فصل اول

معرفی طرح چندراهه خروجی یکپارچه با بستار

۱-۱- مقدمه

در سال‌های اخیر مصرف سوخت کمتر و آلودگی هر چه کمتر در صنعت خودروسازی جایگاه ویژه‌ای یافته است. امروزه بحث آلودگی تا آنجا اهمیت یافته که تمامی سازندگان خودرو موظف به پایبندی به استانداردهای زیست محیطی شده‌اند. تأثیر گاز CO_2 در گرم شدن کره زمین باعث شده اتحادیه اروپا سیاستی بلند مدت اتخاذ کند که طی آن تا سال ۲۰۱۵ هر خودرو به میزان $130\ \frac{\text{gr}}{\text{km}}$ ، گاز CO_2 تولید کند[۱۰]. برای کمتر تولید کردن این گاز، دو راه‌کار وجود دارد [۹]:

۱- احتراق کاملاً تحت کنترل و طبقه‌بندی شده باشد. به عبارت دیگر سامانه‌ای در موتور ایجاد گردد که در شرایط مختلف کاری جرقه به طور خودکار و در زمان مناسب ایجاد شود.

۲- کوچک‌سازی[1] موتور: با کوچک کردن هرچه بیشتر موتور و به طور کلی خودرو، مصرف سوخت نیز کاهش می‌یابد. درصورت کوچک شدن موتور اتلاف حرارت از موتور و اتلاف اصطکاک کمتر شده و حرارت تولید شده در محفظه احتراق به صورت بهینه مصرف می‌شود. در صورتی که شرایط کاری موتور به دورهای بالا منتقل شود، که در آن ناحیه بازده حرارتی بیشتر است مصرف سوخت کاهش خواهد یافت [۱۴]. در این روش قطعات موتور نیاز به حفاظ حرارتی مناسب داشته و از غنی‌سازی مخلوط سوخت و هوا برای خنک‌کاری پرهیز می‌شود.

کوچک‌سازی موتور توسط کاهش مصرف سوخت و غنی‌سازی کمتر و نیز فراهم کردن شرایط لازم برای کارکرد بهتر واکنشگر[2]، میزان آلودگی‌ها را کاهش می‌دهد. تأثیر یکپارچه‌سازی بعضی قطعات در کوچک نمودن اندازه موتور، مصرف کمتر سوخت و آلایندگی کمتر در سال‌های اخیر و تأثیراتی از قبیل

[1] - Downsizing

[2] - Catalyst Convertor

کاهش هزینه تولید، موجب شده خودروسازان به تدریج به یکپارچه‌سازی قطعات روی آورند. یکپارچه-سازی قطعات موتور با فراهم نمودن شرایط بهتر جانمایی و کاهش وزن موتور شرایط آیرودینامیکی بهتری را برای خودرو رقم می‌زند. در صورتی که چندراهه خروجی بصورت یکپارچه با بستار[۳] تولید شود شرایط مطلوبی را فراهم خواهد نمود.

قطعاتی را که طی عمر خودرو به احتمال زیاد سالم می‌مانند می‌توان بصورت یکپارچه تولید کرد. یکپارچه کردن[۴] به این معنی است که قطعات در زمان ریخته‌گری با هم تولید شوند. این عمل پیچیدگی-های تولید را افزایش داده اما وزن موتور، فضای مورد نیاز آن و هزینه‌های تولید تا حدی کاهش می‌یابد. در این میان هزینه‌های تولید بواسطه حذف قطعات احتمالی برای هم‌بندی قطعات، کوتاه شدن فرآیند هم‌بندی موتور، کاهش هزینه نیروی انسانی جهت هم‌بندی، هزینه‌های انبارداری و دیگر موارد کاهش می‌یابد. از سوی دیگر استفاده بیشتر از فلز آلومینیوم در موتور نیز باعث کاهش وزن موتور، گرم شدن سریع‌تر و هزینه کمتر تولید می‌گردد.

۱-۲- معرفی طرح

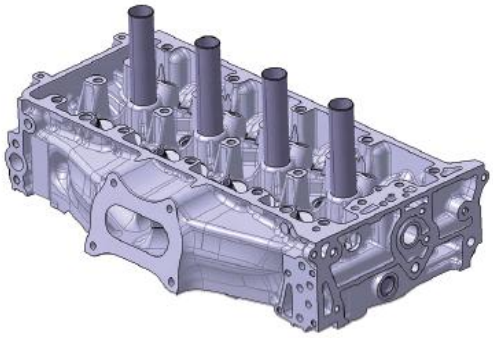
چندراهه خروجی[۵] در موتورهای مرسوم قطعه‌ای جدا و از جنس چدن است. در موتورهای کنونی چندراهه خروجی چدنی توسط پیچ به بستار متصل می‌شود. چدن مقاومت حرارتی نسبتاً خوب و چگالی در حدود $7800\frac{kg}{m^3}$ دارد که باعث بیشتر شدن وزن موتور می‌گردد. چندراهه خروجی در موتور نقش

[3] - Cylinder Head

[4] - Integration

[5] - Exhaust Manifold

خروج گازهای حاصل از احتراق را به نحوی مطلوب بر عهده دارد و بر گشتاور و قدرت خروجی موتور تأثیرگذار می‌باشد. این طرح به بررسی یکپارچه سازی چندراهه خروجی می‌پردازد (شکل۱- ۱). در این طرح با یکپارچه ساختن چندراهه خروجی با بستار جنس چندراهه خروجی از چدن به آلومینیوم تغییر می‌کند، به این ترتیب چندراهه خروجی هنگام ریخته‌گری با بستار تولید می‌گردد.



شکل(۱-۱)- چندراهه یکپارچه با بستار در خودرو Honda Insight [۱۷]

۱-۲-۱- راه‌های متفاوت برای یکپارچه سازی چندراهه خروجی

۱- چندراهه خروجی یکپارچه با بستار[۶] شکل (۱-۱)

۲- چندراهه خروجی یکپارچه با پورخوران[۷] شکل (۱-۳)

۳- چندراهه خروجی یکپارچه با واکنشگر[۸] شکل (۱-۲)

[6] - Integrated Exhaust Manifold into Cylinder Head

[7] - Integrated Exhaust Manifold into Turbo Charger

[8] - Integrated Exhaust Manifold into Catalyst Convertor

هر سه روش فوق تجاری‌سازی شده و در موتورهای مختلف به اجرا درآمده است. در این میان چندراهه خروجی یکپارچه با پورخوران و واکنشگر ساده‌تر به نظر می‌رسد، زیرا تغییرات عمده‌ای در چندراهه خروجی صورت نمی‌گیرد. تغییراتی که بعد از چندراهه خروجی ایجاد می‌شود بر کارکرد موتور از جمله گشتاور و توان تأثیر بسزایی نداشته و تولید هر یک از آنها پیچیدگی چندانی به همراه ندارد. چندراهه خروجی یکپارچه با پورخوران در موتور خودرو Toyota مدل 3s و چندراهه خروجی یکپارچه با واکنشگر در موتور خودرو BMW مدل E39 به اجرا درآمده است. چندراهه خروجی یکپارچه با بستار در عملکرد موتور کاملاً تأثیرگذار و در مرحله طراحی و تولید پیچیده‌تر است. با این وجود چندراهه خروجی یکپارچه با بستار اهداف مورد نظر را بهتر و بیشتر تأمین نموده و از مزایای بیشتری برخوردار است.

شکل (۱-۲) – چندراهه خروجی یکپارچه با واکنشگر

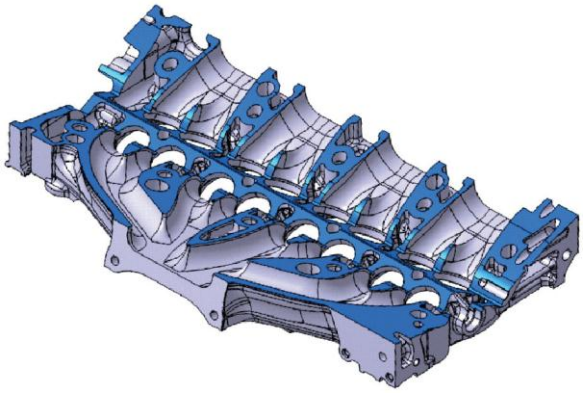
شکل (۱-۳) – چندراهه خروجی یکپارچه با پورخوران

۱-۲-۲- چندراهه خروجی یکپارچه با بستار (IEM)

مطابق با این طرح چندراهه خروجی چدنی بصورتی که در موتورهای قدیمی است حذف شده و شاخه-های[۹] چندراهه خروجی تماماً در بستار آلومینیومی ریخته‌گری می‌شود. پس از باز شدن سوپاپ

[9] - Runners

خروجی[10] گازهای حاصل از احتراق وارد شاخه‌ها شده و پس از گذر از شاخه مشترک[11] درون بستار، از آن خارج می‌شود. سامانه پرخوران[12] به خروجی شاخه مشترک در بستار متصل می‌شود. پس گازهایی که از بستار خارج می‌شوند توربین را به چرخش درمی‌آورند شکل (۱-۴). یکپارچه‌سازی چندراهه خروجی با بستار نیاز به خنک‌کاری بیشتر بستار دارد، زیرا شار حرارتی که در حالت استاندارد از موتور خارج می-گشت در حالت یکپارچه وارد بستار شده است. همچنین مقاومت حرارتی چدن 400°C است در حالی که مقاومت حرارتی آلومینیوم به طور متوسط 300°C است[۳۱]. بنابراین سطح خنک‌کاری در بستار بایست افزایش یافته و سامانه خنک‌کاری تغییراتی را شامل می‌گردد.



شکل (۱-۴)- نمای برش خورده از چندراهه خروجی یکپارچه با بستار و شاخه‌های چندراهه خروجی درون بستار [۱۷]

۱-۳- تاریخچه

نخستین بار در سال ۱۹۹۹ کمپانی Honda در خودرو مدل Insight طرح چندراهه خروجی یکپارچه با بستار (IEM) را به اجرا درآورد. در این خودرو کاهش مصرف سوخت وکاهش سطح آلودگی موتور به

[10] - Exhaust Valve

[11] - Plenum

[12] - Tubo Charger

شدت مورد توجه قرار گرفت طوری که مصرف سوخت به میزان ۳/۴ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر رسید. کاهش مصرف سوخت در این خودور با رعایت موارد زیر تحقق یافت:

۱- کاهش وزن خودرو: استفاده بیشتر از قطعات آلومینیومی و پلاستیکی در خودرو وزن آن را کاهش داد.

۲- جانمایی بهینه: با جانمایی بهینه و یکپارچه‌سازی، فضای اشغال شده موتور و بنابراین مقاومت آیرودینامیکی خودرو تا حد زیادی کاهش یافت.

۳- سامانه هیبریدی

توسط عواملی از جمله سامانه هیبریدی و چندراهه خروجی یکپارچه با بستار استاندارد کسب شده آلایندگی نصف استاندارد ژاپن و اروپا در سال ۲۰۰۰ بود. جدول (۱-۱) موتورهایی را نشان می‌دهد که در آنها چندراهه خروجی یکپارچه با بستار (IEM) به اجرا درآمده است.

جدول (۱-۱)- مشخصات چند خودرو که در آنها چندراهه خروجی یکپارچه با بستار به اجرا در آمده است.

شرکت سازنده	مدل	تعداد سیلندر	تعداد سوپاپ	ماکزیمم گشتاور N.m@RPM	ماکزیمم توان hp@RPM	حجم موتور(lit)
Honda	Insight	3	12	123@2000	73@5700	1
Honda	Accord	6	24	336@5000	268@6200	3.5
Honda	Fit	4	16	144@4800	117@6600	1.5
Honda	Acura	6	24	344@5000	280@6200	3.5
Honda	Odyssey	6	24	339@5000	255@5750	3.5
Lotus	Opel	3	6	240@2500	158@5000	1.5
Holden	Calasia	6	24	350@2900	210@6400	3.6
Chevrolet	Suburban	8	32	447@4000	295@5200	5.3

۱-۴- تحقیقات انجام شده

۱- کوجیما [۱۷] از شرکت خودروسازی هوندا در سال ۲۰۰۸ طرحی را معرفی نمود که در آن سعی شده بود تا حد امکان عملکرد موتور ارتقا و آلودگی کاهش یابد. او با یکپارچه نمودن چندراهه خروجی و بستار در طرح خود به این موضوع پی‌برد که این طرح موجب گرم شدن سریع‌تر واکنشگر و کاهش آلودگی‌ها در راه‌اندازی سرد[۱۳] می‌شود. او با خنک‌کاری چندراهه خروجی از دمای گازهای خروجی کاست و افزایش قابلیت اطمینان سامانه خروجی را ایجاد کرد، و با عدم غنی‌سازی در دورهای بالا مصرف سوخت را در دورهای بالا کم نمود. کوجیما یکی از مزایای چندراهه خروجی یکپارچه با بستار را که در یک موتور با تنفس طبیعی اجرا کرد کاهش هزینه تولید[۱۴] (BOM) اعلام نمود.

۲- واتانب و دیگران [۱۵] از شرکت خودروسازی هوندا در سال ۲۰۰۷ در توسعه یک موتور پایه گازسوز تنفس طبیعی[۱۵]، چندراهه خروجی آن را نیز با بستار یکپارچه نموده و به مزایای یکپارچه نمودن از جمله نزدیک‌تر شدن واکنشگر به بستار و فعال شدن سریع‌تر واکنشگر و کاهش آلاینده‌ها اشاره نمودند.

۳- بورمن و دیگران [۹] از شرکت خودروسازی فورد در سال ۲۰۰۹ به صورت متمرکز چندراهه خروجی یکپارچه با بستار را در یک موتور پرخوران[۱۶] مورد بررسی قرار داده و به مقایسه آن با چندراهه استاندارد قبلی پرداختند. آنها به مزایای سرشار این طرح از جمله کاهش هزینه تولید، کاهش مصرف سوخت، کاهش آلاینده‌ها و دیگر مزایا پرداختند. آنها این طرح را یک طرح برنده- برنده اعلام نمودند،

---

[13] - Cold Start

[14] - Bill of Materials

[15] - Natural Aspirated

[16] - Turbo Charge

زیرا هم موجب جلب رضایت مشتری شده و هم عملکرد موتور را بهبود بخشیده و هزینه‌های تولید را برای خودروساز کاهش می‌داد.

۴- در سال ۲۰۰۸ شرکت تحقیقات موتور لوتوس [۱۱و۱۲و۱۳] موتوری سه سیلندر با نام Sabre و مشخصاتی را که در جدول (۱-۲) آمده تولید نمودند. در این موتور که چندراهه خروجی با بستار یکپارچه‌سازی شده بود بهبود عملکرد موتور، کاهش مصرف سوخت، کاهش وزن موتور و کاهش آلاینده‌ها از اهداف اولیه بوده است. این موتور اخیراً در خودرو اپل استفاده شده است.

جدول (۱-۲)- مشخصات موتور Sabre که توسط شرکت لوتوس تولید شده و در خودرو Opel استفاده شد. [۱۱و۱۲و۱۳]

حجم جابجایی	1.5 lit
طول کورس	82.1 mm
قطر پیستون	88 mm
نسبت تراکم	10.2
بیشینه توان	117 kw (157bhp) at 5000 Rpm
بیشینه گشتاور	240 Nm (from 2000 to 4000 Rpm)
بیشینه BMEP[17]	20.1 bar
بیشینه فشار هوای ورودی	1.0 bar
بیشینه فشار تزریق سوخت	200 bar
سوخت	95 RON ULG

[17] - Brake Mean Effective Pressure

۱-۵- فرآیند شبیه‌سازی چندراهه خروجی یکپارچه با بستار

برای اجرای طرح چندراهه خروجی یکپارچه با بستار در فاز شبیه‌سازی فعالیت‌های زیر بایست انجام شود، شکل (۱-۵) فرآیند مراحل مورد نیاز را در این پروژه نشان داده است:

۱- تحلیل یک‌بعدی تبادل گاز در چندراهه خروجی

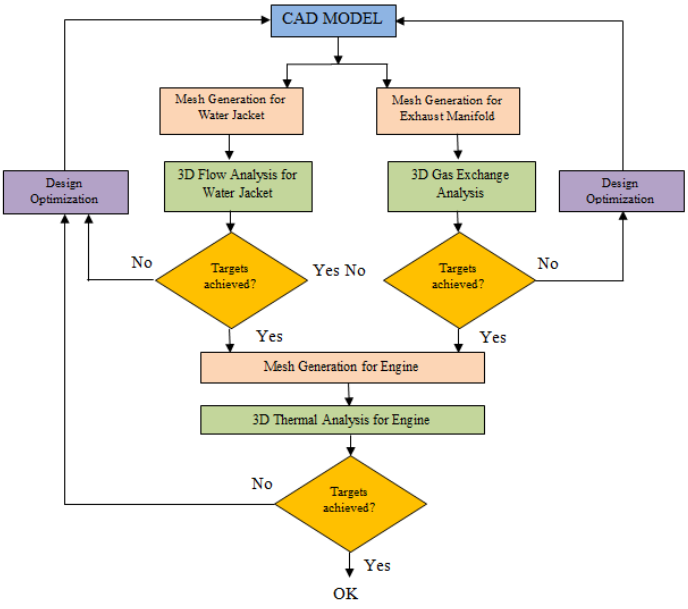
۲- جانمایی و تهیه مدل سه‌بعدی چندراهه خروجی

۳- المان‌بندی چندراهه خروجی

۴- تحلیل بازده تنفسی در چندراهه خروجی

۵- تحلیل سیالاتی یک‌بعدی سیال خنک‌کننده در مسیر خنک‌کاری

۶- جانمایی و تهیه مدل سه‌بعدی مسیر خنک‌کاری



شکل (۱-۵)- فرآیند فعالیت‌های مورد نیاز در اجرای پروژه چندراهه خروجی یکپارچه با بستار

۷- تحلیل سیالاتی سه بعدی مسیر خنک‌کاری موتور

۸- تحلیل حرارتی بستار و بلوک جدید

در این پروژه طرح چندراهه خروجی یکپارچه با بستار در موتور EF7 با سامانه پرخوران که به موتور EF7 TC معروف است، اجرا می‌شود شکل (۱-۶). طرح چندراهه خروجی یکپارچه با بستار بهتر است در موتوری با سامانه پرخوران اجرا شود، زیرا بیشینه دما در سامانه خروجی موتور پرخوران بیشتر است و مزیت‌های طرح نسبت به موتور پایه بیشتر است. موتور EF7 موتوری چهار سیلندر، بنزینی و با بستار آلومینیومی است. مشخصات عمومی موتور EF7 TC در جدول (۱-۳) آورده شده است.

جدول (۱-۳)- مشخصات موتورEF7 Turbo

مشخصه	مقدار	واحد
حجم موتور	1.7	lit
حجم جابجایی موتور	1648	Cm^3
تعداد سیلندر	4	
قطر پیستون	78.6	mm
طول کورس	85	mm
ضریب تراکم	9.8	
تعداد سوپاپ	16	
نوع سوخت	بنزین (پایه گازسوز)	
بیشینه توان	110 (150hp) at 5500 RPM	Kw
بیشینه گشتاور	215 From 2200 to 4800	Nm
استاندارد آلایندگی	یورو ۴	

۱-۵-۱- جانمایی و تهیه مدل سه‌بعدی

در نخستین مرحله از این طرح بایست چندراهه خروجی درون بستار جانمایی گردد. چندراهه خروجی نسبت به قبل در طول، انحناء شاخه‌ها تغییرات محدودی را شامل می‌شود. به علاوه تبادل حرارت بیشتر گازهای خروجی در بستار و تغییر جنس چندراهه خروجی از چدن به آلومینیوم باعث لزوم تغییرات در سامانه خنک‌کاری بستار خواهد شد. بدیهی است این باعث می‌شود عرض بستار (حداقل در مقطع چندراهه خروجی) افزایش یابد اما در مجموع جانمایی بهبود یافته و نسبت به حالت استاندارد شرایط بهتری ایجاد می‌شود. در این مرحله بایست مدل سه‌بعدی اجزاء زیر تهیه شود تا در نهایت هم‌بندی[۱۸] شوند:

۱- چندراهه خروجی

۲- مسیر خنک‌سازی[۱۹]

۳- بستار جدید

۱-۵-۲- تحلیل بازده تنفسی[۲۰] (تبادل گاز[۲۱])

عواملی از قبیل تغییر هندسه، سطح مقطع، جنس چندراهه خروجی و نزدیک شدن توربین سامانه پرخوران به بستار سبب می‌شود تا شرایط تنفسی موتور به هم ریخته و احتمالاً در سامانه خروجی فشار

[18] - Assembly

[19] - Water Jacket

[20] - Volumetric Efficiency

[21] - Gas Exchange

عقبی[۲۲] ایجاد گردد، بنابراین بایست تحلیل بازده تنفسی مورد بازبینی قرار گیرد. با این حال در موتورهایی که سیستم پرخوران موجود است تحلیل راندمان بازده تنفسی از اهمیت چندانی برخوردار نمی‌باشد.

۱-۵-۳- تحلیل سیالاتی[۲۳] مسیر خنک‌کاری

چدن مقاومت حرارتی بیشتری نسبت به آلومینیوم دارد. تغییر جنس چندراهه خروجی از چدن به آلومینیوم افزایش سطح خنک‌کاری را در بستار موجب می‌شود. به این ترتیب مسیر جدیدی برای خنک-کاری بستار بایست طراحی شود تا کاهش مقاومت حرارتی چندراهه خروجی آلومینیومی را جبران سازد. مسیر خنک‌کاری جدید در بستار بایست شرایط مطلوب را دارا باشد. از جمله شرایط مورد نیاز در مسیر خنک‌کاری بستار، سرعت و فشار قابل قبول در نقاط مختلف مسیر خنک‌کاری است. برای تبادل حرارت مطلوب در مسیر خنک‌کاری، سرعت سیال خنک‌کن بخصوص در نقاط حساس بایست مناسب باشد. به این ترتیب مسیر خنک‌کاری جدید در طرح چندراهه خروجی یکپارچه با بستار بایست تحلیل گردد.

۱-۵-۴- تحلیل حرارتی

همان طور که اشاره شد، با توجه به اینکه مقاومت حرارتی آلومینیوم نسبت به چدن در چندراهه خروجی قدیمی کمتر است، لزوم خنک‌کاری شاخه‌های چندراهه خروجی در بستار مطرح می‌شود. بدین

[22] - Back Pressure

[23] - Flow Analysis

ترتیب مسیرهای آب[۲۴] اطراف شاخه‌های چندراهه خروجی بخصوص در نقاطی که دمای گازها حین عبور بالاتر به نظر می‌رسد، در نظر گرفته می‌شود. ورود شار حرارتی گازهای خروجی به بستار و ایجاد مسیر خنک‌کاری جدید اطراف چندراهه خروجی شرایط تعادل حرارتی بستار را تغییر داده و پروفیل دمای بستار به هم می‌ریزد. شار حرارتی بیشتری که از گازهای خروجی وارد بستار می‌شود امکان افزایش دمای بستار را فراهم می‌سازد. از این رو بستار جدید بایست تحلیل حرارتی شود تا از شرایط مناسب حرارتی در نقاط مختلف آن اطمینان حاصل شود.

[24] - Water Jacket

فصل دوم

مزایا و معایب چند راهه خروجی یکپارچه با بستار (IEM)

۲-۱- مقدمه

چندراهه خروجی یکپارچه با بستار معمولاً با این دیدگاه مطرح می‌شود که بستار از جنس آلومینیومی[۱] بوده و چندراهه خروجی که در موتورهای مرسوم بکار برده می‌شود، قطعه‌ای جدا و از جنس چدن[۲] است.

۲-۲- مزایای چندراهه خروجی یکپارچه با بستار

۲-۲-۱- کاهش وزن موتور

در طرح چندراهه خروجی یکپارچه با بستار چگالی کم آلومینیوم و حذف قطعات زائد، وزن موتور را کاهش می‌دهد. وزن بستار موتور EF7 TC ماشین‌کاری نشده در حالت استاندارد ۱۴/۶ کیلوگرم و وزن چندراهه خروجی چدنی با چگالی $\frac{\mathrm{Kg}}{\mathrm{m}^3}$ 7800 ، ۳/۹ کیلوگرم است، بنابراین بستار و چندراهه خروجی جمعاً وزنی معادل ۱۸/۵ کیلوگرم دارند. از جرم پیچ‌ها و واشر بستار چشم‌پوشی شده است. در حالی که وزن چندراهه خروجی یکپارچه با بستار در موتور EF7 TC ماشین‌کاری نشده که از جنس آلومینیوم با چگالی $\frac{\mathrm{Kg}}{\mathrm{m}^3}$ 2700 است، ۱۵/۳ کیلوگرم می‌باشد. بنابراین این طرح موجب کاهش وزن بستار به اندازه ۳/۲ کیلوگرم خواهد شد.

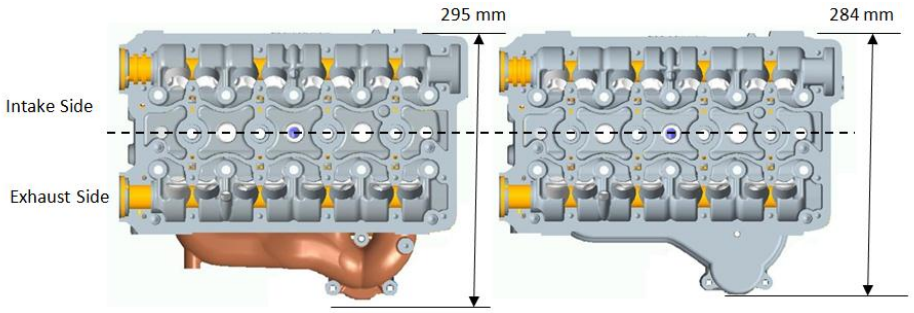
---

[۱] - Aluminum

[2] - Cast Iron

۲-۲-۲- کوچک‌سازی[3] موتور

چندراهه خروجی یکپارچه با بستار فضای مورد نیاز بستار و چندراهه خروجی را کاهش می‌دهد، بنابراین جانمایی در محفظه موتور بهبود می‌یابد. در اجرای اولیه این طرح در موتور EF7 TC سعی شده است تا حد امکان انحنای چندراهه خروجی دچار دگرگونی نشود، اما در صورتی که انحنای چندراهه خروجی به صورت بهینه طراحی شود، فضای مورد نیاز چندراهه خروجی یکپارچه با بستار کاهش می‌یابد. در طرح بورمن و دیگران [۹] چندراهه خروجی یکپارچه با بستار نسبت به طرح کلاسیک همان موتور جانمایی بهتری داشته است. با اجرای این طرح در موتور EF7 TC همان‌طور که در شکل (۲-۱) نیز نشان داده شده است عرض بستار همراه با چندراهه خروجی از 295 mm در حالت استاندارد به 284 mm در حالت یکپارچه رسیده است.



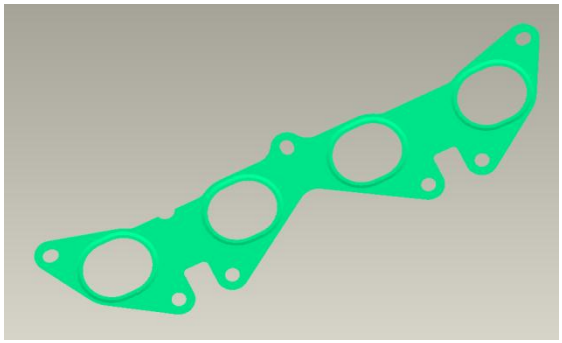
شکل (۲-۱)- مقایسه بستار در موتور پایه (سمت چپ) و بستار در طرح چندراهه خروجی یکپارچه با بستار (شکل راست)، عرض بستار تا فلنج توربین در حالت یکپارچه ۲۸۴ میلی‌متر و در حالت پایه ۲۹۵ میلی‌متر است.

۲-۲-۳- کاهش هزینه تولید

به دلیل حذف قطعاتی مانند واشر آب‌بندی چندراهه خروجی[4] که بین بستار و چندراهه خروجی بوده و از جنس چدن می‌باشد (شکل ۲-۲)، پیچ‌های اتصال بستار و چندراهه خروجی، کوتاه شدن فرآیند هم‌بندی تولید

[3] - Downsizing

و حذف آلیاژهایی که به جهت بالاتر بردن مقاومت حرارتی چدن به سامانه خروجی اضافه می‌گردد، هزینه تولید کمتر می‌شود. از جمله قطعات مسأله‌ساز موتور واشر آب‌بندی چندراهه خروجی است که همواره مقداری نشتی در آن مشاهده می‌شود. مقاومت حرارتی مورد نیاز در این واشر موجب افزایش قیمت آن شده است. به این جهت حذف این قطعه تا حدود زیادی هزینه تولید را کاهش می‌دهد. در بخش (۲-۲-۱۶) در مورد کاهش هزینه تولید توضیحات بیشتر داده شده است.



شکل (۲-۲)- واشر چندراهه خروجی در موتور حالت استاندارد موجب آب‌بندی گازهای خروجی می‌گردد.

۲-۲-۴- آب‌بندی گازهای خروجی

در موتورهای مرسوم که چندراهه خروجی، چدنی و جداست ضریب انبساط بستار و چندراهه خروجی متفاوت است، به دلیل تغییر ضریب انبساط همواره احتمال نشتی در نقطه اتصال وجود دارد. همچنین به دلیل آن که واشر آب‌بندی بستار و چندراهه خروجی در موتور حالت استاندارد هواره در معرض گازهای داغ خروجی است، این قطعه به مرور زمان سوخته و نشت گازهای خروجی را به دنبال دارد. در حالی که در طرح چندراهه خروجی یکپارچه، به علت یکپارچگی بستار و چند راهه خروجی نشت گازهای خروجی از بین می‌رود، شکل (۲-۳).

[4] - Exhaust Manifold Gasket

شکل (۲-۳)- با حذف واشر چندراهه خروجی امکان نشت گازهای خروجی از بین می‌رود.

۲-۲-۵- گرم شدن سریع‌تر موتور

در صورتی که در بدنه بستار حجم کنترلی دیفرانسیلی فرض شده و معادله انرژی برای آن نوشته شود، معادله دیفرانسیل (۲-۱) حاصل می‌شود[۴]. لازم به ذکر است در بدنه بستار تولید انرژی وجود ندارد، پس عبارت تولید انرژی برابر صفر است. اگر فرض شود تغییرات دما تنها در یک جهت وجود داشته و از تغییرات دما در دو جهت دیگر صرف‌نظر شود، و همچنین ضریب رسانایی ثابت باشد، عبارت (۲-۱) به عبارت (۲-۲) تبدیل می‌گردد. نظر به معادله (۲-۲) روشن می‌سازد که هرچه ضریب رسانایی K بیشتر بوده و عبارت ρC کوچک‌تر باشد، در راه-اندازی سرد بستار سریع‌تر به حالت پایا[5] می‌رسد. ρC در واقع بیان کننده ظرفیت گرمایی است که هرچه کوچک‌تر باشد ذخیره انرژی کمتر بوده بنابراین حرارت سریع‌تر و بیشتر منتقل می‌شود.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right)=\rho C\frac{\partial T}{\partial t} \qquad (۲-۱)$$

$$\text{if } \frac{\partial T}{\partial y},\frac{\partial T}{\partial z}=0\,,K=\text{Constant}\rightarrow\left(k\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\right)=\rho C\frac{\partial T}{\partial t} \qquad (۲-۲)$$

[5] -Steady

چون آلومینیوم رسانایی بیشتر و ρC_p کمتری نسبت به چدن دارد این باعث می‌شود حرارت را در بستار بیشتر و سریع‌تر منتقل کند. بنابراین حین راه‌اندازی سرد حرارت سریع‌تر و یکنواخت‌تر منتقل شده و موتور سریع‌تر گرم می‌شود. اگر بستار و چندراهه خروجی حجم کنترل در نظر گرفته شود و نشان داده شود در طرح یکپارچه‌سازی بستار با چندراهه خروجی $\mathrm{mC_p}$ مجموع نسبت به $\mathrm{mC_p}$ کلی در بستار کنونی کمتر است، بستار سریع‌تر به حالت پایا خواهد رسید.

$$\mathrm{mC_{cyl-ex}} = \mathrm{mC_{cyl}} + \mathrm{mC_{wj}} + \mathrm{mC_{ex}} = (\mathrm{V\rho C})_{\mathrm{cyl}} + (\mathrm{V\rho C})_{\mathrm{wj}} + (\mathrm{V\rho C})_{\mathrm{ex}} = 16764\,\frac{\mathrm{j}}{\mathrm{k}}$$

$$\mathrm{mC_{IEM}} = \mathrm{mC_{cyl}} + \mathrm{mC_{wj}} = (\mathrm{V\rho C})_{\mathrm{cyl}} + (\mathrm{V\rho C})_{\mathrm{wj}} = 16278\,\frac{\mathrm{j}}{\mathrm{k}}$$

$\mathrm{mC_{cyl-ex}}$: حاصل‌ضرب ظرفیت گرمایی ویژه و جرم برای بستار و چندراهه خروجی در موتور پایه

$\mathrm{mC_{cyl-IEM}}$: حاصل‌ضرب ظرفیت گرمایی ویژه و جرم برای بستار یکپارچه با چندراهه خروجی

$\mathrm{C_{cyl}}$: ظرفیت گرمایی ویژه بستار که از جنس آلومینیوم بوده و مقدار آن برابر با $871\,\frac{\mathrm{JKg}}{\mathrm{K}}$ می‌باشد.

$\mathrm{C_{wj}}$: ظرفیت گرمایی ویژه سیال خنک‌کننده (شامل آب $4182\,\frac{\mathrm{JKg}}{\mathrm{K}}$ و ضدیخ یا اتیلن گلیکول $2415\,\frac{\mathrm{JKg}}{\mathrm{K}}$ است.)

$\mathrm{C_{ex}}$: ظرفیت گرمایی ویژه چندراهه خروجی که از جنس چدن بوده و مقدار آن برابر با $434\ \frac{\mathrm{JKg}}{\mathrm{K}}$ می‌باشد.

V: حجم

ρ_{cyl} : چگالی بستار آلومینیومی $2700\,\frac{\mathrm{Kg}}{\mathrm{m^3}}$

ρ_{ex} : چگالی چندراهه خروجی چدنی $7800\,\frac{Kg}{m^3}$