



## اندازه گیری و مقایسه پارامترهای آلاینده‌گی دود اگزوز و عملکرد، در موتور خودرو پراید مجهز به هدرز و بدون هدرز(عادی)

سید محمد رضا ناظم السادات<sup>۱\*</sup>، علی مطبوعی<sup>۲</sup>، احد انوری نیا<sup>۳</sup>  
<sup>۱</sup> عضو هیات علمی گروه مکانیک خودرو، آموزشکده فنی و حرفه ای سما، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، شیراز،  
ایران (Email:reza\_nazemsadat@yahoo.com)  
<sup>۲</sup> کارشناس ارشد مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز  
<sup>۳</sup> کارشناس ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز

### چکیده

امروزه تلاش اکثر طراحان و تولید کنندگان بر این است که موتوری تولید کنند که دارای حداکثر بازده نسبت توان به وزن را دارا باشد. زمانی موتور توان اسمی خود را تولید می‌کند که بتواند بازده حجمی نزدیک یا بیشتر از ۱۰۰٪ را داشته باشد. جهت تامین این هدف، طراحان موتورها را به سامانه های پرخوران نظیر سوپر و توربو شارژر مجهز می‌کنند، تا ضمن تولید توان بیشتر مباحث زیست محیطی را نیز مد نظر داشته باشند. یکی از راه‌های دیگر، تخلیه مناسب دود اگزوز می‌باشد. برای این کار مانیفولد دود به صورت ویژه ای ساخته می‌شود که به آن اگزوز هدرز اطلاق می‌شود. فلسفه استفاده از هدرز، از بین بردن فشار داخل لوله اگزوز و جایگزین کردن آن با مکش نسبی، زمانی که سوپاپ دود جهت تخلیه دود باز می‌شود، است. در این تحقیق، نقش افزودن هدرز اگزوز به خودرو پراید در آلاینده های دود اگزوز بررسی شد. پراید از نوع HP+ ابتدا در حالت عادی و سپس با نصب هدرز مورد آزمون قرار گرفت. این آزمون‌ها در ۲ حالت موتور سرد و موتور گرم و در ۲ حالت دور آرام و ۲۵۰۰ دور در دقیقه صورت گرفت و گازهای خروجی از اگزوز توسط دستگاه تست ۵ گاز مدل QROTECH401 اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که هدرز بکار رفته برای دورهای کم و متوسط موتور کارایی بهتری داشته است. همچنین همزمان با افزودن هدرز باید در سنسورهای اندازه‌گیری میزان هوای موتور و به تناسب آن نرم افزار ECU نیز تغییراتی ایجاد شود، تا بتوان عملکرد بهینه‌ای را از موتور انتظار داشت.

**کلمات کلیدی:** هدرز، آلاینده‌گی، تست ۵ گاز، کارایی، اگزوز، دور موتور.



## مقدمه

امروزه تلاش اکثر طراحان و تولید کنندگان بر این است که موتوری تولید کنند که دارای حداکثر بازده نسبت توان به وزن را دارا باشد. زمانی موتور توان اسمی خود را تولید می کند که بتواند بازده حجمی نزدیک یا بیشتر از ۱۰۰٪ را داشته باشد. جهت تامین این هدف طراحان، موتورها را به سامانه های پرخوران نظیر سوپر و توربو شارژر مجهز می کنند، تا ضمن تولید توان بیشتر مباحث زیست محیطی را نیز مد نظر داشته باشند. از سوی دیگر برخی از طراحان سعی می کنند موتورهایی بدون سامانه های پرخوران بوسیله تنفس طبیعی بازده نزدیک به ۱۰۰٪ داشته باشد. یکی از این راه های مکمل، تخلیه مناسب دود اگزوز می باشد. برای این کار مانیفولد دود به صورت ویژه ای ساخته می شود که به آن اگزوز هدرز اطلاق می شود. ساخت اگزوز هدرز نیازمند مطالعات پیشرفته مهندسی دینامیک گاز است که با نرم افزارها و متدهای گوناگون انجام می شود. پس از این فرآیند، از روش ها و موادهای با تکنولوژی بالا جهت ساخت آنها استفاده می شود.

## معرفی هدرز<sup>۱</sup>

هدرز در واقع یک مانیفولد (چند راهه) خروجی بازنگری شده است که بر اساس اصول علم مکانیک سیالات شکل گرفته و به نحو دقیقی ساخته شده است. طراحی خاص و سطح صیقلی هدرزها که معمولاً از جنس فلزاتی چون فولاد، استیل و آلیاژهای گران قیمت ساخته می شوند به خروج سریع و پر فشار گازهای سوخته شده حاصل از احتراق یاری می رساند و به تنهایی در حدود ۵ تا ۱۰ درصد به قدرت و گشتاور تولیدی پیشرانه خودروهای معمولی می افزاید (شکل ۱). از سوی دیگر اصطکاک کمتر و افزایش قدرت پیشرانه در دورهای پایین، می تواند در کاهش مصرف سوخت نیز موثر باشد. بنابراین هدرز در واقع یک قطعه بازنگری شده است که به جای مانیفولد خروجی چدنی خودروها نصب می شود. یکی از مزایای هدرزها، نصب ساده آنهاست.

یافتن راهکاری هایی برای هوا رسانی بهتر به پیشرانه یکی از اصول پایه علم تیونینگ به شمار می آید اما از سوی دیگر تخلیه سریع تر و کامل تر سیلندر از گازهای منفجر شده یا همان دود اگزوز نیز تاثیر بسزایی در مکش قدرتمندتر و تنفس بهتر پیشرانه ایفا می کند. از این رو نصب قطعه ای موسوم به هدرز یکی از اولین مراحل تیونینگ خودروهای معمولی محسوب می شود.

در پژوهشی که روی تیونینگ<sup>۲</sup> اگزوز جهت موتور سیکلت دوزمانه انجام شده است، مشاهده گردید که گاز مونواکسید کربن CO به میزان ۱۰/۷٪ و هیدروکربن های نسوخته HC به میزان ۲۷/۸٪ کاهش داشته است. همچنین توان موتور ۱۵/۸٪ افزایش را نشان داده است. [1]

<sup>1</sup>-Headers  
<sup>2</sup>- Tuning



شکل ۱. دو نمونه از هدرزهای طراحی و ساخته شده.

### طراحی هدرز

طراحی هدرز برای بازه خاصی از دور موتور انجام می‌پذیرد که بستگی به کاربری خودرو دارد [1]. اگر بخواهیم خودرو در دورهای پایین عملکرد بهتری داشته باشد هدرز با قطر کم و طول بلند استفاده می‌شود. اگر بخواهیم در دورهای بالای موتور عملکرد بهتری داشته باشیم هدرز قطور با طول کم استفاده می‌شود. فلسفه استفاده از هدرز، از بین بردن فشار داخل لوله اگزوز و جایگزین کردن آن با مکش نسبی زمانی که سوپاپ دود جهت تخلیه دود باز می‌شود، است [2]. در موتورهای بیش از چهار سیلندر همان گونه همپوشانی احتراق داریم، همپوشانی خروج دود هم داریم [4]. بدین معنی که موقع تخلیه دود یک سیلندر، سیلندر قبلی در حال تخلیه است و فشاری را در لوله اگزوز ایجاد کرده است. از سوی دیگر در زمان طراحی جهت بالابردن بازده حجمی موتور اقدام به همپوشانی زمان باز بودن سوپاپ دود و هوا (قیچی سوپاپ) به این منظور نموده‌ایم که خروج سریع دود اگزوز باعث مکش (رویش) هوا به درون سیلندر شود. اما با پسماند فشار اگزوز در مانیفولد دود ناشی از تخلیه دود سیلندر قبلی این منظور کاملاً برآورده نمی‌شود. جهت اصلاح این نقیصه از جایی که نیاز به راندمان بالا است از هدرز استفاده می‌شود. دود خروجی از اگزوز دارای ۳ جبهه است: جبهه پرفشار که در لحظه باز شدن سوپاپ دود بدلیل اختلاف فشار نسبی بین داخل سیلندر و مانیفولد دود ایجاد می‌شود. این جبهه به باتوجه به اختلاف فشار ناگهانی دارای سرعتی در حد مافوق صوت است. جبهه فشار متوسط که بعد از هم فشار شدن گازهای خروجی درون مانیفولد با توجه به اختلاف فشار با هوای بیرون دارای سرعتی متوسط است. جبهه با فشار منفی بعد خروج امواج جبهه اول و دوم بدلیل اینرسی دود در پشت سر خود جبهه ای با فشار منفی بجا می‌گذارد. در طراحی هدرز سعی می‌شود با اندازه گیری دقیق طول و قطر هر لوله اگزوز خروجی از سیلندر این جبهه فشار منفی را طوری زمان بندی کنند که در کلکتور همراه با زمان تخلیه سیلندر دیگر باشد. در موتورهای با طراحی V شکل معمولاً علاوه بر موارد فوق، چون معمولاً زمان بندی احتراق یکی در راست و دیگری در سمت چپ موتور است با قراردادن لوله ای H یا X شکل، کاری می‌کنند که دود اگزوز از هر دو لوله اگزوز خارج شود تا راندمان تخلیه دود اگزوز بهبود یابد. [5]

طراحی هدرز برای موتورهای دوزمانه و چهار زمانه متفاوت است. در موتورهای دو زمانه با افزودن اتافک انبساط دوکی شکل فشار مثبت را در پورت دود ایجاد می‌کنیم. حال این که در موتورهای چهار زمانه با استفاده از هدرز فشار منفی پشت سوپاپ دود ایجاد می‌شود. در موتور دو زمانه به دلیل هم سیکل بودن پرشدن سیلندر و تخلیه سیلندر مقداری از

مخلوط هوا و سوخت وارد اگزوز می‌شود. خصوصاً اینکه در زمان تراکم پورت خروجی اگزوز هنوز توسط پیستون مسدود نشده است. با طراحی و افزودن اتاقک انبساط دو مخروطی دوکی شکل به مسیر اگزوز همراه با زمان بندی دقیق، امواج دود اگزوز خروجی که با سرعت صوت و مافوق صوت خارج می‌شود با دیواره مخروطی برخورد می‌کند و به سوی سیلندر برگشت می‌کنند. این امواج مافوق صوت بسیار داغ باعث ایجاد یک منطقه پر فشار در پورت اگزوز شده و اجازه خروج مخلوط هوا سوخت را نمی‌دهد. [7]

با وجود برگشت مداوم جریان اگزوز به سمت سیلندر، دودی که اکنون از لوله اگزوز خارج می‌شود مربوط به ۲-۳ سیکل قبل است و در نتیجه موقع تست دود اگزوز باید به این امر توجه کرد. جهت بررسی های کیفیت احتراق معمولاً از درجه های خاص دقیقاً در محل دود از سیلندر نمونه برداری انجام می پذیرد. [11]

### مواد و روش ها

در تحقیق فوق، نقش افزودن هدرز اگزوز به خودرو پراید در آلایندهای دود اگزوز بررسی شد. در ابتدا پراید از نوع HP+ در حالت عادی (بدون هدرز) و سپس با نصب هدرز مورد آزمون قرار گرفت. این آزمون‌ها در دو حالت موتور سرد و موتور گرم انجام گردید و همچنین در دو حالت دور آرام و دور ۲۵۰۰rpm پارامترهای آلایندهی اگزوز اندازه گیری شد. گازهای خروجی از اگزوز توسط دستگاه تست ۵ گاز مدل QROTECH401 اندازه‌گیری شد (شکل ۲). این دستگاه قبل از آزمون‌ها توسط سازنده مورد تست و کالیبراسیون قرار گرفت.



شکل ۲. تصاویری از دستگاه تست ۵ گاز بکار رفته در نماهای مختلف

گازهای اندازه‌گیری شده توسط دستگاه تست ۵ گاز مدل QROTECH401 شامل HC, CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> و همچنین نسبت Lambda و AFR می‌باشد. حالت‌های اندازه‌گیری شده شامل دو تکرار بوده که داده‌های هر دو تکرار باهم اختلاف قابل توجهی نداشته و می‌توان آنها را یکسان در نظر گرفت.



شکل ۳. تصاویری از مراحل داده برداری توسط دستگاه تست ۵ گاز.



شکل ۴. تصاویری از هدرز استفاده شده و نصب شده بر روی موتور پراید.

### بحث و نتیجه گیری

با مقایسه کلی داده‌های هر دو جدول نشان از بهبود عملکرد موتور در حالت سرد هم دور  $2500 \text{ rpm}$  و هم دور آرام آرام است و اما در حالت گرم موتور داده بدست آمده حاکی از تغییر در گازهای خروجی در دور دو حالت دور موتور است که نیاز به تفسیر دارد.



جدول ۱: مقایسه گازهای خروجی از آگزوز در حالت سرد موتور برای حالت با هدرز و عادی

گازهای خروجی آگزوز در حالت سرد موتور	هدرز دور آرام	هدرز دور ۲۵۰۰rpm	عادی دور آرام	عادی دور ۲۵۰۰rpm
$HC_{ppm}$	891	1270	1191	1929
$CO\%$	1.1	1.3	0.85	0.94
$CO_2\%$	6.7	6.5	8.6	8.8
$O_2\%$	2.71	1.26	1.75	0.9
$NOx_{ppm}$	27	167	157	843
$LAMBDA$	1.185	1.013	1.051	0.945
$AFR$	17.3	14.9	15.4	13.8

نتایج حاصله از جدول شماره یک نشان می‌دهد استفاده از هدرز باعث رقیق تر شدن مخلوط هوا و سوخت در تمام حالت‌ها شده است. و این موضوع در دور آرام مشهودتر است. از نقطه نظر هیدروکربن‌های نسوخته HC در هر دو حالت با کاهش محسوس روبرو بوده است، که میزان آن برای دور آرام ۲۵٪ و دور ۲۵۰۰ به میزان ۳۴٪ م باشد. استفاده از هدرز باعث افزایش در میزان گاز خطرناک منواکسیدکربن CO شده است. این کاهش برای دور آرام و ۲۵۰۰ در حالتی که موتور سرد است به ترتیب به میزان ۲۹ و ۳۸ درصد مشاهده شده است. برطبق این نتایج همان گونه که مشاهده شده- است میزان گاز دی‌اکسیدکربن کاهش و میزان اکسیژن خروجی از آگزوز افزایش یافته است. که نشان از احتراق ناقص موتور است میزان کاهش  $CO_2$  برای دور آرام و دور ۲۵۰۰rpm در حالتی که موتور سرد است به ترتیب به میزان ۲۲٪ و ۲۶٪ بوده است. میزان افزایش گاز اکسیژن در حالت دور آرام حدود ۵۴٪ و در دور ۲۵۰۰rpm برابر ۴۰٪ بوده است. در مورد گازهای آلوده‌کننده اکسیدهای نیتروژن  $NO_x$  به علت رقیق بوده مخلوط هوا و سوخت در حالت استفاده از هدرز شاهد احتراق ناقص و احتمالاً سرد کارکردن موتور، در نتیجه کاهش آن در هنگامی که موتور سرد است بوده‌ایم. این کاهش برای دور آرام ۸۲٪ و برای دور ۲۵۰۰rpm حدود ۸۰٪ بوده است.

جدول ۲: مقایسه گازهای خروجی از آگزوز در حالت گرم موتور برای حالت با هدرز و عادی

گازهای خروجی آگزوز در حالت گرم موتور	هدرز دور آرام	هدرز دور ۲۵۰۰rpm	عادی دور آرام	عادی دور ۲۵۰۰rpm
$HC_{ppm}$	792	2659	2176	2278
$CO\%$	1.3	1.5	1.1	1.2
$CO_2\%$	7.8	2.3	0.5	0.4
$O_2\%$	2.56	1.89	0.84	0.87
$NOx_{ppm}$	31	219	186	779
$LAMBDA$	1.154	1.03	1.05	0.98
$AFR$	16.9	15.3	15.5	14.4

جدول فوق نتایج آزمون تست ۵ گاز خروجی از آگزوز را در حالتی که موتور گرم است، برای حالت استفاده/عدم استفاده از هدرز در دور آرام و دور ۲۵۰۰rpm را نشان می‌دهد. بابررسی جدول پی می‌بریم مانند حالت قبل افزودن



هدرز باعث رقیق تر شدن مخلوط هوا و سوخت شده است. در دور آرام استفاده از هدرز باعث کاهش ۶۳٪ هیدروکربن های نسوخته HC شده است اما در دور ۲۵۰۰rpm باعث افزایش ۱۶٪ آن شده است. گاز منواکسیدکربن CO در هر دو حالت دور آرام و دور ۲۵۰۰rpm افزایش داشته است. دلیل این افزایش که بترتیب به میزان ۱۵٪ و ۲۵٪ است عدم احتراق مناسب است. در حالت گرم موتور استفاده از هدرز باعث افزایش میزان گاز دی اکسید کربن CO<sub>2</sub> شده است که این افزایش، با افزایش میزان گاز اکسیژن خروجی از اگزوز همراه بوده است. در مورد گاز دی اکسید نیتروژن NO<sub>x</sub> کاهش آن را با استفاده از هدرز مشاهده شده است. که بدلیل عدم احتراق کافی و افزایش هوای ورودی به موتور و خنک کار کردن موتور بوده است.

از این موارد نتیجه می شود هدرز بکار رفته برای دورهای کم و متوسط موتور کارایی بهتری داشته است. همچنین همزمان با افزودن هدرز باید در سنسورهای اندازه گیری میزان هوای موتور و به تناسب آن نرم افزار ECU نیز تغییراتی ایجاد شود تا بتوان عملکرد بهینه ای را از موتور انتظار داشت. ریزا با بالا بردن میزان هوای ورودی به موتور جداول تزریق سوخت فعلی جوابگو نیست.

## مراجع

- [1]. The Design and Tuning of Competition Engines, Philip H. Smith, pp. 137-138
- [2]. <http://www.powerflowsystems.com/> retrieved 15 May 2012
- [3]. [http://microcarproject.tripod.com/html/tuned\\_exhaust\\_system.htm](http://microcarproject.tripod.com/html/tuned_exhaust_system.htm) retrieved 15 may 2012
- [4]. The Design and Tuning of Competition Engines, Philip H. Smith, pp137-138
- [5]. [http://www.goodvibesracing.com/smileys\\_custom\\_headers.htm](http://www.goodvibesracing.com/smileys_custom_headers.htm) retrieved 22 May 2012
- [6]. <http://www.stainlessheaders.com/zoomies> retrieved 22 May 2012
- [7]. <http://web.mac.com/olsonmotorsports/OlsonMotorsports/Headers.html> retrieved 22 May 2012
- [8]. Motorcycle.com Archived 2 February 2011 at WebSite
- [9]. Oxley, Mat (2010), Stealing Speed: The Biggest Spy Scandal in Motorsport History, Haynes Publishing Group, ISBN 1-84425-975-7
- [10]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Expansion\\_chamber](https://en.wikipedia.org/wiki/Expansion_chamber)
- [11]. O. Obodeh, and A.D. Ogor, 2009. Improving the Performance of Two-stroke Motorcycle with
- [12]. Tuned Adjustable Exhaust Pipe Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 1(2): 59-65, 2009, ISSN: 2040-7467
- [12]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Exhaust\\_manifold](https://en.wikipedia.org/wiki/Exhaust_manifold)