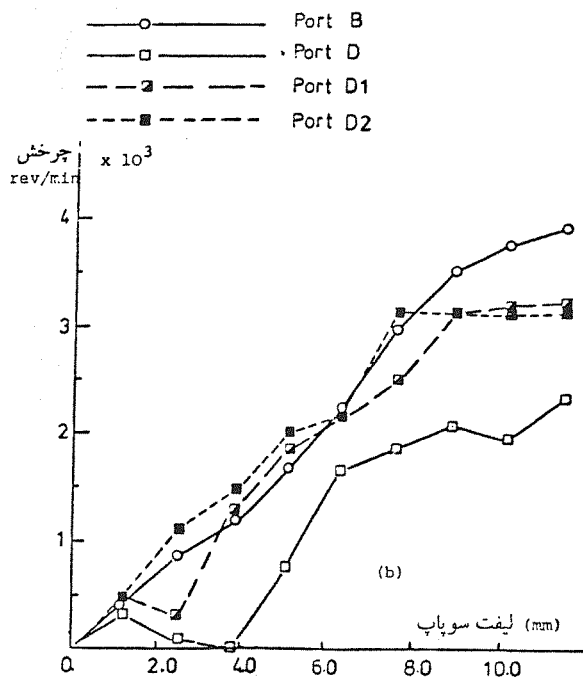
(2.5 cm dia. restrictor)

1000	1400	1200	2100	3000	4000	4400	4500
1000	1600	800	2200	3200	4000	3500	3500
300	0	0	1100	2000	2700	3200	3500
500	0	0	800	1800	2400	2500	2400
400	-300-	-200-	100-300	1400	1700	800	700
	(-100)	(-100)					
V.L.=1.3	2.5	3.8	5	6.3	7.6	10	11.4 mm



(مقادیر چرخش بر حسب دور در دقیقه)

شکل ۱۳ - میزان چرخش بادسنج برای گذرگاه D



شکل ۱۶- مقایسه میزان چرخش بادسنج برای گذرگاههای مختلف

علت محدودیت سطح مقطع کوچک و گلوگاه شدن مسیر میزان چرخش ثابت می ماند. در $V.L. = 2/5 \text{ mm}$ برخلاف گذرگاههای D و D_1 کاهشی در میزان چرخش مشاهده نشد البته ظرفیت هواپذیری از بقیه گذرگاهها کمتر شده است لذا تصمیم گرفته شد جهت جبران کاهش حاصله در سطح مقطع جریان از جداره مقابل قسمت خمیرها مقداری از دیواره تراشیده شود در نتیجه خط مرکزی گذرگاه مختصری تغییر مکان میدهد. بمنظور سهولت در عملیات اصلاح گذرگاه مدل سر سیلندر به دو نیمه بریده شد. تراش قسمتهای جداره در دو مرحله انجام شد (شکل ۱۸). گذرگاه حاصله با نصب خمیر و بدون خمیر و تحت آزمایش قرار گرفت. بنابراین چهار گذرگاه جدید بدین ترتیب بدست آمد:

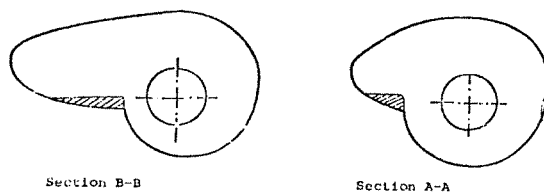
F_1 گذرگاه = (گذرگاه D) + (مرحله اول تراش جداره)

F_2 گذرگاه = (F_1 گذرگاه) + (نصب خمیر پلاستیسین)

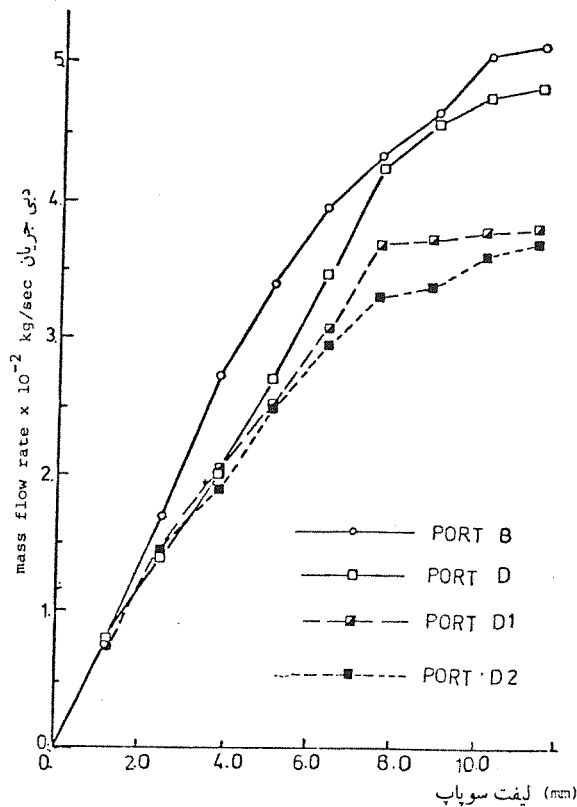
G_1 گذرگاه = (D گذرگاه) + (مرحله دوم تراش جداره)

G_2 گذرگاه = (G_1 گذرگاه) + (نصب خمیر پلاستیسین)

میزان چرخش و ظرفیت هواپذیری برای گذرگاههای فوق الذکر اندازه گیری شده و نتایج در شکل ۱۹ نشان داده شده است. چرخش هوا برای گذرگاه G_2 و F_2 بسیار بالا بدست آمد (حتی بیش از گذرگاه B). البته در لیفت های بالای سوپاپ ظرفیت هواپذیری آنها از گذرگاه B حدود ۲۰ درصد کمتر بدست آمد. بنابراین میزان چرخش بهینه را میتوان با تغییرات باز هم بیشتر



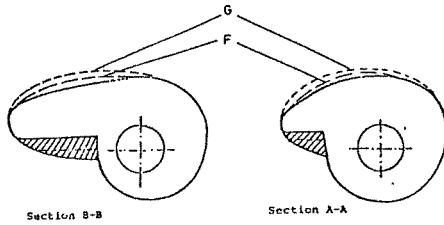
شکل ۱۴- محل نصب خمیر در سطح مقطع گذرگاه D_1



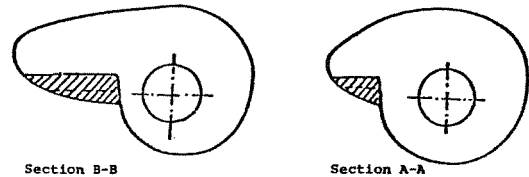
شکل ۱۵- مقایسه ظرفیت هواپذیری گذرگاهها

است. ثابت ماندن میزان چرخش هم در این منطقه به همین علت است.

برای توقف کامل جریان ثانویه در پشت سوپاپ خمیر بیشتری در جداره گذرگاه اضافه شد. شکل ۱۷ گذرگاه D_2 را نشان میدهد. اندازه گیری میزان چرخش تولید شده توسط این گذرگاه نشان داد که در لیفت های پائین و متوسط ارقام بهتری حتی بیش از گذرگاه B حاصل می شود. البته در لیفت های بالا به



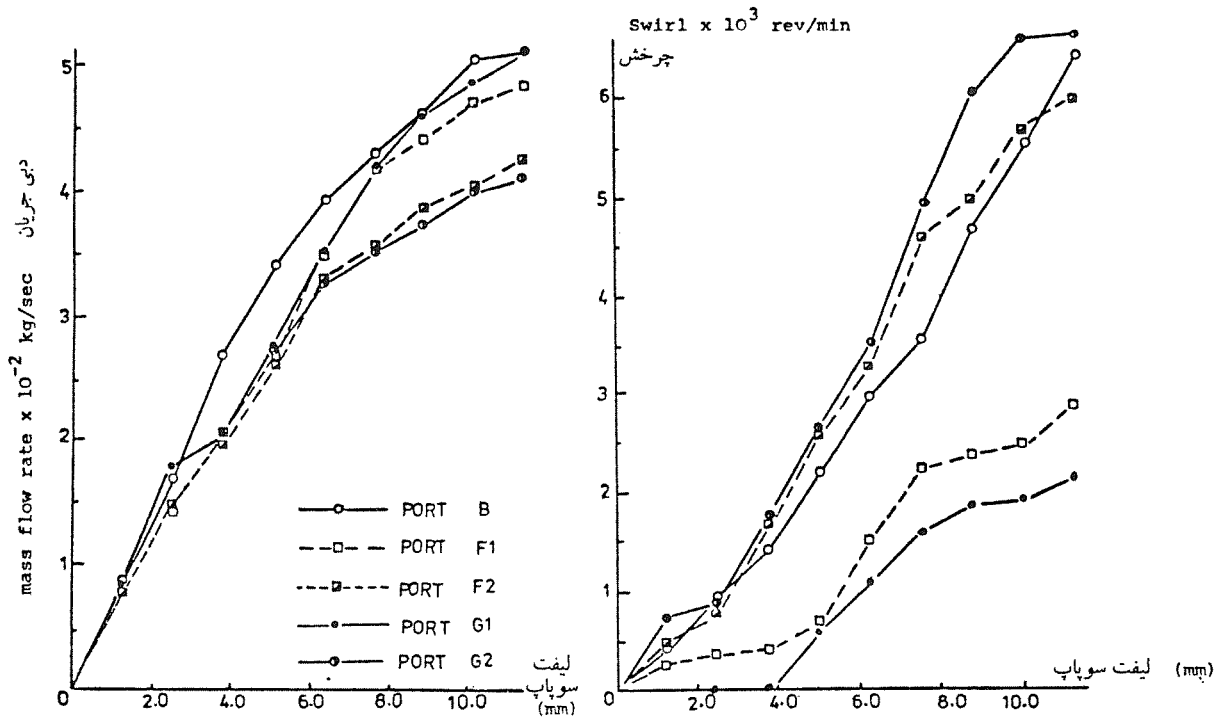
شکل ۱۸- مقاطع گذرگاه F و G و محل تراش جدااره



شکل ۱۷- مقاطع گذرگاه D_2 و محل نصب خمیر

نهایت با توجه به نوع سوخت پاش و پارامترهای مربوطه بهترین گذرگاه با مناسبترین راندمان و کمترین آلودگی تعیین می شود. بررسی این پارامترها در مقاله بعدی ارائه خواهد شد.

بدست آورد. اثر این اصلاحات البته باید در نهایت روی موتور واقعی آزمایش گردد و همانگونه که گفته شد پارامترهای دیگری نظیر شکل مانیفولد، تعداد سیلندر و فرم محفظه احتراق در انتخاب بهترین چرخش دخالت دارند. بدیهی است در



شکل ۱۹- مقایسه میزان چرخش بادسنج و ظرفیت هواپذیری گذرگاههای مختلف

منابع:

- 1- Heywood, J.B. "Internal Combustion Engine Fundamentals" Mc Graw Hill, 1988.
- 2- Ohigashi, S. "Swirl - its measurements and effect on combustion in a diesel engine." I. Mech. E Conf. on Air Pollution Control 1971.
- 3- Annand, W.J.D. & Rose, G.E. "Gas Flow in IC Engines" G.T. Foulis & co. 1974.
- 4- Sohrabi. A.A. "Inlet Port design and Air Motion in Diesel Engines", Ph. D. Thesis Univ. of London 1980.
- 5- Witze, P.O. "A Critical Comparison of Hot-Wire anemometry and Laser Doppler Velocimetry for I.C. Engine Applications." SAE Paper 800132, vol. 98, 1980.
- 6- Liou, T.M., and Santavicca, D.A. "Cycle Resolved LDV Measurements in a Motored IC Engine." ASME Trans. J. Fluid Eng. Vol. 107, 1985.