دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۲۶
پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۲۱

معرفی وکاربرد سیستم‌های پرخوران چند مرحله‌ای در پهپادهای پروازی ارتفاع بالا

مصطفی محمودی[۱*]، استادیار، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر
علی امینایی[۲]، دانشجوی کارشناسی ارشد، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

*نویسنده مخاطب، آدرس تهران، صندوق پستی: ۱۷۷۴-۱۵۸۷۵
mostafamahmoodi@mut.ac.ir

کلیدی‌ترین روش افزایش توان و بهبود کارایی موتور در دورهای میانی استفاده از سیستم پرخوران در این موتورهاست. سیستم پرخوران فرآیندی است که با نصب یا افزایش مراحل متوالی فشرده‌سازی هوا توسط توربوشارژر انجام می‌شود. از مزیت‌های دیگر استفاده از سیستم پرخوران، کاهش تولید آلایندگی ناشی از موتورهای احتراق داخلی است. هدف این مقاله بررسی سیستم پرخوران توسط توربوشارژرها به روش‌های تک‌مرحله‌ای و چند مرحله‌ای می‌باشد. در سیستم‌های پرخوران چند مرحله‌ای از چندین خنک‌کننده هوا برای خنک‌کردن هوای ورودی به محفظهٔ احتراق استفاده می‌شود. سیستم پرخوران دو مرحله‌ای برای رعایت استانداردهای آلایندگی و موتورهای دیزلی که در ارتفاعات بالا از سطح دریا کار می‌کنند، استفاده می‌شود و سیستم پورخوران چند مرحله‌ای برای کاربری موتورهای بنزینی هوایی در ارتفاع بالای ۱۰ کیلومتر توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پرخوران، پرخوران دو مرحله‌ای، موتورهای احتراق داخلی، موتورهای دیزل.

The Introduction of Multi-Stage Turbocharger Systems used in Unmanned High-Altitude Flight

The key to maximizing power and improving engine performance during the mid-term is to use the turbocharged system on these engines. The turbulent system is a process that is performed by installing or increasing the succession of compressed air by the turbocharger. Another advantage of using a humorous system is to reduce the generation of emissions from internal combustion engines. The purpose of this article is to investigate the turbulent system by turbochargers in single-step and multi-stage methods. In multi-stage fluent systems, several cooling air is used to cool the air entering the combustion chamber. A two stage feeder system is used to meet pollutant standards and diesel engines working at high altitudes at sea level, and a multi-stage feedwater system is recommended for use on aerial gasoline engines at altitudes above 10 km.

Keyword: Turbocharged, two-stage turbocharged, internal combustion engines, diesel engines.

M. Mahmoodi[1*], Assistant Professor, Aerospace University Complex, Malek Ashtar University
A. Aminaee[2], M. Sc. Student, Aerospace University Complex, Malek Ashtar University

*Corresponding Author, Postal Code: 1774-15875, Tehran, IRAN
mostafamahmoodi@mut.ac.ir

مقدمه

گستردگی و تنوع کاربری‌های موتورهای احتراق داخلی و نیاز به گسترهٔ وسیع از توان در کاربردهای مختلف باعث توسعه و ارتقاء آن‌ها با توان و کارایی بیشتر در دورهای میانی شده است. توسعهٔ پایدار موتورها به طور قطعی با تداوم استانداردهای انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبطند. در طراحی‌های جدید محدودیت استفاده از انواع سوخت‌های فسیلی، استانداردهای سختگیرانه آلایندگی موتورهای احتراقی و نیاز به کاهش آلایندگی بیش از پیش اهمیت پیدا کرده است. محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی، ضرورت کاهش مصرف سوخت و افزایش استحصال انرژی از سوخت‌های فسیلی را ایجاب می‌کند.

در دهه‌ای اخیر با توجه به استانداردهای سختگیرانه آلایندگی برای بهبود کارایی و افزایش توان موتورها در دورهای میانی، سامانهٔ پرخوران چند مرحله‌ای مورد توجه قرار گرفته است. اخیراً پرخوران[1] یک جزء جدایی‌ناپذیر در طراحی موتور منظور می‌شود. این ویژگی علاوه بر افزایش توان موتور، بیش از هر سامانهٔ دیگر از نظر اقتصادی و انتشار آلایندگی در موتور تاثیر گذاراست. به همین دلیل پرخوران یکی از فناوری‌های کلیدی در طراحی موتورهای احتراق داخلی است. پرخوران‌ها در طیف وسیعی از موتورها از توان‌های پایین تا توان بیش از ۱۰۰۰۰ کیلو وات قدرت استفاده می‌شوند [۱].

نحوهٔ طراحی و انطباق سامانهٔ پرخوران با موتور برای شرایط مختلف دما و فشار محیط انجام می‌شود، به‌طوری‌که در محدودهٔ سطح دریا تا ارتفاع بالا و از سردترین تا گرم‌ترین دمای هوا بیشترین بازدهی و قابلیت اطمینان را داشته باشد. با توجه به کاربری‌های مختلف موتور، سامانهٔ پرخوران برای آن کاربری خاص به شکل تک مرحله‌ای یا چند مرحله‌ای استفاده می‌شود. در سامانه‌های تک مرحله‌ای یا چند مرحله‌ای از یک یا چند خنک‌کننده هوا استفاده می‌شود. خنک‌کننده هوا، هوای ورودی به موتور را خنک کرده و هوای خنک شده وارد محفظهٔ احتراق می‌شود.

از سال ۱۹۹۰ متخصصان ناسا بر روی سامانهٔ پیشرانش وسایل نقلیهٔ هوایی بدون سرنشین فعالیت می‌کنند. مشخصات این سامانه جلوبرنده، کار در ارتفاع بالا با سرعت کم، مداومت طولانی و هزینهٔ عملیاتی پایین است [۲]. متخصصین مختلف به طور جداگانه عملکرد موتورهای دیزلی مجهز به توربوشارژ و موتورهای توربوجت را با نسبت فشار بالا برای کار در ارتفاع بالاتر از ۱۸/۳ کیلومتری بررسی کرده‌اند. مقایسه‌ای میان موتور بنزینی، موتور دیزل، موتور توربوجت، توربوفن، موشک و سامانه‌های رانش مبتنی بر انرژی خورشیدی انجام شده است. در نهایت برای تأمین نیروی رانش پرنده بدون سرنشین در ارتفاع مذکور، موتور بنزینی مجهز به سامانهٔ پرخوران چند مرحله‌ای انتخاب شده است. این انتخاب به جهت کارایی بهتر موتور با سامانهٔ پرخوران چند مرحله‌ای بوده است. سامانهٔ پرخوران چند مرحله‌ای کارایی موتور در شرایط فشار و دمای پایین در ارتفاع حدود ۱۸ کیلومتری را تضمین کرده است [۲].

موارد دیگر استفاده از سامانهٔ پرخوران چند مرحله‌ای، در کاهش آلایندگی موتورهای دیزل دریایی با توجه به استاندارد سختگیرانه آلایندگی آن است. سازمان بین‌المللی دریایی سط حاول و سطح دوم مقررات انتشار آلایندگی گازهای خروجی از موتور را به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۱ منتشر کرده است، و در نهایت مقررات سطح سوم در سال ۲۰۱۶ منتشر شد. در مقایسه با سطح اول مقررات، میزان انتشار NOx در سطح دوم حدود ۲۰ درصد و در سطح سوم حدود ۸۰ درصد کاهش می‌یابد. کاهش آلایندهٔ NOx برابر مقررات سختگیرانه IMO[2] و حفظ راندمان موتور برای تولیدکنندگان و موسسات تحقیقاتی کار دشواری شده است. بهترین روش برای اجرای هم‌زمان استاندارد آلایندگی و حفظ راندمان موتور، استفاده از سامانهٔ پرخوران چند مرحله‌ای بوده است [۳].

معمولاً عملکرد موتورهای دیزلی که در مناطق کوهستانی استفاده می‌شود، به علت ارتفاع زیاد و فشار کم اتمسفر کاهش می‌یابد و در نتیجه قدرت موتور کم و مصرف سوخت افزایش می‌یابد. به علت کاهش نسبت هوا به سوخت و احتراق ناقص ناشی از کاهش هوای ورودی میزان انتشار گازهای آلاینده و دمای اگزوز افزایش می‌یابد. اگر چه پرخوران‌های اتوماتیک امکان جبران کمبود هوا برای موتور را دارند، اما زمانی که موتور در ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ متر کار می‌کند، توان موتور در دورهای پایین و میانی موتور بیش از ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. علت کاهش توان موتور، کاهش میزان فشار و چگالی هوا در ارتفاعات است و پرخوران قادر به جبران این مشکل نیست. استفاده از پرخوران‌های هندسه متغیر برای کارکرد در ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ متر برای افزایش فشار ورودی به موتور می‌تواند این مشکل را تا حد زیادی حل کند. اما سامانهٔ پرخوران چند مرحله‌ای به علت انعطاف‌پذیری بیشتر مقدار بازهٔ قابل توجهی از فشار را افزایش داده و قدرت موتور را در دورهای پایین و میانی تا حد زیادی بهبود می‌بخشد [۴].

سامانهٔ پرخوران

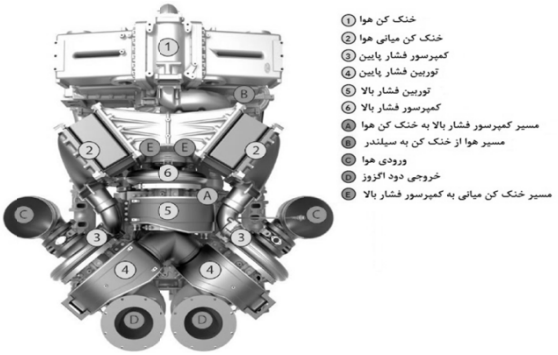
راندمان موتورهای احتراقی از مجموع راندمان‌های حجمی، حرارتی و ... حاصل می‌شود. در شرایطی که فشار و چگالی هوا پایین است، میزان حجم هوای ورودی به موتور کاهش پیدا

1. Turbocharging

2. International Marine Organization (IMO)

کرده و راندمان حجمی افت می‌کند. در نهایت با کاهش راندمان حجمی، راندمان کل موتور کاهش می‌یابد. در مواردی که دور موتور بالا است، هوا زمان کافی برای پر کردن کل حجم موتور را ندارد، بنابراین راندمان حجمی و در نهایت راندمان موتور کاهش می‌یابد. با کاهش راندمان حجمی و کاهش هوای ورودی به موتور، دمای احتراق بالا رفته و موجب تولید آلاینده هایی مانند NOx می‌شود [۵].

برای جلوگیری از کاهش راندمان حجمی در موتورهای احتراق داخلی از سامانهٔ پرخوران استفاده می‌شود. در سامانهٔ پرخوران از یک یا چند پرخوران و خنک‌کننده در موتور استفاده می‌شود. در سامانهٔ پرخوران هوا فشرده شده و فشار ورودی به موتور افزایش پیدا می‌کند. این افزایش فشار همواره با افزایش دما همراه است. برای افزایش چگالی هوای فشرده بعد از پرخوران، هوا از خنک‌کن عبور می‌کند. با عبور هوا از خنک‌کن دمای آن کاهش می‌یابد. با کاهش دما چگالی افزایش یافته و هوا همراه با اکسیژن بیشتری وارد محفظهٔ احتراق می‌شود. در شکل ۱ تصویر سامانهٔ پرخوران نصب شده برروی موتور دیزل سری ۴۰۰۰ شرکت امتی‌یو[3] آورده شده است.



شکل ۱- تصویر سامانهٔ پرخوران استفاده شده برای موتورهای دیزل شرکت MTU [۱]

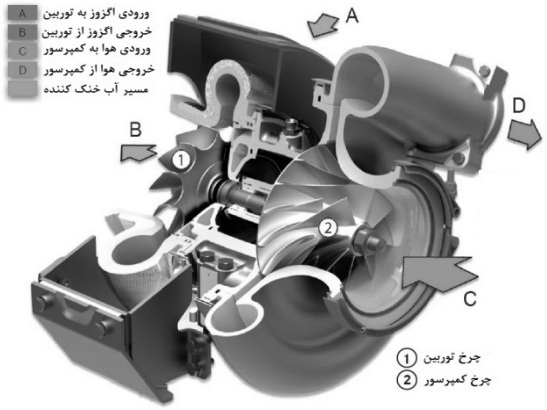
پهپاد کاندور[4] برای مأموریت تحقیقاتی در ارتفاع بالا با مداومت پروازی طولانی طراحی و ساخته شده است. سامانهٔ رانش آن موتور پیستونی مجهز به پرخوران دو مرحله‌ای می‌باشد. سقف ارتفاع پروازی پهپاد کاندور ۲۰/۵۰ کیلومتر و مداومت پروازی برابر ۸۰ ساعت دارد [۶].

شکل ۲- تصویر پهپاد کاندور [۶]

3. Motor (Engine) and Turbine Union (MTU)
4. Condor

پرخوران

پرخوران‌ها در واقع مجموعه‌ای از دو توربوماشین هستند. توربوماشین‌ها وسایلی هستند که با گذشتن سیال از میان آن‌ها روی سیال کار انجام می‌دهند و یا کار دریافت می‌کنند. یک پرخوران از مجموعه‌ی توربین و کمپرسور تشکیل شده که درقسمت توربین از سیال عبوری کار گرفته شده و در قسمت کمپرسور برروی سیال کار انجام می‌گیرد [۷]. توربین با استفاده از انرژی درونی گازهای گرم خروجی از موتور به چرخش در می‌آید و توسط یک شفت پروانه کمپرسور را به حرکت در می‌آورد و با انجام کار روی سیال باعث افزایش فشار و دمای سیال ورودی به موتور می‌شود. در شکل ۳ قسمت‌های مختلف پرخوران نشان داده شده است. پوستهٔ توربین اکثر پرخوران‌ها از طریق سیال خنک‌کن در معرض خنک‌کاری قرار می‌گیرند.



شکل ۳- نمای از قسمت‌های مختلف پرخوران [۱]

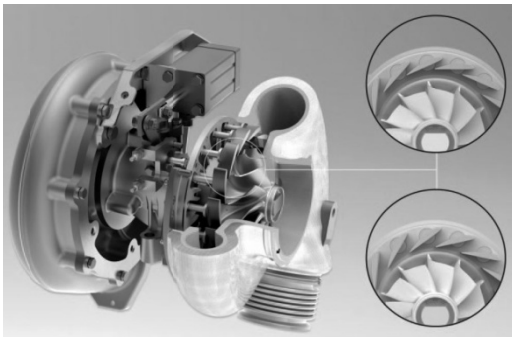
در پرخوران‌ها از دو نوع توربین محوری و شعاعی استفاده می‌شود. در توربین‌های محوری سیال در راستای محور توربین وارد شده و بعد از عبور از پره‌های توربین در همان راستای محور خارج می‌شود. جریان سیال در توربین‌های شعاعی در راستای شعاع توربین وارد شده و بعد از عبور از روی پره توربین شعاعی از مرکز پره و در راستای محور توربین خارج می‌شود. توربین نشان داده شده در شکل ۳ از نوع شعاعی می‌باشد.

پرخوران‌های هندسه متغیر

توربین هندسه متغیر[5] در واقع ترکیبی از چند توربین با هندسه ثابت است. توربین‌های هندسه متغیر برای هدایت جریان از پره‌های متحرک استفاده می‌کنند. پرده دیفیوزر این نوع توربین‌ها متغیر بوده و بنا به شرایط کاری در بهترین عملکرد توربین در آن دور موتور قرار می‌گیرند تا بیشترین راندمان و کارایی را داشته باشد. در پرخوران‌های هندسه متغیر فقط توربین دارای هندسه متغیر است. کمپرسور دارای هندسه ثابت

5. Variable Turbine Geometry (VTG)

بوده و همواره نسبت فشار و دبی ثابتی را تأمین می‌کند. در قسمت توربین پرخوران‌های هندسه متغیر از توربین با هندسه متغیر استفاده شده است. در شکل ۴ نمایی از توربین هندسه متغیر نشان داده شده است.



شکل ۴- نمای از قسمت‌های مختلف توربین هندسه متغیر [۱]

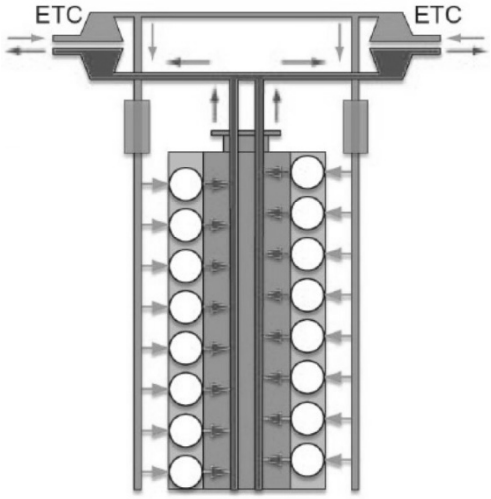
خنک‌کنندهٔ هوا

بر اثر فشرده شدن هوا توسط کمپرسور، دمای آن بالا می‌رود. با عبور هوای گرم فشرده شده از خنک کن[۶]، دمای هوا کاهش پیدا می‌کند. کاهش دمای هوا باعث افزایش چگالی هوا می‌شود به‌طوری‌که جرم بیشتری از هوا و در نتیجه اکسیژن بیشتری وارد سیلندر می‌شود. در سامانهٔ پرخوران تک مرحله‌ای بعد از کمپرسور پرخوران خنک‌کن هوا قرار می‌گیرد. در سامانهٔ پرخوران دو مرحله‌ای بعد از هر پرخوران یک خنک‌کن هوا قرار می‌گیرد. اولین خنک‌کننده هوا بین پرخوران‌های مرحلهٔ فشار پایین و مرحلهٔ فشار بالا قرار دارد و دومین خنک‌کنندهٔ هوا در مرحلهٔ فشار بالا در ورودی هوا به سیلندر قرار می‌گیرد.

روش‌ها و کاربردهای سامانهٔ پرخوران چند مرحله‌ای

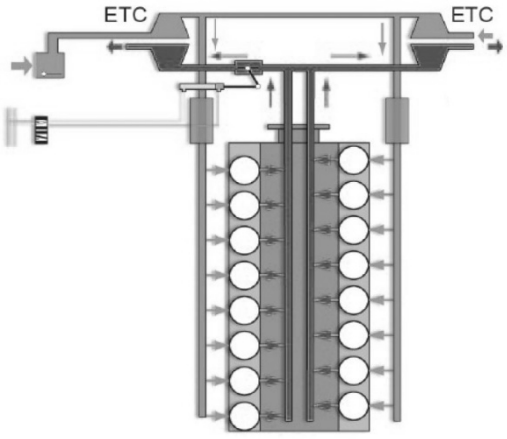
در روش مرسوم سامانهٔ پرخوران، استفاده از یک پرخوران و خنک‌کننده هوا برای موتورهای درون سوز توصیه می‌شود. در این روش عملکرد تنظیم موتور و پرخوران صورت می‌گیرد. براساس انطباق نمودار عملکردی پرخوران و موتور در دورهای پایین و میانی، بازدهی پرخوران پایین است. به همین اساس بازدهی تنفسی یا همان راندمان حجمی موتور در دورهای پایین و میانی کاهش می‌یابد. البته، این روش برای کاربری‌هایی با دور ثابت همواره روشی مناسب و کارآمد می‌باشد. به عنوان نمونه کوپل موتور دیزل با ژنراتور جهت تولید برق یا کوپل موتور دیزلی با پمپ‌های صنعتی به صورتی که همواره در دور ثابت انجام می‌شود. در این کاربردها موتور برای یک دور مشخص طراحی و بهینه‌سازی می‌شود. در شکل ۵ شماتیک سامانهٔ پرخوران تک مرحله‌ای[۷] بیان شده است.

6. Intercooler
7. Single-stage turbocharging



شکل ۵- نمای شماتیک سامانهٔ پرخوران تک مرحله‌ای [۱]

در روش دیگر سامانهٔ پرخوران تک مرحله‌ای متوالی[۸]، پرخوران دوم با پرخوران اول به صورت موازی قرار دارد. در این روش، متناسب با دور و افزایش توان موتور پرخوران دوم از طریق سوئیچی که در مسیر دود و هوا قرار دارد، به طور متوالی وارد مدار می‌شود. در شکل ۶ شماتیک از این روش سامانهٔ پرخوران آمده است. سامانهٔ پرخوران تک مرحله‌ای بر روی موتور روتاکس[۹] ۹۱۲ اجرا شد. این موتور برروی هواپیمای بدون سرنشین آلتوس[۱۰] ۱ نصب شد. موتور مذکور تا ارتفاع ۱۳/۳ کیلومتری بالا رفته و عملکرد موفقیت‌آمیزی داشت [۲].

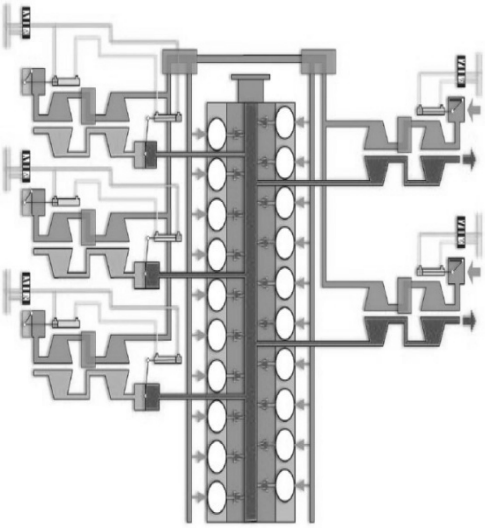


شکل ۶- نمای شماتیک سامانهٔ پرخوران تک مرحله‌ای متوالی [۱]

اساس کار روش دو مرحله‌ای متوالی[۱۱] همانند روش تک مرحله‌ای متوالی می‌باشد با این تفاوت که در روش دو مرحله‌ای متوالی در مواقع نیاز، گروه‌ی از پرخوران‌ها وارد مدار کاری می‌شود. در واقع در این روش سامانهٔ پرخوران همه پرخوران‌ها

8. Sequential Single-stage Turbocharging
9. Rotax
10. Altus
11. Sequential two-stage turbocharging

فشار یکسانی را برای موتور تأمین می‌کنند. در مواقعی که دور موتور در حال افزایش است یا در خواست توان بیشتری از موتور می‌شود، گروه دیگر از پرخوران‌ها برای تأمین هوای بیشتر وارد مدار می‌شود. در روش سامانهٔ پرخوران دو مرحله‌ای متوالی دبی ورودی موتور افزایش می‌یابد تا بتواند راندمان تنفسی موتور را در دورهای بالا حفظ کند. این روش بیشتر برای موتورهای دیزل با حجم زیاد و توان بالا کارایی دارد. در شکل ۷ نمای شماتیک سامانهٔ پرخوران دو مرحله‌ای متوالی ترسیم شده است.

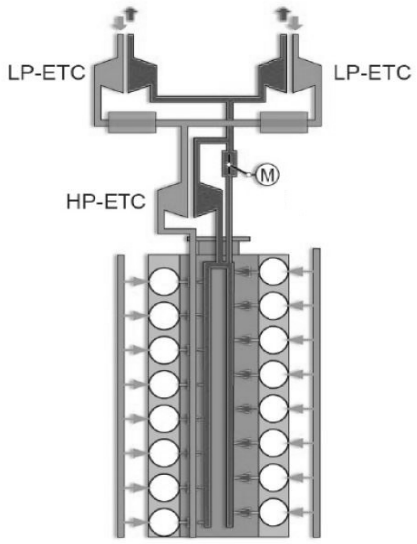


شکل ۷- نمای شماتیک سامانهٔ پرخوران دو مرحله‌ای متوالی [۱]

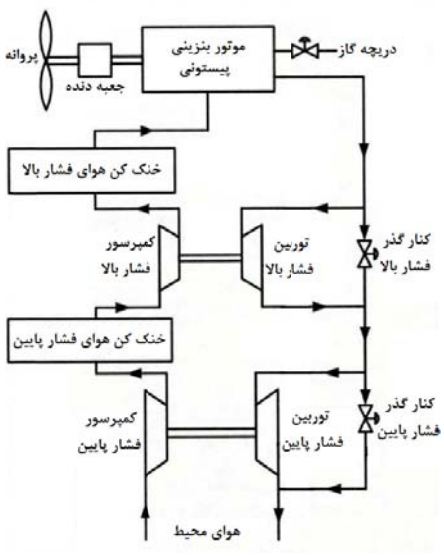
در روش دیگر سامانهٔ پرخوران دو مرحله‌ای، از دو سری پرخوران فشار بالا و فشار پایین استفاده شده است. در این روش سری اول پرخوران‌ها فشار پایین و سری دوم فشار بالا هستند. پرخوران‌های فشار پایین فشار هوای محیط را افزایش می‌دهند. هوای فشرده شده در پرخوران‌های فشار پایین بعد از عبور از خنک‌کننده هوا وارد پرخوران‌های فشار بالا می‌شود. پرخوران‌های فشار بالا مجدداً فشار هوا را افزایش داده و هوای خروجی از آن مجدداً از خنک‌کننده هوا عبورکرده و وارد مجرای هوای موتور شده و نهایتاً وارد محفظهٔ احتراق می‌شود.

این روش توسط شرکت آلمانی MTU بر روی موتورهای سری ۴۰۰۰ این شرکت برای کاربری ریلی تعبیه شده است [۱]. شکل ۶ شماتیک سامانهٔ پرخوران دو مرحله‌ای را نشان می‌دهد. در شماتیک نشان داده شده در شکل ۸ گازهای خروجی به دو بخش تقسیم می‌شوند. بخشی از گازهای خروجی از توربین پرخوران فشار بالا و بخشی دیگر توسط سوپاپ مجزا کنترل شده و در نهایت کل حجم دود از توربین پرخوران‌های فشار پایین عبورکرده و وارد هوای آزاد می‌شود [۱].

روش سامانهٔ پرخوران فوق توسط شرکت MTU برروی موتورهای دیزل این شرکت اجرا شده است [۱]. این روش بر روی موتورهای بنزینی با کاربری هوایی نیز اجرا شده است. در سال ۱۹۹۹ سامانهٔ پرخوران به روش پرخوران دو مرحله‌ای برروی موتور هوایی روتاکس۹۱۲ اجرا و بر روی هواپیمای بدون سرنشین آلتوس۲ نصب شد. با اجرای سامانهٔ پرخوران دو مرحله ای برروی موتور مذکور توان پرواز تا ارتفاع ۱۶/۸ کیلومتری برای این پرنده میسر شد [۲]. در شکل ۹ نمایی از سامانهٔ پرخوران دو مرحله‌ای برای یک موتور بنزینی با کاربری هوایی ارائه شده است. این موتور برای سامانه رانش یک هواپیمای بدون سرنشین است.



شکل ۸- نمای شماتیک سامانهٔ پرخوران دو مرحله‌ای [۱]



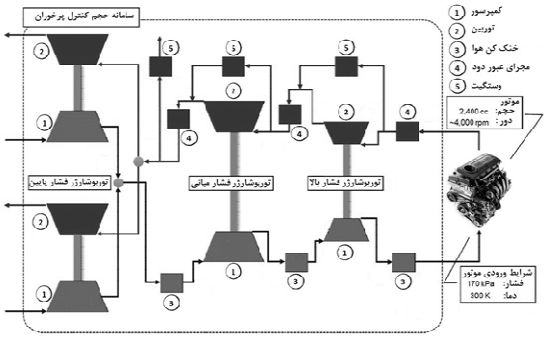
شکل ۹- نمای شماتیک سامانهٔ پرخوران دو مرحله‌ای در موتور بنزینی با کاربری هوایی [۲]

سامانهٔ پرخوران چندمرحله‌ای[۱۲] بیش‌تر برای موتورهایی

12. Multi-stage turbocharging

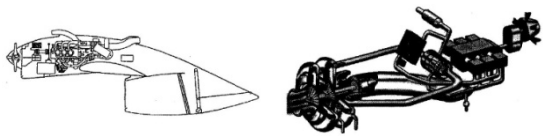
استفاده می‌شود که در ارتفاعات خیلی بالاتر از سطح دریا کار می‌کنند. در شکل ۱۰ شماتیکی از سامانهٔ پرخوران چند مرحله‌ای بیان شده است. این روش برای پرخوران موتور با کاربری هوایی استفاده شده است. موتور مذکور با سوخت هیدروژن کار می‌کند و برای رانش هواپیمای بدون سرنشین اچ‌ای‌ال‌ای[13] استفاده شده است. این موتور برای کار در ارتفاع ۱۸/۲۸ کیلومتری از سطح دریا و شرایط محیطی با دمای ۲۱۶/۶۵ کلوین و فشار ۷/۵۷ کیلوپاسکال طراحی شده است. در روش فوق از سه مرحله پرخوران استفاده شده است.

در سامانهٔ پرخوران سه مرحله‌ای، در مرحلهٔ اول پرخوران کم فشار، بعد فشار متوسط و در مرحله‌ی سوم فشار بالا قرار گرفته است. همچنین، برای اطمینان از تأمین دبی هوای مورد نیاز، از ترکیب دو توربین موازی برای مرحلهٔ فشار پایین استفاده شده است [۸]. برای جلوگیری از افزایش بیش از حد فشار توسط کمپرسورها و کنترل فشار ورودی به موتوراز دریچه خروج دود در قسمت توربین هر پرخوران استفاده شده است. براساس میزان باز شدگی دریچه[14] خروج دود، میزان مشارکت کمپرسور آن مرحله در افزایش فشار تعیین می‌شود. برای تأمین فشار مناسب برای موتور در ارتفاعات مختلف، برنامه‌های متفاوتی پیشنهاد شده است. از برنامهٔ ارائه شده در این راستا استفاده پرخوران فشار بالا در ارتفاعات کم و استفادهٔ مراحل دیگر در ارتفاعات بالاتر می‌باشد [۲]. در طرح دیگر، تنظیم همهٔ مراحل براساس تأمین جریان جرمی موتور می‌باشد، بدین معنا که برمبنای فشار هوا مراحل مختلف وارد مدار کاری می‌شود.



شکل ۱۰- نمای شماتیک سامانهٔ پرخوران سه مرحله‌ای برای موتور جلوبرنده هواپیمای بون سرنشین هاله [۸]

پیشران پهپاد کاندور از سامانهٔ پرخوران دو مرحله‌ای بهرمند است. در این سامانهٔ پرخوران هوا در ورودی وارد پرخوران فشار پایین شده و بعد از عبور از خنک‌کن هوا وارد پرخوران فشار بالا شده و بعد از عبور از خنک‌کن هوا وارد موتور می‌شود [۹]. در شکل ۱۱ تصویر سمت راست چیدمان سامانهٔ پرخوران و تصویر سمت چپ قرارگیری موتور بر روی پهپاد کاندور ارائه شده است. همچنین، در موتور پیشران پهپاد ای-نت[15] از سامانهٔ پرخوران استفاده شده است که توان مداومت پروازی بیش از ۴۰ ساعت در ارتفاع ۱۰ کیلومتر را دارد [۱۰].



شکل ۱۱- شکل سمت راست تصویر چیدمان سامانهٔ پرخوران و شکل سمت چپ قرار گیری موتور بر روی پهپاد کاندور [۹]

نتیجه‌گیری

سامانه‌های طراحی پرخوران موتورهای درونسوز برای ارتقاء توان و افزایش راندمان تنفسی یا حجمی موتور انجام می‌شود. در دورهای پایین و میانی دبی گازهای خروجی کمتر از دور نهایی و توان نهایی موتور است، به همین دلیل در دورهای پایین و میانی راندمان پرخوران پایین می‌باشد. در سامانهٔ پرخوران چند مرحله‌ای با قرار گرفتن دو مرحله کم فشار و پرفشار در کنار هم این ضعف برطرف شده است. روش‌های دو یا چند مرحله‌ای علاوه بر رفع نواقص روش تک مرحله‌ای، باعث کاهش آلودگی نیز می‌شود. با توجه به افزایش آلایندگی گازهای گلخانه‌ای و الزام به اجرای استانداردهای سختگیرانه آلایندگی، استفاده از روش سامانهٔ پرخوران دو مرحله‌ای بیش از پیش مورد توجه شرکت‌های تولید موتورهای درونسوز قرار گرفته است. استفاده روش سامانهٔ پرخوران دو یا چند مرحله‌ای در کاربری هوایی برای موتورهای درون سوز بنزینی حائز اهمیت است زیرا وجود یک سامانهٔ پرخوران مناسب برای یک موتور با کاربری هوایی ضامن سلامت کارکرد در ارتفاعات بالا می‌باشد. با افزایش ارتفاع از سطح دریا دما و فشار هوا کاهش پیدا می‌کند. فشار و دمای هوای ورودی برای موتور بنزینی بدون سامانهٔ پرخوران که در ارتفاع ۱۵ کیلومتری کار می‌کند، به ترتیب ۱۲/۱۱ کیلو پاسکال و دما ۲۱۶/۷ کلوین می‌باشد. عملاً کارکردن موتور بنزینی بدون سامانهٔ پرخوران در این ارتفاع ممکن نیست. وجود سامانهٔ پرخوران دو مرحله‌ای، هم زمان باعث افزایش فشار و دمای هوای ورودی به موتور می‌شود. با توجه به نمونه‌های مختلف از موارد استفاده سامانهٔ پرخوران دو یا چند مرحله‌ای در راستای کاهش تولید آلاینده‌ها، اصلاح رفتار و افزایش توان موتور در دورهای پایین و میانی، به کارگیری این روش در موتورهای درونسوز نیاز است.

برای موتورهایی که در ارتفاعات بالاتر از سطح دریا کار

13. High-Altitude Long Endurance (HALE)
14. Waste Gate
15. I-Gnat

می‌کنند به کار گیری سامانهٔ پرخوران چند مرحله‌ای باعث اصلاح تنفس موتور در طول بازهٔ کاری موتور و ارتقاء نسبی توان موتور می‌شود. برای موتورهایی که در مناطق کوهستانی فعال هستند، استفاده از سامانهٔ پرخوران چند مرحله‌ای نیاز است.

در کاربری هوایی که شرایط هوا با افزایش ارتفاع شدیداً در حال تغییر است، استفاده از سامانهٔ پرخوران چند مرحله‌ای نیاز اساسی و مهم به شمار می‌آید. به هر حال دورنمای سامانه‌های پرخوران موتورهای درون سوز رسیدن به حداکثر بازدهی موتور در تمام بازهٔ کاری موتور می‌باشد که این مهم با پیشرفت‌های تکنولوژی در حال به روزرسانی می‌باشد.

مراجع

[1] Kech, J., Hegner, R. and Männle, T. "Turbocharging: Key Technology for High-Performance Engines," *MTU Friedrichshafen GmbH*, pp. January 2014.

[2] Shan, P. Zhou, Y. and Zhu, D., "Mathematical Model of Two-Stage Turbocharging Gasoline Engine Propeller Propulsion System and Analysisof Its Flying," *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power,* Vol. 137. MAY 2015.Copyright © 2015 by ASME.

[3] Cui, Y., Hu, Zh., Deng, K. and Wang, Q. "Miller-Cycle Regulatable, Two-Stage Turbocharging System Design for Marine Diesel," *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power,* Vol. 136, FEBRUARY 2014. Copyright VC 2014 by ASME.

[4] Liu, R., Zhang, Zh., Dong, S. and Zhou, G., "High-Altitude Matching Characteristic of Regulated Two-Stage Turbochargerwith Diesel Engine," *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power,* July 22, 2016. Copyright (c) 2017 by ASME.

[5] LHeywood., J.B., *Internal combustion engine fundamentals*, McGraw-Hill series in mechanical engineering, 1988.

[6] Wilkinson, R. E. and Benway, R. B., "Liquid Cooled Turbocharged Propulsion System forHALE Application," *Presented at the International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition Orlando FL,Copyright © 1991 by ASME,* 91-GT-399. June 3-6, 1991.

[7] Kollmann, K., Lenz, H. P., Pischinger, R., Reitz, R. D. Suzuki, T., "*Charging the Internal Combustion Engine Powertrain*," Springer Wien NewYork, Wien, ISBN 978-3-211-33033-3,2007.

[8] Seok Kang, Y., Jun Lim, B. and Jun Cha, B., "Multi-Stage Turbocharger System Analysis Method for High Altitude UAV Engine," *Journal of Mechanical Science and Technology,* Vol. 31, No. 6, 2017, KSME, Accepted February 7, 2017.

[9] Tsach, S., Yaniv, A., Avni, H. and Penn, D. "High Altitude Long Endurance (HALE) UAV for Intelligence Missions," *AIAA and ICAS*, ICAS-96-4.2. 1, 1996.

[10] Panagi, A. Sadasivan, M. and Moore, S., *Unmanned Vehicleshandbook 2008*, Shephard, 2007- 2008.