بررسی اثر نسبت تراکم برمیزان مصرف سوخت در یک تور چهارزمانهٔ دیزل (۵۴۰)

شهرام حنیفی[۱] ، سعادت کامگار[۲]

چکیده

در این تحقیق تاثیر نسبت تراکم بر روی میزان مصرف سوخت، در یک موتور دیزل چهار زمانهٔ تک سیلندر آب خنک مورد بررسی قرار گرفت. نسبت تراکم موتور مذکور در بازه ۱۵:۱ تا ۱۹:۱ تغییر داده شد. نتایج آزمایش ها نشان دادند که افزایش نسبت تراکم، علاوه بر افزایش راندمان موتور موجب کاهش مصرف سوخت در شرایط بی باری موتور، و کاهش مصرف ویژه سوخت در شرایطی که موتور زیر بار باشد، می گردد. از طرفی در حالت بی باری تاثیر نسبت تراکم بالاتر بر کاهش مصرف سوخت، در سرعت های بالا تر، بیشتر است. ضمن اینکه بررسی ها نشان داد که برای عملکرد بهینه موتور از لحاظ مصرف ویژه سوخت، یک بار بهینه وجود دارد که بایستی با انجام آزمایشات برای هر موتور بصورت جداگانه مورد بررسی قرار گیرد به نحوی که تا قبل از بار مذکور افزایش بار موجب بهبود مصرف ویژه سوخت در موتور می گردد.

کلیدواژه: نسبت تراکم، مصرف سوخت ویژه، توان ترمزی، مصرف سوخت ویژه ترمزی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه شیراز پست الکترونیک: art_hanifi@yahoo.com
۲- استادیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگا ه شیراز

مقدمه:

بنزین، گازوئیل و سایر سوخت هایی که از نفت خام تهیه می شوند، سوخت های فسیلی غیر قابل تجدید هستند که تا چند سال آینده به پایان می رسند. نیاز روز افزون بشر به انرژی و سوخت از طرفی و کاهش ذخایر نفت در جهان از طرف دیگر موجب افزایش قیمت سوخت در جهان و حتی در کشور خودمان گردیده است. اهمیت این مطلب به حدی است که امروزه پس از تولید هر خودرو در جهان یا ساخت هر موتور جدیدی، یکی از مهمترین مباحث، میزان مصرف سوخت خودرو یا موتور مورد نظر است. لذا مهندسان در هنگام طراحی یا بهینه سازی یک موتور، تاثیر تمامی فاکتورها یا متغیرها را بر روی میزان مصرف سوخت نیز، مورد بررسی قرار می دهند. یکی از این فاکتورها، نسبت تراکم می باشد که موجب افزایش بازده یک موتور میگردد.

اهمیت افزایش نسبت تراکم در یک موتور:

توان اندیکه[1] تولیدی یک موتور از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$P_i = \frac{imep \times D \times N}{rc \times 60000} \qquad (1)$$

از معادله (۱) پیداست که طراحان برای ساختن موتورهای پر قدرت تر فقط سه راه دارند. آنها می توانند موتورهای بزرگتر یا با سرعت بیشتر یا با فشار موثر متوسط اندیکه(imep) بیشتر طرح کنند. افزایش اندازه موتور موجب افزایش مصرف انرژی (به علت سنگینی موتور) و افزایش هزینه تولید موتور می گردد. افزایش سرعت موتور نیز موجب افزایش توان اصطکاکی (friction power) می شود. لذا یکی از بهترین روشها برای تولید توان بالا، افزایش imep می باشد. راههای مختلفی برای افزایش imep وجود دارد، همچون افزایش آهنگ تحویل سوخت. روش دیگر افزایش نسبت تراکم می باشد.[3]

افزایش نسبت تراکم که برابر نسبت حجم بیشینه به حجم آزاد بالای سیلندر می باشد، موجب افزایش بازده موتور (افزایش بازده اتاقک احتراق به دلیل افزایش فشار تراکم) می گردد. اما باید دید که این افزایش نسبت تراکم چه تاثیری بر روی میزان مصرف سوخت می گذارد. تاکنون چنینی تحقیقی در داخل کشور صورت نگرفته است.

نومورا و همکاران[2] (۱۹۸۵)، در تحقیقی بر روی یک موتور تک سیلندر دوزمانه هوا خنک، به این نتیجه رسیدند که افزایش نسبت تراکم در بازه ۶٫۶:۱ تا ۱۳٫۶:۱ موجب بهبود (کاهش) ا تا ۳ در صدی مصرف سوخت به ازای هر یک واحد افزایش نسبت تراکم می شود.[1]

مواد و روش ها:

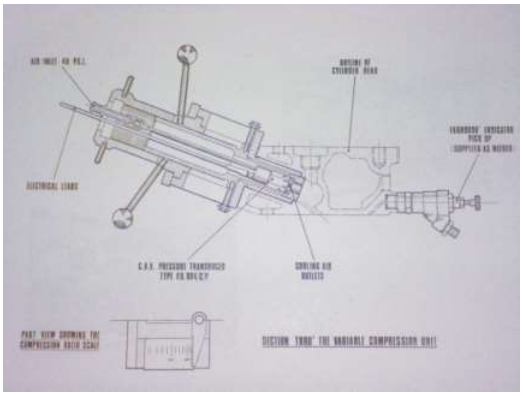
در این تحقیق، اثر نسبت تراکم بر روی میزان مصرف سوخت در یک موتور دیزل با مشخصات داده شده در جدول شماره (۱) که دارای توان ترمزی ۹ اسب بخار در در دور ۱۸۰۰ rpmو نسبت تراکم ۱۸:۱ بود، مورد بررسی قرار گرفت.

Engine type	4-Stroke, Water-Cooled, Single-Cylinder
Bore and Stroke	90×120 mm
Displacement	763.4 cm□
Compression Ratio	varied from approximately 23:1 down to 13:1

جدول شماره (۱). مشخصات موتور مورد آزمایش

[1] - indicated power
[2]- Nomura et al.(1985)

این موتور دارای سامانه نسبت تراکم متغیر می باشد. نحوه تغییر نسبت تراکم همانطور که در شکل(۱)و (۲) مشاهده می شود، بوسیله تغییر موقعیت یک پیستون که یک سمت دیواره اتاقک احتراق را تشکیل می دهد، انجام می شود. حرکت پیستون باعث تغییر حجم اتاقک احتراق و در نتیجه تغییر نسبت تراکم موتور می گردد.



شکل(۲). نمای برش خورده سامانه تغییر نسبت تراکم

شکل(۱). سامانه تغییر نسبت تراکم نصب شده بر روی موتور تک

موتور به یک دینامومتر الکتریکی[1] متصل شده بود. این دینامومتر از نوع جریان مستقیم با سیم پیچی موازی می باشد که از طریق آن قادر به کنترل و بارگذاری روی موتور، راه اندازی و بار گذاری بر روی موتور هستیم.شکل(۳).

شکل(۳). دینامومتر الکتریکی ساخت شرکت Tecquipment

[1] - ساخت شرکت Tecquipment

نسبت تراکم بوسیله مکانیزم ذکر شده در بالا در بازه ۱۵:۱ تا ۱۹:۱ تغییر و عملکرد موتور بوسیله دینامومتر متصل به آن ارزیابی شد. نسبت تراکم بالاتر از ۱۹:۱ به دلیل امکان ایجاد کوبش[1](ضربه) در موتور و احتمال فرسایش سر پیستون و خرابی موتور، مورد ارزیابی قرار نگرفت. در نسبت تراکم پایین تر از ۱۵:۱ نیز عملکرد موتور دچار مشکل می شد، به نحوی که یا موتور خاموش می گردید و یا در صورت عدم خاموشی، رفتار متعادل و قابل ارزیابی از خود نشان نمی داد که علت این مسئله، احتمالا عدم تامین فشار تراکم مناسب و لذا عدم تامین دمای مورد نیاز برای احتراق خوب سوخت پاشیده شده به داخل اتاقک احتراق می باشد.
آزمایشات در دو حالت ارزیابی شد. ۱) حالت بی باری. ۲) حالت تحت بار.

۱) حالت بی باری : در این حالت، یعنی در زمانی که باری روی موتور (بوسیله دینامومتر) قرار داده نشده بود، نسبت تراکم را در بازه بیان شده، تغییر دادیم و در هر نسبت تراکم، به ازای سرعت های مشخص (که بوسیله اهرم گازی که بر روی دینامومتر تعبیه شده بود.) مقدار مصرف سوخت را اندازه گیری نمودیم.

روش اندازه گیری میزان مصرف سوخت :

برای اندازه گیری دبی جرمی مصرف سوخت در دورها و نسبت تراکم های مختلف از استوانه با حجم مشخص استفاده شد. با اندازه گیری زمان مصرف حجم مشخصی از سوخت، (که در این آزمایشات cc ۱۵ بود) دبی حجمی سوخت را از رابطه زیر می توان محاسبه نمود:

$$Q_v = \frac{V}{t} \qquad (۲)$$

همچنین می توان با داشتن دانسیته سوخت (که برای گازوئیل مورد استفاده □ ۸۲۳ kg/ cm بود) از رابطه زیر دبی جرمی سوخت را محاسبه نمود:

$$Q_m = Q_v \times \rho \qquad (۳)$$

جدول شماره(۲) داده های حاصل از انجام آزمایش در این حالت را نشان می دهد.

	مصرف سوخت(gr/s) در نسبت تراکم های :				
دور موتور(rpm)	۱۹:۰۱	۱۸:۰۱	۱۷:۰۱	۱۶:۰۱	۱۵:۰۱
۱۷۰۰	۰.۱۸۴	۰.۱۹۹	۰.۲۰۲	۰.۲۳۳	۰.۳۱۷
۱۶۰۰	۰.۱۷۱	۰.۱۷۹	۰.۱۸۲	۰.۲۲۰	۰.۳۳۴
۱۵۰۰	۰.۱۵۲	۰.۱۵۶	۰.۱۶۰	۰.۱۸۲	۰.۲۸۱
۱۴۰۰	۰.۱۳۴	۰.۱۳۶	۰.۱۴۰	۰.۱۴۴	۰.۱۷۱
۱۳۰۰	۰.۱۱۸	۰.۱۱۸	۰.۱۲۲	۰.۱۲۶	۰.۱۳۳
۱۲۰۰	۰.۱۰۵	۰.۱۰۴	۰.۱۰۹	۰.۱۰۸	۰.۱۱۹
۱۱۰۰	۰.۰۹۱	۰.۰۹۰	۰.۰۹۴	۰.۰۹۵	۰.۱۰۴
۱۰۰۰	۰.۰۸۱	۰.۰۸۱	۰.۰۸۴	۰.۰۸۲	۰.۰۹۱
۹۰۰	۰.۰۷۲	۰.۰۷۲	۰.۰۷۵	۰.۰۷۶	۰.۰۸۳
۸۰۰	۰.۰۶۴	۰.۰۶۲	۰.۰۶۸	۰.۰۶۵	۰.۰۷۲
۷۰۰	۰.۰۵۵	۰.۰۵۶	۰.۰۶۱	۰.۰۶۰	۰.۰۶۶
۶۰۰	۰.۰۴۹	۰.۰۴۹	۰.۰۵۳	۰.۰۵۴	۰.۰۶۳

جدول شماره(۲)

[1] -knock

۲) حالت تحت بار:

در حالت دوم، برای شبیه سازی حالت زیر بار بودن موتور احتراق داخلی، لازم است گشتاور تولیدی موتور به صورتی جذب گردد. بدین منظور گشتاور تولیدی موتور به یک ژنراتور تحویل می گردد و کلیدهای بارگذاری و مقاومت های متصل به آن، جریانی را که ژنراتور به واسطه گشتاور موتور تولید می نماید، مصرف می نمایند. تعداد ۲۰ کلید در پانل دستگاه وجود دارد که به صورت موازی در مدار بسته شده اند و هر یک گشتاوری در حدود ۲,۷ نیوتون متر را جذب می نمایند.

پس از تنظیم نسبت تراکم های مختلف (در بازه ذکر شده) شروع به بار گذاری بر روی موتور نمودیم. ضمن اینکه سرعت موتور نیز در تمامی آزمایشات، به منظور حذف اثر سرعت بر روی میزان مصرف سوخت، تقریبا ثابت نگه داشته شد. سپس دبی جرمی سوخت مصرف شده را طبق همان رابطه (۳) محاسبه شد. چون مصرف سوخت بر حسب gr/s یا kg/h با توجه به بار موتور تغییر می کند، پس این داده برای مقایسه مناسب نیست، لذا از کمیت دیگری به نام مصرف سوخت ویژه (specific fuel consumption) استفاده می شود، که به صورت زیر تعریف می شود:

$$SFC = \frac{M_f}{P} \qquad (۴)$$

که در این رابطه: M_f = آهنگ مصرف سوخت بر حسب کیلوگرم در ساعت(kg/h)

P = توان تولیدی بر حسب کیلو وات (kw) و

SFC = مصرف سوخت ویژه بر حسب کیلوگرم بر کیلو وات ساعت (kg/kw.h) می باشد.

در صورتیکه از توان ترمزی[1] (توان مفید) در رابطه (۴) استفاده شود داریم:

$$BSFC = \frac{M_f}{P_b} \qquad (۵)$$

که در آن BSFC مصرف سوخت ویژه ترمزی نامیده می شود.

روش اندازه گیری توان ترمزی ایجاد شده بوسیله موتور:

توان ترمزی از از فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$P_b = \frac{2\times\pi\times T\times N}{60000} \qquad (۶)$$

که در این رابطه: P_b = توان ترمزی(kw) ، T = گشتاور ترمزی(N.m) و N دور موتور(rpm) می باشد.

برای محاسبه گشتاور ترمزی در بارهای مختلف ، ژنراتور دارای یک بازوی استاندارد بطول ۳۰ سانتیمتر می باشد. این بازو به یک نیرو سنج فنری متصل بوده ودر قسمت زیر آن نیز قسمتی جهت اضافه نمودن وزنه در نظر گرفته شده است.شکل(۴).

[1] -brake power

شکل(۴)

گشتاور از رابطه F×r بدست می آید که در این رابطه، r برابر ۳۰ سانتیمتر می باشد. اما برای محاسبه نیرو(F) داریم:

(۷) F = (عدد قرائت شده عقربه نیروسنج در حالت زیر بار موتور) – (بار مرده قرار داده شده زیر نیرو سنج)

نهایتا پس از محاسبه توان ترمزی و مصرف سوخت ویژه ترمزی برای هر نسبت تراکم داده های جدول زیر بدست می آیند:

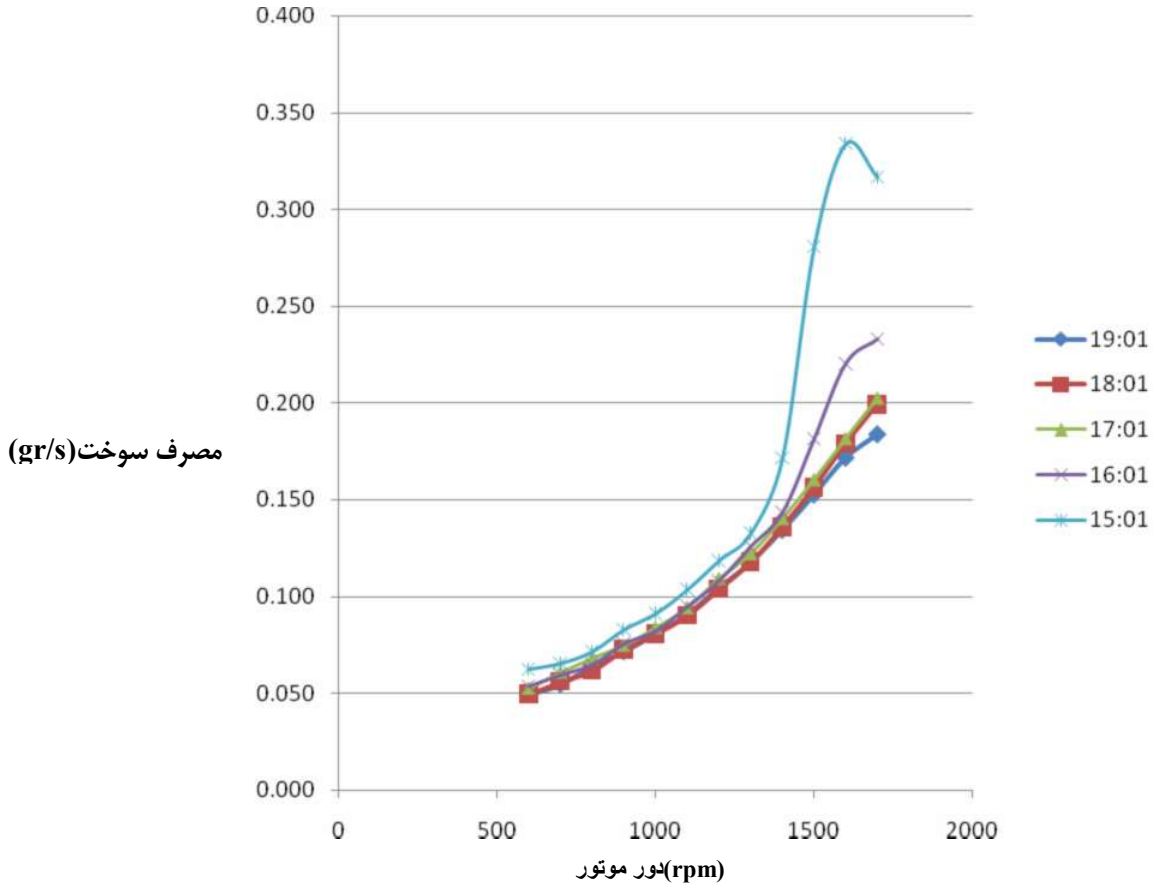
جدول شماره(۳)

	دور موتور	تعداد کلید	بار مرده	قرائت وزنه	گشتاور ترمزی (N.m)	توان ترمزی (Kw)	مصرف 15cc سوخت	مصرف سوخت (cm3/s)	دبی جرمی (gr/sec)	BSFC(gr/Kw.h)
نسبت تراکم 19:1	1150	0	80	52	8.4	1.012	110	0.136	0.111928	398.163
	1160	3	80	33	14.1	1.713	83	0.181	0.148963	313.057
	1180	6	80	13.5	19.95	2.465	64	0.234	0.192582	281.256
	1180	9	120	35.5	25.35	3.132	50	0.3	0.2469	283.793
	1120	12	120	20	30	3.519	35	0.429	0.353067	361.194
نسبت تراکم 18:1	1180	0	80	52	8.4	1.038	105	0.143	0.117689	408.17
	1180	3	80	32.5	14.25	1.761	78	0.192	0.158016	323.031
	1150	6	80	14.5	19.65	2.366	64	0.234	0.192582	293.024
	1150	9	120	36	25.2	3.035	51	0.294	0.241962	287.006
	1100	12	120	22	29.4	3.387	37	0.405	0.333315	354.276
نسبت تراکم 18:1	1200	0	80	52	8.4	1.056	97	0.155	0.127565	434.881
	1180	3	80	32.5	14.25	1.761	75	0.2	0.1646	336.491
	1180	6	80	14	19.8	2.447	61	0.246	0.202458	297.854
	1180	9	120	34.5	25.65	3.17	47	0.319	0.262537	298.149
نسبت تراکم 18:1	1180	0	80	52	8.4	1.038	99	0.152	0.125096	433.859
	1180	3	80	32.5	14.25	1.761	75	0.2	0.1646	336.491
	1190	6	80	13.5	19.95	2.486	58	0.259	0.213157	308.675
	1200	9	120	33	26.1	3.28	45	0.333	0.274059	300.796
نسبت تراکم 18:1	1180	0	80	52.5	8.25	1.019	98	0.153	0.125919	444.856
	1200	3	80	32.5	14.25	1.791	70	0.214	0.176122	354.014
	1180	6	80	14.5	19.65	2.428	56	0.268	0.220564	327.031
	1180	9	120	35	25.5	3.151	42	0.357	0.293811	335.677

بحث و نتیجه گیری:

۱) حالت بی باری :

شکل (۵) نمودار داده های حاصل از انجام آزمایشات در حالت بی باری (داده های **جدول شم ره۲**) می باشد:

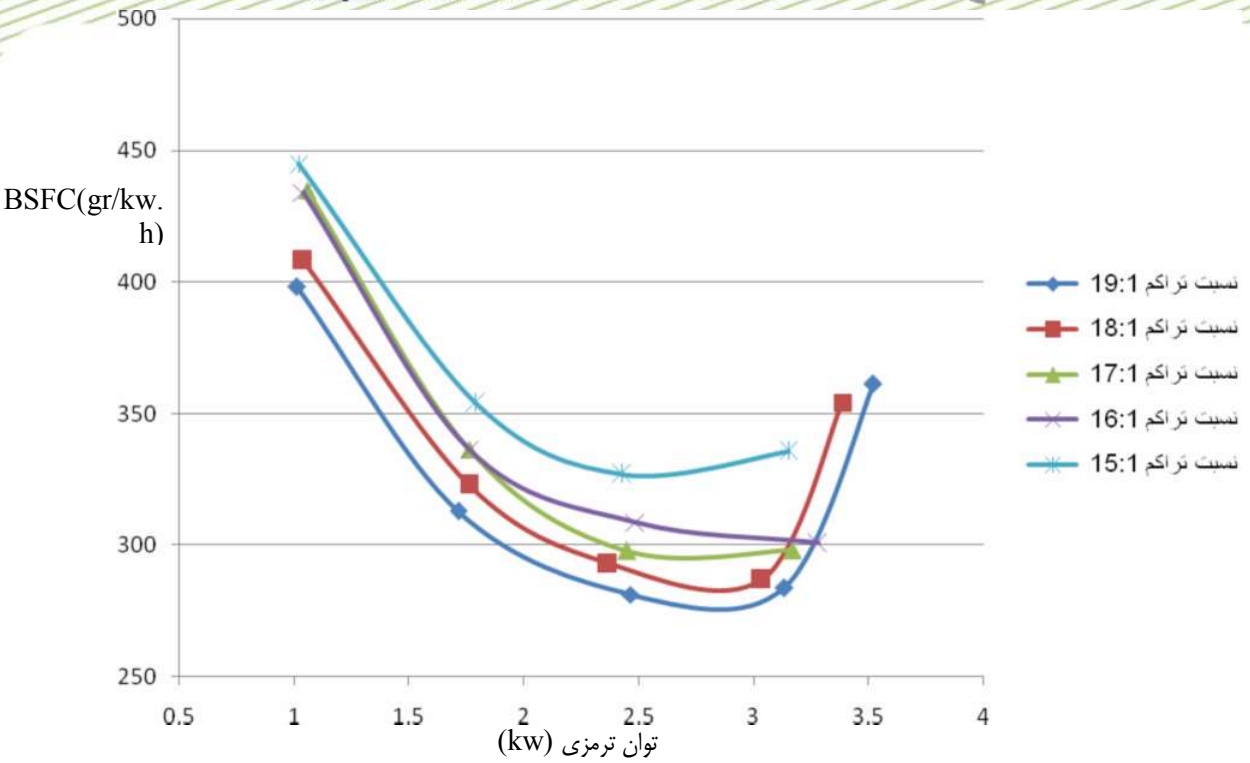


شکل (۵)

همانگونه که از نمودار مشخص است، افزایش نسبت تراکم موجب کاهش مصرف سوخت شده است. به نحوی که نسبت تراکم ۱۵:۱ در تمام بازه سرعتی موتور دارای بیشترین مصرف سوخت است و هر چه نسبت تراکم افزایش می یابد، مصرف سوخت کمتر می شود تا به نسبت تراکم ۱۸:۱ و ۱۹:۱ برسد که تقریبا مقادیر یکسانی دارند. از طرفی تاثیر نسبت تراکم بر روی مصرف سوخت بویژه در سرعت های بالای موتور نمود بیشتری دارد. نکته دیگر اینکه در تمامی نسبت تراکم ها، افزایش دور موتور در حالت درجا موجب افزایش مصرف سوخت گردیده است.

۲) حالت تحت بار:

نمودار حاصل از داده های بدست آماده در شرایطی که بار بر روی موتور قرار گرفته است(داده های جدول۳) نیز به صورتی که در شکل(۶) نمایش داده شده است ترسیم می گردد:



شکل(۶)

این داده ها، کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی را با افزایش نسبت تراکم نشان می دهند. به نحوی که بیشترین نسبت تراکم (۱۹:۱) دارای کمترین میزان مصرف سوخت ویژه ترمزی در تمام دامنه توان ترمزی می باشد.

دربررسی نمودار برای تمام نسبت تراکم ها، دو دامنه مورد بررسی قرار می گیرد. در بازه ۱ تا حدود ۲,۵ کیلو وات، با افزایش توان ترمزی طبق رابطه (۵) ، مصرف ویژه سوخت کاهش یافته است.(می دانیم در این بازه، بازده مکانیکی نیز با افزایش بار زیاد می شود.) اما از توان حدود ۲,۵ کیلووات به بعد، با افزایش توان، آهنگ مصرف سوخت هم به دلایلی چون افزایش اصطکاک و افزایش افت حرارتی افزایش یافته لذا با توجه به رابطه (۵) مقدار BSFC شروع به افزایش نموده است.[4],[3]

نتیجه گیری و پیشنهاد ها:

۱) افزایش نسبت تراکم، در موتور دیزل مربوطه، علاوه بر افزایش راندمان موتور موجب کاهش مصرف سوخت در شرایط بی باری موتور، و کاهش مصرف ویژه سوخت در شرایطی که موتور زیر بار باشد، می گردد.

۲) در حالت بی باری افزایش سرعت موتور موجب افزایش مصرف سوخت در هر نسبت تراکمی گردید.

۳) در حالت بی باری تاثیر نسبت تراکم بالاتر بر کاهش مصرف سوخت در سرعت های بالا تر بیشتر است.

۴) برای عملکرد بهینه موتور از لحاظ مصرف ویژه سوخت، یک بار بهینه وجود دارد که بایستی با انجام آزمایشات برای هر موتور بصورت جداگانه مورد بررسی قرار گیرد به نحوی که تا قبل از بار مذکور افزایش بار موجب بهبود مصرف ویژه سوخت در موتور می گردد.

منابع:

1) Nomura, K. Hirano, S. Gotoh, T and Motoyama, Y. 1985. Improvement of Fuel Consumption with Variable exhaust port timing in a two-stroke gasoline Engine. SAE.
2) Muranaka,S. Takagi, Y and Ishida,T. 1987. Factors Limiting the improvement in thermal efficiency of S.I.Engine at Higher Compression Ratio. SAE.
۳) ای گورینگ، ک. ۱۳۸۲. توان موتور و تراکتور. رنجبر، ا، قاسم زاده، ح و داودی، ش. چاپ سوم. تبریز. انتشارات دانشگاه تبریز.
4) F.Obert, E. 1973. Internal combustion engines and air pollution. Third Edition. New York. Intext Educational publishers.