

تولید برق از گرمای هدر رفته‌ی موتور اتومبیل با استفاده از اختلاف دانسیته بین هوای گرم و سرد

سمیه یعقوبی کوبایی¹، معین الدین محمودی²

¹دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی اصفهان و مربی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد ، s.yaghoubik@yahoo.com
²دانشجوی کارشناسی پیوسته دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد ، moienmahmoudi@yahoo.com

چکیده

یکی از معضلات موتورهای احتراق داخلی تولید گرمای بیش از حد است که تقریباً 60٪ آن تلف می‌شود. در این مقاله سعی شده است روشی ارائه شود تا از این گرما به نفع خود اتومبیل استفاده شود، نظیر تولید برق و تهویه‌ی هوای کابین سرنشینان. اساس این طرح استفاده از اختلاف دانسیته بین هوای گرم سطح موتور و هوای سرد ورودی به جلوی ماشین و سرعت هوای ورودی به خودرو در-حین حرکت است. اختلاف چگالی هوا که ناشی از اختلاف دما است، به‌عنوان یک نیروی محرکه عمل کرده و اختلاف فشار بین هوای گرم و سرد ایجاد می‌کند که منجر به مکش می‌شود. با قرار دادن توربین گازی درون مبدل، فشار استاتیک به انرژی دورانی تبدیل و برق تولید می‌شود. هوای معتدل از ترکیب هوای گرم و سرد، با سرعتی اندک از انتهای مبدل خارج شده و به کابین هدایت می‌شود که منجر به تهویه‌ی هوای داخل خودرو می‌شود.

واژه های کلیدی

مبدل حرارتی، اختلاف دانسیته، استفاده از گرمای موتور، گرمای هدررفته موتور، تولید برق.

مقدمه

بزرگترین مشکل موتورهای احتراق داخلی تولید گرمای بیش از حد است که علاوه بر مشکلاتی که در دراز مدت برای اتومبیل به وجود می‌آورد منجر به زیان‌های زیست محیطی هم می‌شود. فن، رادیاتور و... سبب می‌شوند تا میزانی از این گرما کاسته شود، اما با این وجود بخش قابل توجهی از آن گرما هدر می‌رود. موتور اتومبیل پس از روشن شدن خودرو، بلافاصله شروع به گرم شدن می‌کند و این گرما توسط فلزی که بسیار ناقل حرارت است، از طریق رسانش به داخل منبع مبدلی که در ادامه مفصل‌تر توضیح خواهیم داد، وارد می‌شود. با حرکت کردن اتومبیل، هوای زیادی با سرعت از دریچه‌های جلوی رادیاتور وارد مبدل موردنظر می‌شود. تقریباً دمای سطح موتور اتومبیل‌ها بین 90 – 70 درجه سانتی‌گراد و دمای هوای ورودی به جلوی خودرو بین 30 – 10 درجه سانتی‌گراد متغیر است. این اختلاف دمایی سبب اختلاف دانسیته می‌شود. از آن‌جا که هوای گرم سبک‌تر از هوای سرد است، جریان گرم به سمت جلوی مبدل حرکت

می‌کند و باعث مکش در ابتدای منبع می‌شود. اگر $\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$ باشد، مکش ایجاد شده سرعتی تقریباً معادل 15m/s خواهد داشت [1]. با به‌کارگیری توربین، انرژی موجود در جریان هوا، به انرژی مکانیکی دورانی تبدیل می‌شود. توربین موجود در مبدل، شبیه توربین‌های بادی عمل نمی‌کند و تقریباً شبیه به توربین نیروگاه‌های برقی است که در آن‌ها سرعت جریان، قبل و بعد از توربین تقریباً باهم برابر است. توربین، فشار استاتیک را به انرژی دورانی تبدیل می‌کند و در پی آن برق تولید می‌شود. پس از مخلوط شدن هوای گرم و سرد، هوای معتدل با سرعتی کم ایجاد می‌شود که از انتهای مبدل خارج شده و پس از هدایت از طریق لوله خروجی و عبور از فیلتر هوا به داخل خودرو وارد می‌شود و این جریان سبب تهویه‌ی هوای داخل کابین سرنشینان می‌شود. فرایند ذکر شده عملکردی مشابه دودکش‌های خورشیدی دارد که در ادامه مفصل‌تر بررسی خواهند شد. نمونه‌های مشابهی که هدف آن‌ها تولید برق از گرمای هدر رفته‌ی موتور اتومبیل بوده است مشخص و بررسی شده‌اند، ولی به‌علت حجم بالای داده‌ها از نتایج بررسی آن‌ها چشم‌پوشی شده و تنها به ذکر دو نمونه از آن‌ها بسنده می‌کنیم.

1. استفاده از ترموالکتریک یا ترموالکتریسیته که سبب می‌شود گرما در ابتدا ذخیره و سپس به جریان الکتریسته تبدیل شود. [2]
2. استفاده از فناوری نانو که محققین ماده‌ای ساخته‌اند که می‌تواند انرژی گرمایی را به‌صورت مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل کند.

آزمایش و محاسبات:

برای انجام محاسبات ابتدا توربین را به‌عنوان یک حجم معیار در نظر می‌گیریم و قانون اول ترمودینامیک [3] را بر آن اعمال می‌کنیم تا با فرضیات مشخص شده و داده‌های آزمایش در جدول شماره یک، کار انجام شده توسط توربین را محاسبه کنیم. به‌علت انحنای شیپوره در ابتدای مدل، سرعت هوای ورودی با سرعت خروجی از شیپوره یا نازل متفاوت می‌باشد و معادله‌ی جریان و مولفه‌های بردار سرعت آن، به انحنای شیپوره بستگی دارد [4]. به‌همین دلیل برای

دماهای جدول 2 توسط دماسنج الکلی، پس از توقف اتومبیل و بر حسب درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده‌اند. این دماها در 25 درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر فرض شده‌اند و از نمایندگی ایران خودرو گرفته شده است.
قانون اول ترمودینامیک:

$$Q_{c.v} = \sum m_2 \left[h_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right] - \sum m_1 \left[h_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right] + W_{c.v} \quad (2)$$

فرضیات مساله:

Steady state steady flow (sssf):

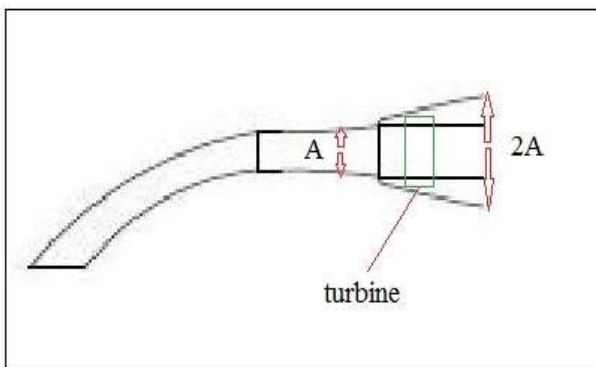
$$\frac{dm_{c.v}}{dt} = 0 \quad \& \quad \frac{dE_{c.v}}{dt} = 0$$

$$\Delta PE = 0 \quad \Delta KE \neq 0$$

(Mass conservation):

$$\sum m_1 = \sum m_2 \Rightarrow m_1 = m_2 = \dot{m}$$

$$A_2 = 2A_1 \quad \& \quad Q_{12} = 0.6W_{engine}$$



شکل 2: سطح مقطع‌ها در قبل و بعد از توربین

حل مساله:

$$\frac{Q_{c.v}}{\dot{m}} = \frac{W_{c.v}}{\dot{m}} + \frac{m_2 h_2}{\dot{m}} + \frac{m_2 V_2^2}{2\dot{m}} - \frac{m_1 h_1}{\dot{m}} - \frac{m_1 V_1^2}{2\dot{m}} \quad (3)$$

$$\Rightarrow q_{turbine} = w_{turbine} + h_2 + \frac{V_2^2}{2} - h_1 - \frac{V_1^2}{2}$$

Thermodynamic Tables:

$$h_1 = 290.43 \left(\frac{kJ}{kg} \right) \quad h_2 = 320.58 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

$$(Mass conservation) \dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

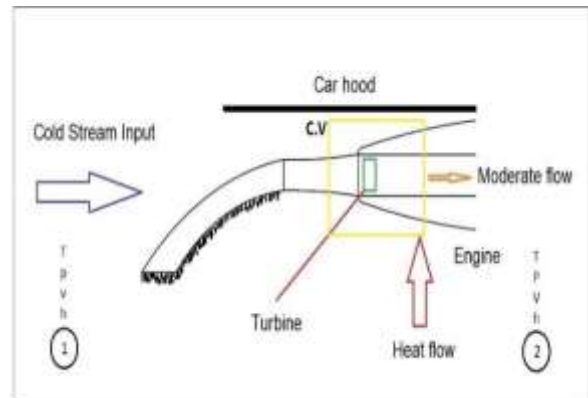
برای محاسبه‌ی سرعت درون منبع، از قوانین دبی جرمی و پایستگی جرم استفاده می‌کنیم که البته این میزان سرعت به صورت تقریبی خواهد بود.

(4)

$$\dot{m} = AV$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

ساده کردن معادلات، سرعت ورودی به حجم کنترل یا انتهای شیبوره را با سرعت ورودی به شیبوره برابر فرض کرده‌ایم.



شکل 1: حجم کنترل مشخص شده

جدول 1: داده‌های به کار رفته در محاسبات

6280 (cm ³)	حجم منبع
30 (m/s)	سرعت هوای ورودی به شیبوره مدل / V ₁
15 (m/s)	سرعت هوای درون منبع / V ₂
17°C	دمای هوای ورودی به مدل / T ₁
1 (atm)	فشار اولیه / P ₁ (فشار هوای آزاد)
47°C	دمای پشت توربین / T ₂
33075 (w)	گرمای حبس شده در منبع مدل / Q ₁₂
100.45 * 10 ³ (pa)	فشار درون منبع / P ₂
75 (hp)	کار موتور
1000 (kg/m ³)	چگالی هوا

داده‌های جدول 1 به صورت تقریبی، در شرایط عادی موتور و بر روی پژو 206 در نظر گرفته شده‌اند. در ادامه P₂، V₂، Q₁₂ محاسبه خواهند شد.

فشار درون منبع (P₂) را می‌توان از طریق قوانین لوله‌ی پیتو اندازه‌گیری کرد [4]:

(1)

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho V^2$$

$$P_2 = 100.45 * 10^3 \text{ (pa)}$$

جدول 2: دماهای اندازه‌گیری شده در سطح موتور

نوع اتومبیل	حداکثر دمای سطح موتور
پراید	93°C
پژو 206 تیپ 2	103°C
X33	69°C

طراحی و شبیه سازی مدل:

طراحی و مدل سازی این وسیله بسته به حجم بین کاپوت و سطح بالایی موتور، نوع موتور و نوع اتومبیل ... می تواند متفاوت باشد. که در این جا نمونه ای آزمایشی برای درک بهتر از مدل مورد نظر طراحی و شبیه سازی شده است. این مدل از چهار قسمت عمده تشکیل می شود: (1) شیبوره ی ورودی یا نازل (2) منبع (3) لوله ی خروجی (4) توربین (ها)

این طراحی پس از ساخت و آزمایش دو مدل اولیه انجام شده است که به علت حجیم شدن مطالب از نتایج آزمایش و بررسی آن ها خودداری می کنیم. قسمت اول به گونه ای طراحی می شود که بیشترین دبی ورودی را داشته باشد و در عین حال برخوردی با فن و رادیاتور خودرو نداشته باشد. هوا با سرعت، فشار و دمایی مشخص وارد شیبوره شده و با کم شدن سطح مقطع شیبوره، فشار هوا کاهش یافته و سرعت آن افزایش می یابد [3]. در محلی که سیال حداکثر سرعت خود را دارد توربینی قرار می دهیم که بتواند تولید برق کند. بدنه ی اصلی این مدل از ورق نازک گالوانیزه در نظر گرفته شده است که بتواند به سرعت گرما را از موتور گرفته و به منبع منتقل کند. گرمای ایجاد شده در شرایط مختلف متفاوت است اما از آن جایی که تقریباً 60٪ توان موتور به گرما تبدیل می شود ما تقریباً می توانیم اکثر این میزان گرما را در منبع ذخیره کنیم. برای کم کردن اصطکاک درون بدنه از سطوح بسیار صاف و صیقلی استفاده می کنیم. سطح زیر منبع یا کلکتور به گونه ایست که می تواند بیشترین سطح تماس را با موتور مورد نظر داشته باشد و حداکثر گرما را بتواند دریافت کند. این منبع می تواند به شکل های مختلفی طراحی و ساخته شود. انتهای شیبوره و ورودی منبع به گونه ایست که از به وجود آمدن جریان های گردابی جلوگیری کند [4]. این مدل توسط بست هایی زیر کاپوت اتومبیل متصل می شود به گونه ای که تداخلی با قطعات مکانیکی اتومبیل نداشته باشد. محل اتصال شیبوره مبدل با منبع آن باید "هواند" شده باشد یعنی هیچ منفذی نداشته باشد. با کم شدن سرعت سیال پس از عبور از توربین، هوای درون منبع فرصت گرم شدن پیدا می کند و در اثر اختلاف دمای به وجود آمده بین هوای گرم درون منبع و هوای سرد ورودی به توربین، مکشی در اطراف توربین ایجاد می شود. از طرفی به علت آن که $V_1 > V_2$ است سرعت هوای ورودی هم سبب چرخش در آوردن پره های توربین می شود که این دو عامل باعث تولید برق می شوند. برق تولیدی از توربین را می توان از طریق سیم به بیرون از مبدل هدایت و در باتری ذخیره کرد. جریان خروجی چون حاصل تماس دو جریان گرم و سرد است، تقریباً دمایی بین دو منبع گرم و سرد را دارا خواهد بود. سرعت خروجی هم به عوامل زیادی نظیر نوع توربین، زاویه ی پره های توربین، تعداد توربین ها، سرعت ورودی، سطح مقطع، اختلاف فشار حاصل از دو منبع و ... بستگی دارد.

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$30A_1 = 2A_2 V_1 \Rightarrow V_2 = 15 \left(\frac{m}{s}\right)$$

کار انجام شده توسط موتور 206 بر حسب وات:

$$735 (w) = 1 (hp)$$

$$W_{engine} = 735 * 75 (hp)$$

$$W_{engine} = 55125 (w)$$

گرمای منتقل شده به منبع:

$$Q_{12} = 0.6 W_{engine}$$

$$Q_{12} = 33075 \left(\frac{J}{s}\right)$$

$$Q_{12} = 33.075 \left(\frac{kJ}{s}\right)$$

از آن جایی که تمام ترم ها بر حسب انرژی مخصوص هستند باید گرما منتقل شده در فرایند یک تا دو را هم بر این اساس تبدیل کنیم. برای این کار کافی است بدانیم چقدر زمان لازم است تا یک کیلوگرم بنزین توسط انژکتور وارد موتور خودرو می شود. هر کیلوگرم بنزین تقریباً معادل 0/8 لیتر است. اگر اتومبیل مورد نظر مسافت 100 کیلومتر را با سرعت 100 کیلومتر بر ساعت طی کند تقریباً 60 دقیقه طول خواهد کشید تا هشت لیتر وارد موتور شود. البته این میزان بسیار متغیر است و به عوامل متعددی بستگی دارد. (این اعداد از نمایندگی ایران خودرو گرفته شده است)

$$8(lit) = 6.4(kg)$$

$$t(s) = \frac{3600(s) * 1(kg)}{6.4(kg)} \cong 560 (s)$$

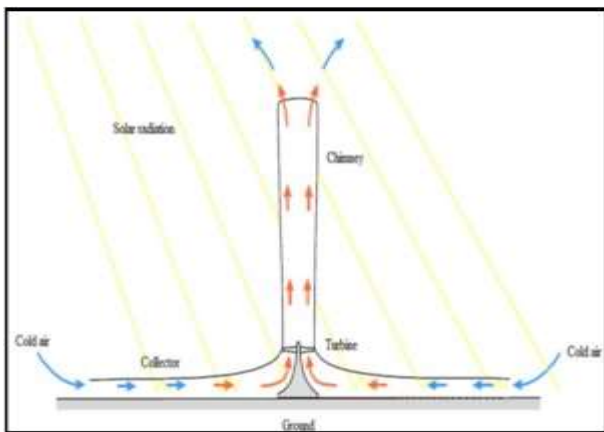
با استفاده از رابطه (3) کار مخصوص تولید شده توسط توربین را محاسبه می کنیم:

$$W_{turbine} = 33.075 * \left(\frac{kJ}{s}\right) * 560 \left(\frac{s}{kg}\right) - 320.58 \left(\frac{kJ}{kg}\right) -$$

$$112.5 \left(\frac{kJ}{kg}\right) + 290.43 + 450$$

$$W_{turbine} = 18829.35 \left(\frac{kJ}{kg}\right)$$

میزان رطوبت هوا، دمای محیط، سرعت باد، سرعت اتومبیل، نوع موتور، نوع اتومبیل، انواع قطعات مکانیکی و سیستم های خنک کننده اتومبیل، روشن و یا خاموش بودن کولر، تنظیم نبودن موتور و ... از جمله شرایطی هستند که می توانند در دمای کلکتور تاثیر گذار باشند. معمولاً موتور اتومبیل ها می توانند در دماهایی بیش از 100 درجه سانتی گراد کار کنند به طوری که فشاری را متحمل نشوند. در این دما، جت فن در اکثر خودروها شروع به کار می کند و اجازه نمی دهد که دمای موتور از حدی بالاتر رود، هم چنین دمای موتور را تقریباً ثابت نگه می دارد چون در غیر این صورت می تواند سبب خام سوزی شود.



شکل 6: نحوه‌ی عملکرد دودکش خورشیدی [6]

مزایای سیستم:

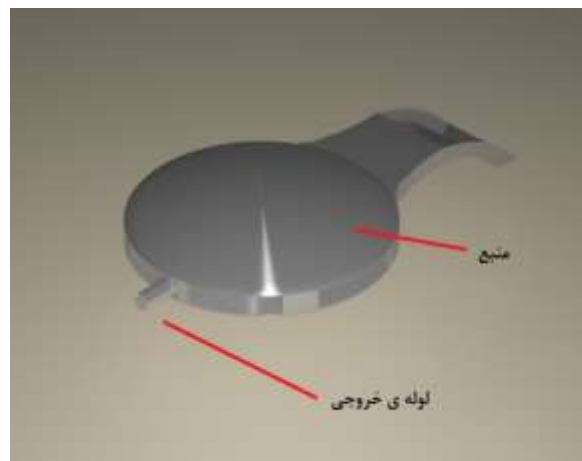
از مزایای سیستم طراحی شده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: تولید برق، عدم آلودگی محیط زیست، جلوگیری از گرمای هدر رفته موتور، استفاده از انرژی تجدید پذیر، استهلاک کم و عمر زیاد، عدم احتیاج به متخصص، قابل اجرا بر روی اکثر اتومبیل‌ها (با تغییر اندکی در مکان قطعات مکانیکی اتومبیل)، کم کردن مقداری از دمای سطح موتور که سبب می‌شود فن با سرعت کمتری کار کند و برق کمتری از باتری استفاده شود، افزایش عمر باتری، تهویه‌ی هوای داخل کابین، ارزان و کارآمد نسبت به نمونه‌های مشابه، وزن کم، ساده و بدون استفاده از قطعات مکانیکی پیچیده، ساخت نسبتاً آسان، باز و بست شدن راحت بر روی خودرو.

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی:

در این مقاله هدف اصلی تولید برق از گرمای هدر رفته موتور خودرو بود که با طراحی یک مدل به‌صورت نمونه و قرار دادن توربین در آن و با استفاده از قوانین ترمودینامیک، در انتها توانستیم یک اختلاف چگالی بین منبع گرم که در این‌جا سطح موتور و منبع سرد که در این‌جا هوای بیرون از خودرو بود، به‌وجود آوریم، و از قانون اختلاف دانسیته، مکشی ایجاد و برق تولید کنیم. در نهایت هوای خروجی از توربین با سرعتی که مشخص شد پس از عبور از فیلتر هوا، وارد کابین سرنشینان شده و منجر به تهویه‌ی هوا می‌شود.

تشکر و قدردانی:

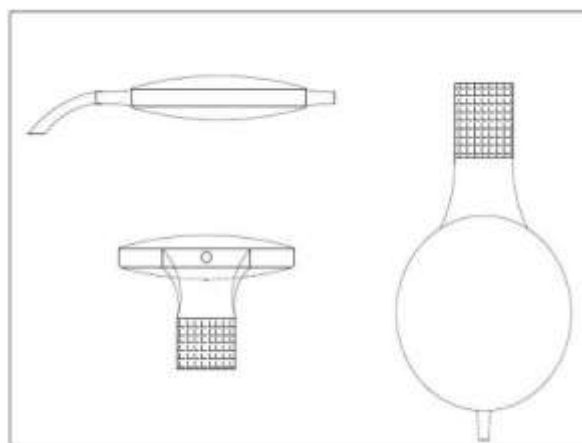
با تشکر و سپاس فراوان از دوست و همکارم آقای مهندس روزبه شفابخش که در ابتدای امر بسیار مرا کمک کردند و آقای مهندس حمید جهانیانی از نمایندگی ایران خودرو که در جمع‌آوری داده‌ها تلاش کردند.



شکل 3: مدل طراحی شده از نمای پشت



شکل 4: مدل طراحی شده از نمای روبه‌رو



شکل 5: سه نمای اصلی این مدل

این مدل با نرم‌افزارهای AutoCAD-2014، solid work2013 و

و 3DsMAX طراحی و شبیه‌سازی شده‌است.

این ایده تقریباً شبیه به دودکش‌های خورشیدی عمل می‌کند. این دودکش‌ها بر اساس اختلاف دانسیته بین هوای گرم شده زیر کلکتور، توسط نور خورشید و جریان سرد اطراف کلکتور کار می‌کنند که سبب می‌شود در ابتدای برج مکشی ایجاد شود و هوای گرم را به درون خود بکشد و توربین به چرخش بیفتد. هوای خروجی از توربین در انتها، از بالای برج خارج و وارد محیط می‌شود [5].

فهرست علائم:

A	سطح مقطع
gZ	پتانسیل بر واحد جرم
h	انتالپی
m _e	دبی خروجی
m _i	دبی ورودی
q	گرمای منتقل شده به منبع بر واحد جرم
w	کار تولیدی بر واحد جرم

منابع و مراجع :

- [1] Elias Paez Ortega, July 2011, "Analyzes of Solar Chimney Design", Norwegian University of Science and Technology, Department of Energy and Process Engineering.
- [2] Jaydeep. V. Joshi¹ and N. M. Patel², Advances in Applied Science Research, 2012, 3 (2):1077-1084, "Thermoelectric system to generate electricity from waste heat of the flue gases", ISSN: 0976-8610.
- [3] van wylen., " Fundamentals Thermodynamics", 2013, sixth edition
- [4] Robert W.fox, Alan T.Mcdonald, Philip J.Pritchard," Introduction to fluid mechanics", 2013, sixth edition
- [5] A.A. El-Haroun, 2012, "Performance Evaluation of Solar Chimney Power Plants in Egypt", International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology, ISSN 2229 – 6107, pp. 49-59
- [6] Amel Dhahri, Ahmed Omri, February 2013, "A Review of solar Chimney Power Generation Technology", International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), ISSN: 2249 – 8958, Volume-2, Issue-3

