



## شبیه‌سازی اصطکاک سامانه سمبه و حلقه موتور ملی در شرایط موتور گردانی و احتراقی و بررسی تأثیر لقی بین سمبه و استوانه در آن

مجتبی محرابی وقار<sup>1</sup>، محمد علی احترام<sup>2\*</sup>، پیمان شرقی<sup>3</sup>، اصغر پاداش<sup>4</sup>

<sup>1</sup> دانشگاه ایران خودرو، شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (اییکو)، تهران، ایران [m\\_mehrabi@ip-co.com](mailto:m_mehrabi@ip-co.com)

<sup>2</sup> دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران [m\\_ehteram@ip-co.com](mailto:m_ehteram@ip-co.com)

<sup>3</sup> شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (اییکو)، تهران، ایران [p\\_sharghi@ip-co.com](mailto:p_sharghi@ip-co.com)

<sup>4</sup> شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (اییکو)، تهران، ایران [a\\_padash@ip-co.com](mailto:a_padash@ip-co.com)

\* نویسنده مسئول

### اطلاعات مقاله

### چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: 30 آذر 1394  
پذیرش: 29 بهمن 1394

کلیدواژه‌ها:

اصطکاک

سمبه

حلقه

لقى

موتور گردانی

یکی از موضوعات بسیار مهم که در بازده موتور تأثیر بسزایی دارد اصطکاک داخلی موتور است. در این مقاله نحوه اصطکاک مجموعه سمبه و استوانه موتور EF7 توسط نرم‌افزار AVL Excite شبیه‌سازی شده است. در نهایت نتایج حاصل از آزمون با نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای اعتبارسنجی الگوی شبیه‌سازی شده، مقایسه شد. سپس مقدار اصطکاک موتور برای لقی های دیگر، توسط شبیه‌سازی ارائه شده به دست آمد. همچنین اصطکاک موتور در شرایط احتراق نیز به دست آمد و مقدار آن با حالت موتور گردانی مقایسه شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در حالت موتور گردانی با افزایش لقی سمبه و حلقه، مقدار اصطکاک در سرعت‌های کمتر از 3000 د.د.د. (دور در دقیقه) تغییر چندانی نمی‌کند. اما افزایش لقی از 30 به 80 میکرومتر در سرعت 6000 د.د.د.، سبب حدود 20% کاهش اصطکاک می‌شود. همچنین دیده شد که احتراق منجر به افزایش قابل ملاحظه‌ای در اصطکاک موتور می‌شود.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.



## 1. مقدمه

مادن<sup>6</sup> و کیم<sup>7</sup> در سال 2006 با انجام آزمون تجربی اثر تغییر طراحی دامن سمبه و لقی آن در اصطکاک و صدا<sup>8</sup> مجموعه سمبه را بررسی کردند. آنها آزمایش‌های خود را روی موتوری تک استوانه و در حالت احتراقی انجام دادند و هر سمبه طراحی دامن مشخص را با لقی‌های مختلف آزمایش کردند و اثر آن را در اصطکاک و صدای موتور اندازه‌گیری کردند [3].

ناکایاما<sup>9</sup> و همکاران در سال 2000 مقاله ای با همین عنوان ارائه دادند. در این مقاله همان طور که گفته شد مقدار اصطکاک مجموعه سمبه در شرایطی که محور میل‌لنگ با مرکز انحراف داشت اندازه‌گیری شده بود [4].

## 2. شبیه‌سازی

همان طور که گفته شد برای شبیه‌سازی اصطکاک مجموعه سمبه از نرم افزار AVL-EXCITE-PISTON AND RING استفاده می‌شود. این نرم افزار قابلیت‌های قابل قبولی در شبیه‌سازی متغیرهایی نظیر اصطکاک، نیرو، شتاب، سرعت و فشار مجموعه سمبه و حلقه دارد. در شبیه‌سازی ابتدا باید داده‌های عمومی موتور نظیر قطر استوانه، طول دسته سمبه، شعاع میل‌لنگ، انحراف محور سمبه و گام سمبه را به نرم‌افزار داد. در قدم بعد داده‌های سمبه که شامل داده‌های ابعاد، مواد و دما است، برای نرم‌افزار تعریف می‌شود. داده‌های ابعادی سمبه شامل داده‌های ابعاد دقیق مانند ارتفاع سمبه، فاصله مرکز جرم سمبه تا محور سمبه و شکل دامن سمبه است. شکل 1 شکل تغییرات سطح دامن سمبه را بر حسب میکرومتر نشان می‌دهد [5].

شکل 1 از سمت فشاری<sup>10</sup> دامن سمبه موتور تا وسط سمت فشاری ضعیف<sup>11</sup> آن است که نیمه دیگر قرینه این نیمه است. سطح تماسی سمبه با آستری به همراه دقت دانه بندی نیز باید وارد داده‌های نرم‌افزار شود. شکل 2 سطح تماسی سمبه را نشان می‌دهد.

بدلیل اینکه سمبه موتور ملی دارای دامن سرتاسری<sup>12</sup> نیست سطح تماسی آن در محل محور سمبه فرو رفتگی دارد که در تعریف سطح تماسی فقط دامن سمبه در دو سمت فشاری ضعیف و قوی لحاظ می‌شود [5].

داده‌های موادی نظیر ضریب انبساط و سختی سمبه نیز از جمله داده‌های موادی این قطعه است. توزیع دما در ارتفاع‌های مختلف سمبه نیز باید وارد شود. یکی دیگر از اطلاعات مهم در شبیه‌سازی سمبه مشخصه‌های اصطکاکی است که خود نرم‌افزار برای موتورهای بنزینی این ضرایب را پیشنهاد می‌دهد. دیگر قطعه مهم

یکی از مسائل مهم در موتورهای احتراق داخلی، بازده موتور است. امروزه سعی بر + آن است تا با ضعیف کردن اصطکاک داخلی موتور مقدار بازده را افزایش دهند. یکی از مجموعه‌های تأثیر گذار در اصطکاک داخلی موتور اصطکاک مجموعه حلقه و سمبه است که متأثر از عوامل زیادی مانند مقدار لقی بین سمبه و استوانه است. در این مقاله سعی می‌شود به شبیه‌سازی نحوه اصطکاک سامانه سمبه و حلقه موتور ملی و مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با آزمون تجربی برای بدست آوردن الگوی دقیق از این سامانه، انجام می‌پذیرد. همچنین در این مقاله چگونگی اثر لقی بین سمبه و استوانه در اصطکاک شبیه‌سازی می‌شود.

برای اینکار نرم‌افزار AVL-EXCITE-PISTON AND RING استفاده شد. در انتها با شبیه‌سازی شرایط احتراقی سامانه سمبه و حلقه در نرم‌افزار مقدار اصطکاک با حالت موتورگردانی با اصطکاک در حالت احتراقی مقایسه شد. همچنین مقایسه بین اصطکاک مجموعه سمبه و استوانه در حالت موتورگردانی با اصطکاک در حالت احتراقی انجام گرفت. در این نرم‌افزار ورودی‌هایی از مشخصه‌های موادی و ابعادی سمبه، حلقه، آستری، محور سمبه و دسته سمبه باید وارد شود. برای محاسبه هرچه بهتر ورودی‌ها باید به طور دقیق به نرم‌افزار داده شود.

تاکی‌گوچی<sup>1</sup> و همکاران لقی بین سمبه و استوانه را با هدف بهینه‌کردن صدا و ارتعاشات ناشی از ضربات سمبه به استوانه بررسی کردند. بهینه‌سازی لقی منجر به کم شدن لقی بین سمبه و استوانه می‌شد که تاکی‌گوچی و همکاران باید بهینه‌سازی را تاحدی انجام می‌دادند که منجر به افزایش اصطکاک و سایش سمبه نشود. آنها اثر قسمت‌های مختلف سمبه در اصطکاک را بررسی کردند [1].

هانس<sup>2</sup> و هوبرت<sup>3</sup> با شبیه‌سازی مجموعه سمبه، حلقه و استوانه اثر کشش حلقه روی برخی از متغیرهای موتور از جمله اصطکاک بین حلقه و استوانه را بررسی کردند. آنها اصطکاک را بصورت مجزا در رینگ‌های مختلف و در شرایط مختلف شبیه‌سازی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان می‌داد که اثر کشش حلقه بیشترین تأثیر را در اصطکاک رینگ روغن به نسبت حلقه‌های اول و دوم می‌گذارد و کشش حلقه اثر مستقیم در اصطکاک دارد [2].

در بعضی مقالات تأثیر مواردی همچون انحراف مرکز<sup>4</sup> محور سمبه<sup>5</sup> و یا محور میل‌لنگ در اصطکاک بررسی شده است.

7 - Kwangsoo Kim

8 - Noise

9 - Nakayama

10 - Thrust

11 - Anti-thrust

12 - Full Skirt

1- Massaki Takiguchi

2 - Hans

3 - Hubert

4 - Offset

5 - Piston Pin

6 - Dermot Madden

حلقه‌های دوم و سوم نیز با شکل متفاوت شبیه‌سازی می‌شود. برای شبیه‌سازی پویایی حلقه سمبه، پیش فرض‌های زیر در نظر گرفته شده است [6]:

**ü** به طور همزمان محاسبات در دو سمت فشاری و غیر فشاری سمبه انجام شده است.

**ü** حلقه‌ها نزدیک به هم هستند و می‌توان مانند جرمی تنها آنها را در نظر گرفت.

**ü** از نیروهای جرمی در جهت شعاعی حلقه می‌توان صرف نظر کرد. (از تغییرات جزئی ناشی از ضخامت فیلم روغن صرف نظر می‌شود).

**ü** نیروی اصطکاک شعاعی بین جناحین حلقه و شیار حلقه با استفاده از Friction Function با توجه به معادله Stribeck محاسبه می‌شود. معادله‌های 1 و 2، معادلات حاکم بر این محاسبات را نشان می‌دهد [5].

$$F_f^{Piston Liner} = F_n \mu \quad (1)$$

$$\mu = f \left( \frac{v}{Av^2 + B|v| + C} + Dv \right) \quad (2)$$

در معادلات 1 و 2، ضرایب A، B، C و D به شرح زیر است.

A: 57 متر بر ثانیه برای موتورهای بنزینی احتراق داخلی

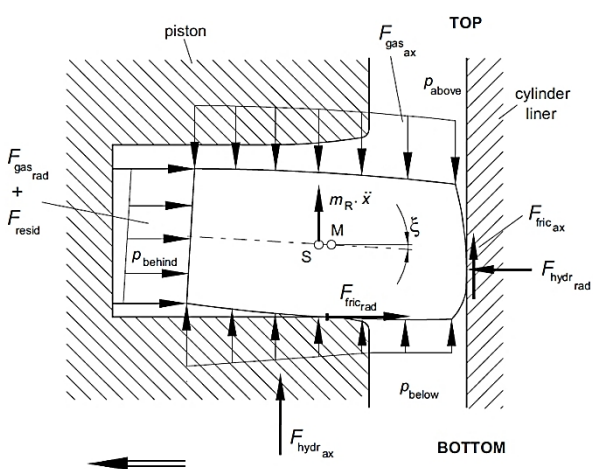
B: برابر صفر

C: 1,5 متر بر ثانیه

D: برابر  $3.6 \times 10^{-4}$  ثانیه بر متر برای موتورهای بنزینی احتراق داخلی

F ضریب Friction change است که با مقایسه با آزمون تجربی برای این موتور برابر 0,04 بدست آمد.

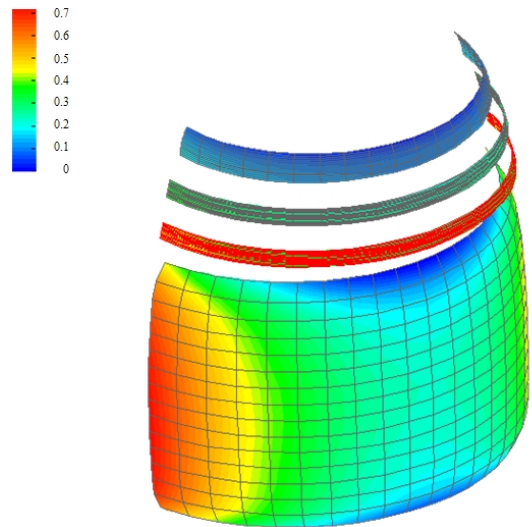
نیروهای وارده به حلقه مطابق شکل 4 اعمال می‌شوند [5].



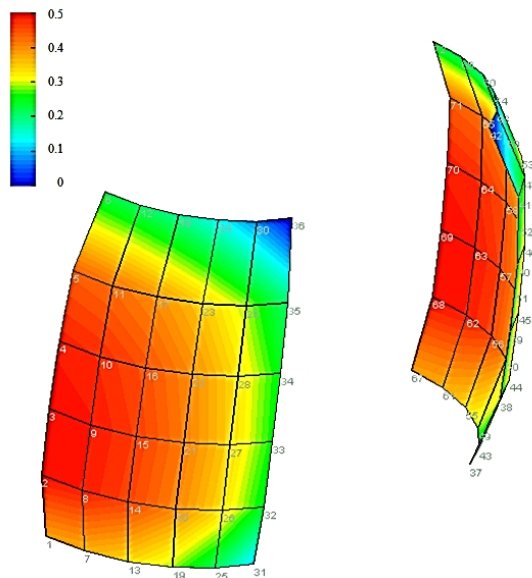
شکل 4: نیروهای فعال در حلقه سمبه

نیروهای وارده به حلقه در جهت محوری عبارتند از [6]:

برای شبیه‌سازی در نرم‌افزار حلقه است. داده‌های حلقه نیز شامل داده‌هایی مربوط به مواد، ابعاد، دما و لقی آن در سمبه است.

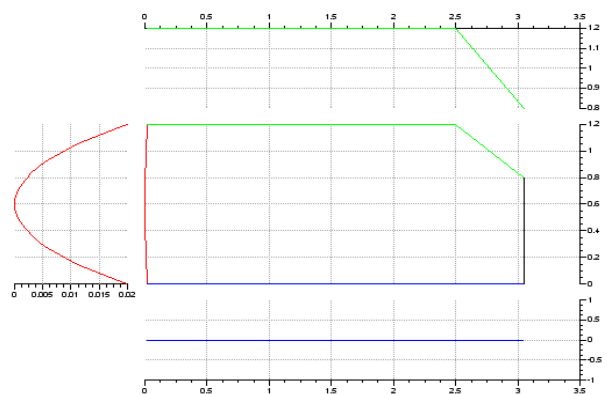


شکل 1: شکل سمبه در موتور EF7



شکل 2: شکل سطح تماسی سمبه

شکل 3 سطح مقطع حلقه اول را نشان می‌دهد [5].



شکل 3: سطح مقطع حلقه اول

نکته مهم در شبیه سازی اصطکاک مجموعه حلقه و سمبه وارد کردن اطلاعات صحیح متناسب با شرایط کارکرد موتور در آزمون موتور گردانی<sup>13</sup> است.

برای مقایسه دقیق نتایج شبیه سازی با روش موتور گردانی وارد کردن داده های مناسب از فشار و دمای محفظه احتراق به نرم افزار است.

با توجه به اینکه در روش موتور گردانی از اثر دما و فشار احتراق چشم پوشی می شود باید در پنجره مربوط به این اطلاعات در نرم افزار، دمای و فشار احتراق متناسب با شرایط آزمون را به نرم افزار داد.

دمای قطعات موتور نظیر سمبه باید متناسب با دمای روغن به نرم افزار داده شود که دلیل آن انتقال حرارت دائم روغن به سمبه و نبود احتراق در بالای سطح آن است. فشار احتراق استوانه نیز با توجه به اینکه بالای سمبه به محیط وصل است برابر با فشار محیط در نرم افزار تعریف می شود [5].

### 3. روش آزمون تجربی

برای اجرای آزمون اصطکاک روی مجموعه حلقه و سمبه موتور ملی از روش موتور گردانی استفاده شد. در این روش برای بدست آوردن اصطکاک تک تک هر سامانه موتور ابتدا اصطکاک کلی موتور را بدست می آورند.

برای بدست آوردن اصطکاک از موتوری برقی برای چرخاندن میل لنگ موتور استفاده می شود. بعد از اندازه گیری اصطکاک کل موتور اقدام به جدا کردن هر یک از سامانه های موتور می کنند. مقدار گشتاور حاصل شده بعد از باز کردن هر سامانه از روی موتور منهای اصطکاک کل موتور می شود که در نهایت مقدار اصطکاک سامانه مورد نظر را نشان می دهد.

به این ترتیب هر سامانه که از روی موتور کم می شود اصطکاک آن نیز از اصطکاک کل موتور کاسته می شود. در نهایت برای بدست آوردن اصطکاک مجموعه حلقه سمبه باید اصطکاک مجموعه میل لنگ، حلقه و سمبه را در شرایطی بدست آورد که فقط همین سامانه ها روی بدنه باشند و در انتها سمبه و حلقه ها را باز کرده و اصطکاک میل لنگ را به تنهایی اندازه گیری کرد.

در انتها گشتاور مجموعه لنگ و لغزنده از اصطکاک مجموعه لنگ کسر می شود و در نهایت اصطکاک مجموعه حلقه و سمبه به طور مستقل محاسبه می شود.

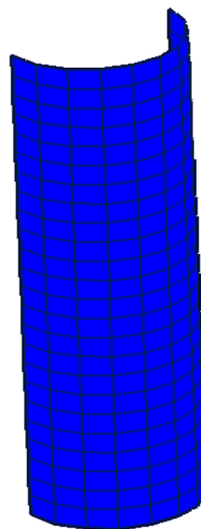
شایان ذکر است که این آزمون طبق روش شرکت FEV<sup>14</sup> آلمان و با (FEV Strip-Method) 12686-0100SD-019 انجام گرفته است. گفتنی است این آزمون می تواند در دماهای روغن و آب مختلف

- نیروی جرمی (از جمله جاذبه و حرکت چرخشی سمبه)
  - نیروی اصطکاک بین استوانه و سطح حلقه در حال حرکت
  - نیروی گاز
  - نیروی نوسانات ناشی از پر بودن شیار از روغن
  - نیروی خمیدگی ناشی از فعل و انفعال بین سمت فشاری و غیرفشاری
- نیروهای وارده به حلقه در جهت شعاعی عبارتند از [6]:

- نیروی ناشی از کشش حلقه
- نیروی گاز
- نیروی اصطکاک بین حلقه و شیار سمبه
- نیروی ناشی از فشار هیدرودینامیکی در شکاف میان استوانه و سطح حلقه در حالت کار (شامل نیروی میرایی شعاعی)
- نیروی تماس بین استوانه و سطح حلقه در حال کار بدین شرح است [6]:

$$F_{contact} = F_{gas} + F_{tension} + F_{friction} \quad (3)$$

در صورت منفی بودن این نیرو، حلقه از سطح استوانه جدا می شود. برای شبیه سازی استوانه نیز اطلاعات مربوط به ابعاد و همچنین توزیع دما در ارتفاع آن را باید به عنوان ورودی به نرم افزار داد. شکل 5 شکل استوانه دانه بندی شده در نرم افزار را نشان می دهد [5]. دو قطعه دیگر که در سامانه سمبه و حلقه این نرم افزار نیاز به شبیه سازی دارد، محور سمبه و دسته سمبه است. اطلاعات درخواستی برای دسته سمبه تنها شامل وزن و گشتاور اینرسی بوده است. برای دسته سمبه نیز علاوه بر این داده ها باید قطر چشم های کوچک و بزرگ و همچنین فاصله مرکز جرم آن را تا مرکز چشم بزرگ را به همراه متغیرها اصطکاک وارد نمود [5].

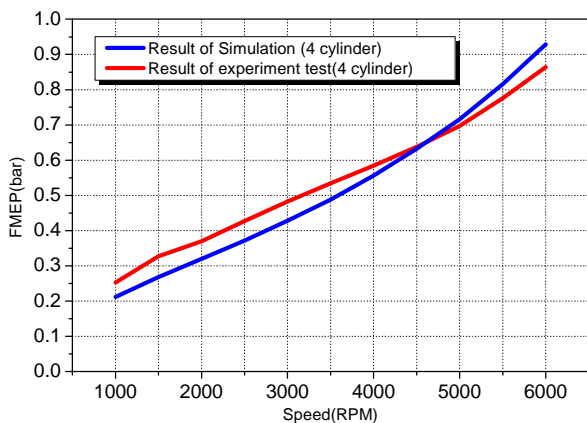


شکل 5: استوانه شبکه بندی شده

### 13 Motoring

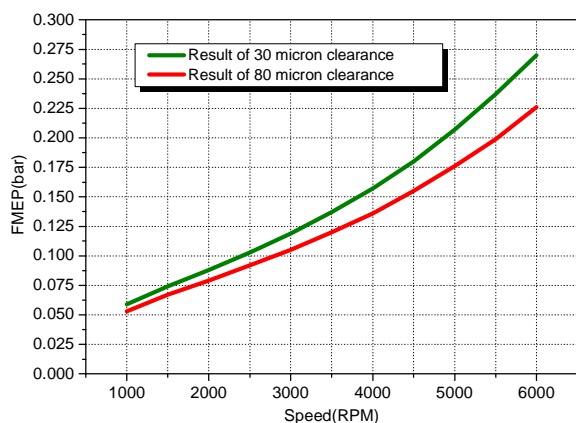
<sup>14</sup> - این شرکت یکی از شرکت های شناخته شده در زمینه طراحی و آزمون های موتوری است.

آن این است که در شبیه سازی نتایج برای یکی از استوانه های موتور محاسبه شده است. شکل 8 نتایج حاصل از آزمون تجربی را در مقایسه با شبیه سازی صورت گرفته برای موتور 1 استوانه در دمای روغن و آب 90 درجه سانتیگراد نمایش می دهد.



شکل 8: مقایسه نتایج تجربی با شبیه سازی برای موتور یک استوانه برای مجموعه حلقه و سمبه

شکل 8 نشان از دقت قابل قبول در شبیه سازی در مقایسه با نتایج حاصل از آزمون تجربی در لقی 50 میکرومتر دارد. بعد از مقایسه نتایج نظری و تجربی و اطمینان از صحت نتایج، برای مقایسه اثر لقی، مقدار لقی بین سمبه و استوانه در نرم افزار تغییر داده شد. شکل 9 مقایسه بین نتایج حاصل از شبیه سازی با دو لقی 30 و 80 میکرومتر را در شرایط موتور گردانی در موتور یک استوانه را نشان می دهد.



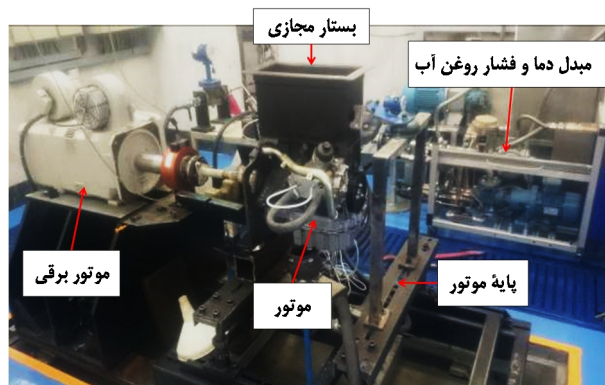
شکل 9: مقایسه نتایج شبیه سازی برای موتور یک استوانه با لقی 30 و 80 میکرون

شکل 9، نشان می دهد که تغییر لقی از 30 به 80 میکرومتر در شرایط موتور گردانی در دمای روغن و آب 90 درجه سانتیگراد اثر چندانی در اصطکاک مجموعه سمبه و حلقه نداشته که این پدیده در دوره های کند، محسوس تر است.

یکی دیگر از عواملی که تأثیر زیادی در اصطکاک دارد فشار و دمای احتراق موتور است. در شرایط موتور گردانی به خاطر عدم وجود

انجام شود که در این مقاله فقط دمای 90 درجه سانتیگراد مقایسه شده است [7].

شکل 6 نمایی از اتاق آزمون اصطکاک را به همراه تجهیزات مهم اتاق نشان می دهد.

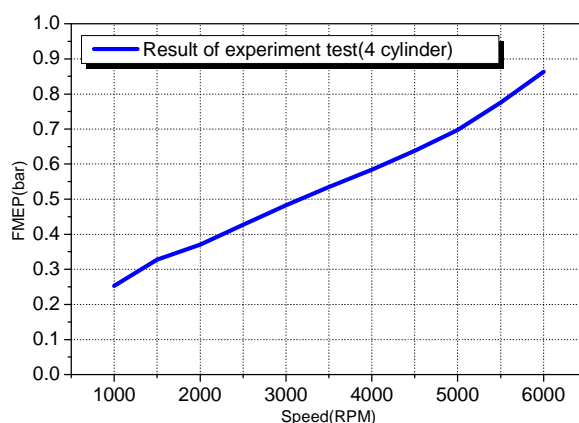


شکل 6: نمایی از اتاق آزمون اصطکاک

موتور برقی استفاده شده در اتاق اصطکاک دارای بیشینه توان تولیدی برابر 60 کیلووات و بیشینه گشتاور 143 نیوتن متر و بیشینه سرعت 10000 د.د.د. است و همچنین ولتاژ تغذیه آن برابر 360 ولت و جریان مصرفی 113 آمپر است.

#### 4. نتایج آزمون

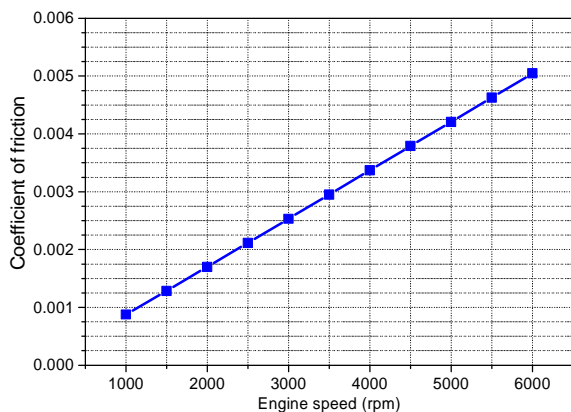
نتایج تجربی آزمون اصطکاک مجموعه حلقه و سمبه برای موتور ملی 4 استوانه در شرایطی که دمای آب و روغن موتور روی 90 درجه سانتیگراد ثابت شده بود در شکل 7 نشان داده شده است. این آزمون با لقی استاندارد 50 میکرومتر انجام شده است که براساس آن شبیه سازی نیز در این لقی انجام می گیرد.



شکل 7: نتایج تجربی آزمون اصطکاک برای مجموعه حلقه و سمبه موتور مرجع

نمودار نشان داده شده برای موتور 14 استوانه است که برای مقایسه این نتایج با نتایج حاصل از شبیه سازی باید تقسیم بر 4 شود که دلیل

کمتر از سرعت‌های تند است. می‌توان گفت لقی در شرایط موتور گردانی بخصوص در سرعت‌های کند، اثر کمی در اصطکاک دارد. همچنین اثر فشار و دمای احتراق نسبت به شرایط موتور گردانی خیلی زیاد بوده به طوری که با یک لقی یکسان در شرایط احتراقی اصطکاک مجموعه حلقه و سمبه دوبرابر حالت موتور گردانی می‌شود.



شکل 11: ضریب اصطکاک محاسباتی بین سمبه و استوانه در سرعت‌های مختلف موتور

این نتایج نشان از اثر شدید فشار و دمای احتراق در اصطکاک مجموعه حلقه و سمبه دارد که این نتایج حاکی از آن است که آزمون موتور گردانی برای اندازه‌گیری اصطکاک دقیق این مجموعه خاص از موتور، روش دقیقی نیست و فقط جنبه مقایسه‌ای بین موتورهای گوناگون دارد. در نهایت با بهره‌گیری از الگوی مناسب اصطکاکی مجموعه سمبه، حلقه و استوانه می‌توان با تغییر هر یک از متغیرهای سامانه حلقه و سمبه در نرم‌افزار، می‌توان اثر هر کدام از این متغیرها را در اصطکاک موتور ارزیابی کرد.

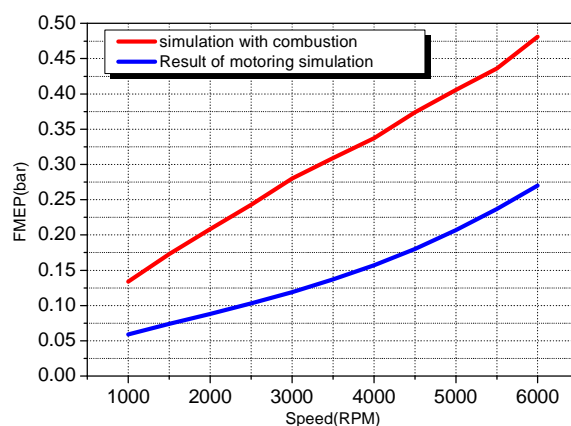
### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله، از شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو)، برای حمایت مالی از این تحقیق، قدردانی می‌نماید. ضمناً از آقای مهندس سلطانی و همچنین از کارکنان آزمایشگاه موتور ایپکو نیز، تشکر می‌شود.

### مراجع و منابع

- [1] Takiguchi, Masaaki, Hidenori Kikuchi, and Shoichi Furuhashi. Influence of clearance between piston and cylinder on piston friction. No. 881621. SAE Technical Paper, 1988.
- [2] Priebisch, Hans H., and Hubert M. Herbst. "Simulation of Effects of Piston Ring Parameters on Ring Movement, Friction, Blowby and LOC." MTZ. November 1999
- [3] Dermot Madden and Kwangsoo Kim, Piston Friction and Noise Study of Three Different Piston

احتراق به واسطه شرایط آزمون اثر این پدیده در اصطکاک مجموعه سمبه و حلقه دیده نمی‌شود. حال با قرار دادن شرایط احتراقی موتور اعم از فشار و دمای محفظه احتراق و قطعات موتور در شبیه‌سازی ارائه شده می‌توان اثر این پدیده را در اصطکاک این مجموعه مشاهده نمود. شکل 10 مقایسه بین نتایج اصطکاک حاصل از شبیه‌سازی با و بدون در نظر گرفتن احتراق در لقی 80 میکرومتر بین سمبه و استوانه را در موتور یک استوانه نشان می‌دهد.



شکل 10: مقایسه بین نتایج حاصل از شبیه‌سازی با و بدون در نظر گرفتن احتراق با لقی 80 میکرومتر

### 5. نتیجه گیری

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، در صورت در نظر گرفتن دما و فشار احتراق، به علت افزایش قطر سمبه متأثر از دما و همچنین افزایش فشار پشت حلقه، اصطکاک سامانه سمبه و حلقه دو برابر حالت موتور گردانی می‌شود که این نشان از تأثیر قوی دما و فشار احتراق در اصطکاک سامانه لغزنده موتور دارد. همچنین در سرعت‌های تند در حالت موتور گردانی اصطکاک مجموعه حلقه و سمبه برابر با 0,48 بار است که در صورت فرض 4 استوانه بودن موتور، این اختلاف بیشتر هم می‌شود. همچنین دلیل افزایش اصطکاک با افزایش سرعت موتور، بخاطر افزایش مسافت طی شده سمبه در واحد زمان است که باعث قوی شدن مقدار ضریب اصطکاک می‌شود. شکل 11 ضریب اصطکاک محاسبه شده با توجه به معادله (2) در شبیه‌سازی را در سرعت‌های مختلف موتور نشان می‌دهد.

همچنین نتایج آزمون نشان می‌دهد که با فرض یکسان بودن شرایط مرزی موتور مانند دما و فشار احتراق و دمای قطعات سامانه حلقه و سمبه در نرم‌افزار با آزمون تجربی، می‌توان الگوی قابل قبولی برای ارزیابی رفتار اصطکاکی مجموعه سمبه و حلقه شبیه‌سازی نمود. نتایج مقایسه حاصل از شبیه‌سازی با دو لقی 30 و 80 میکرومتر نشان داد که در شرایط موتور گردانی سهم اصطکاک مجموعه سمبه و حلقه در شرایط لقی 30 و 80 میکرومتر در دمای آب و روغن 90 درجه سانتیگراد کم است که همین اثر کم نیز در سرعت‌های کند بسیار

[6] حمید احترام، بررسی و شبیه‌سازی دبی و فشار گازهای نشتی از کنار حلقه‌ها در موتور ملی (EF7)، پایان نامه کارشناسی دانشگاه آزاد کاشان

[7] Report of Development of the 1.7l Bi-Fuel Engine. Report of Friction Measurements. Test No.: 12686-0100SD-019

Architectures for an Automotive Gasoline Engine, SAE TECHNICAL PAPER SERIES 2006-01-0427

[4] Kei Nakayama, Seiji Tamaki, Hiroyuki Miki and Masaaki Takiguchi, The Effect of Crankshaft Offset on Piston Friction Force in a Gasoline Engine, SAE TECHNICAL PAPER SERIES 2000-01-0922

[5] AVL GLIDE ,Version 4.5, Piston Ring Dynamics and Lube Oil Consumption User's Guide, June 2004



## Simulation of piston and ring friction at the motoring condition and investigation effect of combustion and clearance between the piston and cylinder

M. Mehrabi V.<sup>1</sup>, M. A. Ehteram<sup>2\*</sup>, P. Sharghi<sup>3</sup>, A. Padash<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Iran Khodro University, Iran Khodro Power train Company, Tehran, Iran, [m\\_mehrabi@ip-co.com](mailto:m_mehrabi@ip-co.com)

<sup>2</sup>Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, [ehteram@ip-co.com](mailto:ehteram@ip-co.com)

<sup>3</sup>Iran Khodro Powertrain Company (IPCO), Tehran, Iran, [p\\_sharghi@ip-co.com](mailto:p_sharghi@ip-co.com)

<sup>4</sup>Iran Khodro Powertrain Company (IPCO), Tehran, Iran, [a\\_padash@ip-co.com](mailto:a_padash@ip-co.com)

\*Corresponding Author

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 20 December 2015

Accepted: 17 February 2016

#### Keywords:

Friction  
Piston ring  
Clearance  
motoring

### ABSTRACT

One of the most important matters that have a great effect on engine efficiency is engine internal friction. In this article the friction model of piston-cylinder mechanism has been numerically simulated for a 4 cylinders spark ignition engine. The results were validated and the test results have been compared with simulation results. Consequently, the effect of combustion pressure and temperature, on the friction of ring and piston has been studied. Also, the impact of piston clearance on engine friction has been numerically investigated. The simulation results showed that at speeds of less than 3000 rpm varying the piston-liner clearance cannot significantly change the engine friction. But increasing clearance from the 30 to 80 microns at 6,000 rpm caused about 20% reduction in friction. It was also seen that the consideration of combustion pressure and temperature leads to a considerable increase in the engine friction.



© Iranian Society of Engine (ISE), all rights reserved.