



## بررسی اثر محصولات احتراق بنزین - اتانول بر دریچه و بستار موتور بنزینی

علیرضا خلیلی<sup>۱</sup>، مسعود ایرانمنش<sup>۲\*</sup>، مصطفی علیزاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران، [alirezakhalili1361@gmail.com](mailto:alirezakhalili1361@gmail.com)

<sup>۲</sup>پژوهشکده انرژی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران، [m.iranmanesh@kgut.ac.ir](mailto:m.iranmanesh@kgut.ac.ir)

<sup>۳</sup>پژوهشکده مواد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران، [mostafa\\_alizadeh56@yahoo.com](mailto:mostafa_alizadeh56@yahoo.com)

\*نویسنده مسئول، شماره تماس: ۰۹۱۳۳۸۷۰۸۰۱

### اطلاعات مقاله

### چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۲۸ مرداد ۱۳۹۲

پذیرش: ۲۷ مهر ۱۳۹۲

کلیدواژه‌ها:

اکسایش

اتانول

بنزین

دریچه

موتور چهارزمانه

در این تحقیق تأثیر افزودن اتانول به بنزین بر خوردگی و اکسایش همبسته‌های دریچه و بستار ناشی از محصولات احتراق بررسی شده است. به منظور شبیه‌سازی محیط داغ محفظه استوانه از موتوری چهارزمانه تک استوانه بنزینی استفاده گردید و نمونه‌ها درون لوله گازه‌های خروجی موتور جاگذاری و تحت تعداد چرخه معین در معرض محصولات احتراق مخلوط سوخت بنزین - اتانول قرار گرفتند. سپس سطح مقطع نمونه‌ها جهت ارزیابی پوسته اکسیدی با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و سطح نمونه‌ها جهت ارزیابی مقدار اکسیژن موجود به وسیله روش EDX بررسی شد. نتایج بیانگر افزایش ضخامت پوسته اکسیدی با افزایش مقدار اتانول و تعداد چرخه کارکرد موتور است. بیشترین مقدار تخلخل در پوسته اکسیدی نمونه فولادی در سوخت ۱۵٪ اتانول با ۶۰ چرخه کارکرد مشاهده شد. مقدار فلز از دست رفته در نمونه‌های فولادی از افزایش چشمگیرتری برخوردار بود که به اکسایش خطی فولاد نسبت داده شد.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

**(۱) مقدمه**

پژوهش‌های دیگری در زمینه تأثیر دما و مقدار اکسیژن حل شده در سوخت بر روی خصوصیات خوردگی همبسته آلومینیم A384 در سوخت‌های ترکیبی بنزین- اتانول صورت گرفته است [۷،۲]. این پژوهش‌ها نشان داد که فرایند خوردگی همبسته آلومینیم به وسیله شاخص‌های رقابتی لایه اکسید سطحی محافظ که در دماهای بین ۶۰ و ۸۰ درجه سانتیگراد تأثیر گذار است و خوردگی اتانول که در دماهای بیشتر از ۸۰ درجه سانتیگراد فعال می شود، مشخص می‌شود. همچنین، با افزایش مقدار اکسیژن حل شده در سوخت مقاومت به خوردگی همبسته آلومینیم افزایش یافت.

تأثیر آب، اسید استیک و کلر بر روی خوردگی و حفره زایی فولاد کربنی در سوخت‌های اتانولی بررسی شد [۸]. این تحقیقات نشان داد که کاهش وزن نمونه‌ها با افزایش غلظت آب در سوخت اتانولی افزایش می‌یابد. همچنین در مقادیر کمتر از ۵٪ حجمی آب، با افزایش مقدار آب حساسیت به حفره زایی افزایش می‌یابد اما در مقادیر بیشتر آب خوردگی حفره ای کاهش می‌یابد که به دلیل شکل‌گیری پوسته روئین روی سطح فلز می‌باشد. کاهش در مقدار اسیدی و همچنین مقدار اکسیژن حل شده حساسیت به حفره‌زایی را کاهش داد. یون‌های کلر تأثیر اساسی بر ناپایداری لایه سطحی داشتند به طوری که در حضور آنها هم خوردگی عمومی و هم خوردگی حفره‌ای افزایش یافت.

در فولادهای کربنی، ترک ناشی از خوردگی تنش<sup>۲</sup> در محلول‌های اتانولی به عنوان نگرانی اصلی مطرح می‌باشد. لو<sup>۳</sup> [۹] در سال ۲۰۱۱ به منظور توسعه درک بهتر از خوردگی تنش فولاد کربنی در محلول‌های اتانولی تغییرات مقاومت الکتروشیمیایی، بویژه زاویه اختلاف<sup>۴</sup> در نمودار بد را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که زاویه اختلاف در محدوده بسامد به خوردگی تنش کم حساس می‌باشد. همچنین در زمان رشد ترک، زاویه اختلاف کاهش می‌یابد.

با وجود تحقیقات ذکر شده، در زمینه بررسی تأثیر محصولات احتراق حاصل از سوخت بنزین- اتانول بر روی همبسته‌های نمونه در محفظه استوانه تا کنون مطلبی منتشر نشده است.

اکسایش یکی از شکل‌های خوردگی گرم است که در نتیجه واکنش بین اجزا گازی و ماده زیر لایه ایجاد می‌شود مانند کربوریزاسیون، نیتريداسیون، سولفیداسیون، خوردگی هالوژنی، خوردگی نمک مذاب [۱۰]. فلزات و همبسته‌ها وقتی که تا دماهای گرم در هوا یا در محیط‌های اکسید کننده قوی نظیر گازهای احتراقی همراه با هوا یا اکسیژن مازاد حرارت داده شوند، اکسید می‌شوند. در بسیاری از فرایندهای صنعتی، احتراق به وسیله سوخت‌های نسبتاً تمیز انجام می‌گیرد.

جهان امروز با دو مشکل عمده محیطی مواجه است: گرم شدن کره زمین و آلودگی هوا. هر دو این‌ها در مقیاس بزرگ به استفاده از سوخت‌های سنگواره‌ای وابسته اند. راه حل جهانی این مسأله استفاده از سوخت‌های پاک و یا منابع تجدید پذیر و کاهش مصرف سوخت‌های سنگواره ای است که به طور چشمگیری مقدار دی اکسید کربن و دیگر آلاینده‌های زیست محیطی را کاهش می‌دهد [۱]. یکی از انواع این سوخت‌ها اتانول است که کاربرد آن برای سوخت خودروها می‌تواند هم به عنوان افزودنی و هم به عنوان جایگزینی برای بنزین طبقه بندی شود [۲]. استفاده از مخلوط اتانول- بنزین به عنوان سوخت جایگزین اخیراً نتایج رضایتبخشی در تعدادی از کشورها نشان می‌دهد، بنابراین پیش بینی می‌شود که در آینده نزدیک به مقدار چشمگیری افزایش یابد [۳]. در حال حاضر برای افزایش عدد اکتان بنزین از ترکیب MTBE<sup>۱</sup> با بنزین استفاده می‌شود که به دلیل سمی بودن، استفاده از آن در بیشتر کشورهای پیشرفته صنعتی منسوخ شده است [۴]. یکی از جایگزین‌های مناسب برای MTBE اتانول است که در مقایسه با بنزین، عدد اکتان بیشتر، کران‌های وسیعتر قابلیت اشتعال، سرعت مشتعل شدن سریعتر و گرمای تبخیر گرمتری دارد. این خصوصیات باعث ایجاد مزیت‌هایی در موتور از جمله امکان افزایش نسبت تراکم، مدت زمان سوختن کوتاهتر و احتراق رقیقتر موتور می‌شود که باعث افزایش بازده موتور می‌شوند [۱]. از طرفی استفاده از اتانول احتمال ایجاد خوردگی در اجزای فلزی و تخریب اجزای نرم نظیر لوله‌های بنزین را افزایش می‌دهد. کیفیت اتانول تأثیر شدیدی بر روی اثرات خوردگی آن دارد. در حقیقت خوردگی حاصل از اتانول را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: خوردگی عمومی به دلیل ناخالصی‌های یونی، بیشتر یون‌های کلر و اسید استیک. خوردگی خشک که به ملکول اتانول و قطبیت آن نسبت داده می‌شود و فلزاتی نظیر منیزیم، آلومینیم و سرب به آن حساس می‌باشند و خوردگی تر که به درصد رطوبت اتانول نسبت داده می‌شود [۵]. در واقع حرکت یون‌ها در آب جریانی را حمل می‌کند که قادر به انحلال فلزاتی نظیر همبسته‌های آلومینیم و روی می‌باشد [۶]. در زمینه افزودن اتانول به بنزین بیشتر تحقیقات صورت گرفته درباره نحوه عملکرد موتور و انتشار آلاینده‌ها بوده و تحقیقات کمتری به بررسی خوردگی در سامانه‌های سوخت رسانی ناشی از افزودن اتانول به بنزین صورت گرفته است.

جعفری و همکاران [۳] تأثیر افزودن اتانول را به بنزین بر رفتار خوردگی قطعات سامانه سوخت رسانی خودرو بررسی کردند. پژوهش آنها نشان داد که با افزایش مقدار اتانول به بنزین سرعت خوردگی نمونه‌ها افزایش می‌یابد.

<sup>2</sup> Stress corrosion cracking (SCC)

<sup>3</sup> Lou

<sup>4</sup> Phase angle

<sup>1</sup> Methyl tertiary butyl ether

جدول ۱: ترکیب شیمیایی نمونه‌ها (درصد وزنی)

عنصر	همبسته فولاد (دریچه)	همبسته آلومینیم (بستار)
C	۰,۵۳	-
Si	۰,۲۶	۶,۵
Cr	۲۱,۳	-
Mn	۸,۷	-
Ni	۳,۸	۰,۰۴۲
Cu	-	۰,۰۸۵
Zn	-	۰,۰۳۲
Mg	-	۰,۴۷۶
Pb	-	۰,۰۲۷
Al	-	بقیه
Fe	بقیه	۰,۱۶۲

این سوخت‌ها به طور کلی غلظت‌های کمی از آلاینده‌ها و ناخالصی‌ها نظیر گوگرد، کربن، فلزات قلیایی، و وانادیم که عناصر اصلی در ایجاد انواع خوردگی‌های گرم نظیر سولفیداسیون و خوردگی نمک مذاباند را دارند. در موارد زیادی، هوای اضافه به منظور اطمینان از احتراق کامل سوخت استفاده می‌شود. بنابراین محصولات احتراق اصولاً شامل عناصر اکسیژن، نیتروژن و همچنین دی‌اکسید کربن و بخار آب می‌باشد. اگرچه همبسته‌ها در این محیط‌ها اکسید می‌شوند، اما دیگر محصولات احتراق نظیر بخار آب اثر مهمی را بر تغییر رفتار اکسایش همبسته می‌گذارند [۱۱]. بعلاوه اتانول سوختی حاوی ۳۵ درصد اکسیژن می‌باشد که از احتراق کامل اتانول محصولاتی نظیر دی‌اکسید کربن و بخار آب تشکیل می‌شود [۱، ۷] که می‌تواند باعث تغییر رفتار اکسایش همبسته گردد.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد در زمینه بررسی تأثیر محصولات احتراق حاصل از سوخت بنزین- اتانول بر روی همبسته‌های نمونه در محفظه استوانه تا کنون مطلبی منتشر نشده است. بنابراین هدف از این تحقیق بررسی رفتار اکسایش و تأثیر محصولات احتراق سوخت بنزین- اتانول بر روی خوردگی همبسته‌های نمونه در دریچه و بستار موتورهای بنزینی در محیط‌های احتراق سوخت بنزین با مقدارهای مختلف اتانول است.

## ۲) مواد و روش‌ها

نمونه‌های مستطیلی از بستار و دریچه‌های موتوری چهار زمانه چهار استوانه بنزینی تهیه گردید. کلیه نمونه‌ها به وسیله مته سوراخ و سپس در استون به روش مادون صوت چربی زدایی شدند و سطح آنها به وسیله کاغذ سمباده SiC شماره ۵۰۰ سائیده شد. در نهایت نمونه‌ها به وسیله آب شسته و با هوای داغ خشک شدند. ترکیب شیمیایی نمونه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

به منظور شبیه‌سازی محیط محفظه استوانه و در معرض قرار دادن نمونه‌ها در برابر محصولات احتراق سوخت بنزین- اتانول از موتوری چهار زمانه تک استوانه بنزینی و متعلقات آن استفاده گردید. برای نزدیک بودن دما به دمای محیط محفظه استوانه، تلاش شد که نمونه‌ها تا حد امکان نزدیک به دهانه خروجی موتور کار گذاشته شوند تا افت دمای زیادی نسبت به محیط احتراق حاصل نگردد و بنابراین درون لوله گازهای خروجی نزدیک به خروجی موتور یک دریچه تعبیه شد و نمونه‌ها با نگهدارنده‌های شیشه‌ای از میان سوراخ‌هایی که در آنها ایجاد شده بود از طریق دریچه درون محفظه گازهای خروجی قرار داده شدند. سپس مخلوط‌های سوخت بنزین حاوی اتانول به مقدار صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵٪ به صورت جداگانه و برای نمونه‌های مشابه به موتور تزریق شدند. در شکل ۱ نحوه قرارگیری نمونه‌ها در محیط آزمایش نشان داده شده است.



شکل ۱: نحوه قرار گرفتن نمونه‌ها خروجی موتور (گازهای خروجی)

جدول ۲: ترکیب سوخت و تعداد چرخه کارکرد تحت آن برای نمونه‌ها

ردیف	ترکیب سوخت (% اتانول در بنزین)	تعداد چرخه کارکرد
۱	۰	۶
۲	۵	۶
۳	۱۰	۶
۴	۱۵	۶
۵	۱۵	۶۰

جدول ۳: تغییرات دمایی محفظه گازهای خروجی در چرخه کارکرد موتور

زمان اندازه‌گیری دما در چرخه (دقیقه)	دما (درجه سانتیگراد)
۵	۳۴۷
۱۰	۳۷۷
۱۵	۳۸۷
۲۰	۳۹۰
۲۵	۳۹۶
۳۰	۴۰۲
۳۵	۴۱۰
۴۰	۴۲۳

### ۳) بحث و بررسی نتایج

شکل ۲ مقادیر اکسیژن موجود در سطح نمونه‌ها را، بعد از قرار گرفتن در معرض محصولات احتراق تحت تعداد چرخه ذکر شده در جدول ۲، که با تحلیل EDX بدست آورده شده نشان می‌دهد. همان طور که از نتایج تحلیل EDX از محصولات خوردگی سطح نمونه‌ها مشخص است با افزایش مقدار اتانول در بنزین، درصد وزنی اکسیژن افزایش یافته که نشان دهنده افزایش تشکیل اکسید روی سطح با افزایش مقدار اتانول می باشد. در واقع از لحاظ ترمودینامیکی، اکسید وقتی شکل خواهد گرفت که فشار اکسیژن محیط نسبت به فشار تجزیه اکسید در تعادل با فلزش بیشتر باشد [۱۰].

به عبارت دیگر، با افزایش مقدار اتانول، اکسیژن و بخار آب که محصول احتراق اتانول است در محصولات احتراق افزایش یافته و در نتیجه باعث تغییر رفتار اکسایش نمونه‌ها می‌گردد. همچنین از نتایج مشخص است که با افزایش تعداد چرخه کارکرد موتور در ترکیب ثابت سوخت (۱۵٪ اتانول) اکسایش افزایش یافته است. بنابراین در بحث اکسایش دما گرم هر دو متغیر ترکیب شیمیایی و زمان یعنی هم مقدار اتانول موجود در سوخت و هم مدت زمان کارکرد از اهمیت خاصی برخوردارند. به روش سعی و خطا با ترکیب درصدهای مختلف از سوخت تغذیه شده به موتور، مدت زمان کارکرد و تعداد چرخه، زمان بهینه و کمترین چرخه‌ای که قادر به شکل دادن پوسته اکسیدی چشمگیر روی نمونه‌ها بوده و بیشترین تعداد چرخه موثر در اکسایش نمونه‌ها بدست آمد. بر این اساس برای سوخت حاوی ۵ و ۱۵٪ اتانول بترتیب حداقل ۶ چرخه و حداکثر ۶۰ چرخه کارکرد بدست آمد.

در این تحقیق برای بررسی خوردگی داغ از آزمون‌های غیر پیوسته استفاده شده است. در این نوع آزمون‌ها تعدادی نمونه وزن شده و تحت دمایی ثابت در معرض گازهای خورنده قرار می‌گیرند و در زمان‌های مختلف از محفظه خارج می‌شوند. متغیر زمان دو نوع تأثیر در نمونه‌ها بر جای می‌گذارد. اول، ضخامت پوسته اکسیدی را افزایش می‌دهد و دوم اینکه نوع محصولات خوردگی را تغییر می‌دهد. با توجه به اینکه سازوکار خوردگی داغ همبسته‌های آهنی از نوع سهمی می‌باشد، لذا با افزایش زمان تغییر وزن نمونه‌ها از معادله‌ای سهموی پیروی می‌کند. بنابراین اگر چه موتور در زمان‌های طولانی به کار گرفته می‌شود ولی نیاز به آزمون با زمان‌های زیاد نمی‌باشد [۱۴]. لذا هدف اصلی تعیین نوع محصولات خوردگی می‌باشد و به همین دلیل محصولات و ویژگی‌های سطحی آنها قرار است با یکدیگر مقایسه شوند.

بنابراین برای هر ترکیب معین سوخت، دو نمونه (نمونه آلومینیمی و نمونه فولادی) در تعداد چرخه معین در معرض محصولات احتراق قرار گرفتند. زمان انتخاب شده برای هر چرخه با تزریق حجم‌های مختلف سوخت به موتور و مدت زمان بهینه کارکرد موتور تحت سوخت تزریقی انتخاب شد. بر همین اساس در نهایت حجم سوخت تزریق شده به موتور در هر چرخه به مقدار ۲۰۰ میلی لیتر انتخاب گردید که مدت زمان کارکرد موتور تحت این مقدار سوخت در هر چرخه ۴۰ دقیقه بود. در تعداد چرخه‌ها نیز به همین صورت عمل شده یعنی با انجام آزمایش‌های اولیه کمترین چرخه‌ای که قادر به شکل دادن پوسته اکسیدی چشمگیر روی نمونه‌ها بود، ۶ چرخه کارکرد تشخیص داده شد. ترکیب سوخت تزریق شده به موتور و تعداد چرخه کارکرد تحت آن برای نمونه‌ها، در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۳ تغییرات دمایی محفظه گازهای خروجی در طول چرخه کارکرد موتور را نشان می‌دهد.

شایان ذکر است که طبق تعریف خوردگی داغ، دمای خوردگی داغ باید بیشتر از یک چهارم دمای ذوب همبسته بر حسب کلون باشد. دمای ذوب همبسته‌های درجه ۱۷۶۳ درجه کلون می‌باشد که یک چهارم آن حدود ۴۴۰ درجه کلون که تقریباً معادل ۱۲۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. همان طور که از جدول ۳ مشخص می‌باشد دمای بیشینه اندازه گیری شده در محفظه گازهای خروجی ۴۲۳ درجه سانتیگراد می‌باشد که در بحث اکسایش در دمای گرم این دما برای بررسی نمونه‌ها کفایت می‌کند.

پس از کارکرد موتور در چرخه‌های تعیین شده نمونه‌ها از محفظه گازهای خروجی خارج و با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) سطح مقطع نمونه‌ها بررسی شد. همچنین از سطح نمونه‌ها جهت تعیین مقدار اکسیژن توسط روش EDX تحلیل گرفته شد.

به عبارت دیگر واکنش اکسایش آلومینیم ابتدا سریع انجام می‌شود و بعد سریعا کاهش می‌یابد و به سرعت بسیار کندی می‌رسد. در دمای اتاق آلومینیم به وسیله لایه ای ۲ تا ۳ نانومتری از آلومینای ( $Al_2O_3$ ) آمورف پوشیده شده است. اکسایش در دماهای خنک تر از ۳۵۰ درجه سانتیگراد باعث رشد لایه آمورف پیرو سرعت لگاریتمی معکوس می‌شود. در دماهای بین ۳۵۰ و ۴۲۵ درجه سانتیگراد لایه آمورف پیرو سرعت سهمی رشد می‌کند [۹].

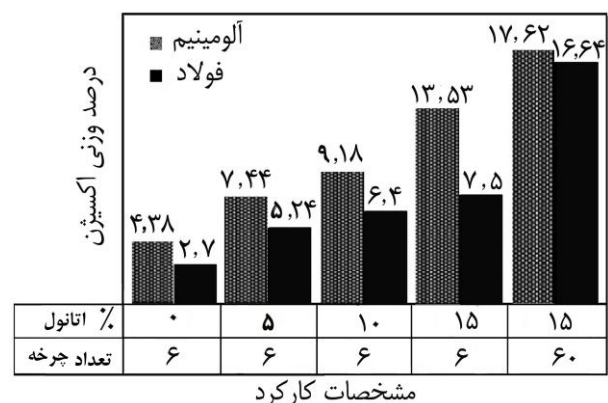
در واقع ذکر دو نکته در اینجا ضروری است: اول اینکه اگرچه مطابق شکل ۲ درصد اکسیژن روی سطح نمونه‌های آلومینیمی بیشتر از نمونه‌های فولادی می‌باشد اما باید توجه داشت که نمونه‌های آلومینیمی از ابتدا پوسته اکسیدی اولیه دارند که به محض قرار گرفتن آلومینیم در معرض هوا روی سطح آنها شکل می‌گیرد و نکته دوم این که ضخامت کمتر پوسته اکسیدی تشکیل شده روی نمونه آلومینیمی نسبت به نمونه فولادی (شکل ۵) می‌تواند به دلیل فشردگی بیشتر این پوسته و تفاوت بارز در مقدار زیاد خلل و فرج در پوسته تشکیل شده روی نمونه فولادی نسبت به نمونه آلومینیمی باشد. با توجه به این موضوع می‌توان تأثیر حفاظتی پوسته اکسیدی نمونه فولادی را نسبت به پوسته شکل گرفته روی نمونه آلومینیمی کمتر دانست [۱۲، ۱۰].

در واقع پوسته اکسیدی نمونه فولادی قادر به کند کردن سرعت اکسایش نیست و با گذشت زمان مقدار فلز بیشتری در اثر اکسایش تلف می‌شود. به منظور تایید اثر حفاظتی بیشتر پوسته اکسیدی تشکیل شده بر نمونه آلومینیمی نسبت به نمونه فولادی مقدار فلز از دست رفته برای کلیه نمونه‌ها محاسبه گردید. این مقدار به وسیله نصف اختلاف بین ضخامت اولیه و ضخامت باقی مانده بعد از غوطه‌وری نشان داده می‌شود [۱۳] که می‌توان آنرا به صورت معادله (۱) نشان داد:

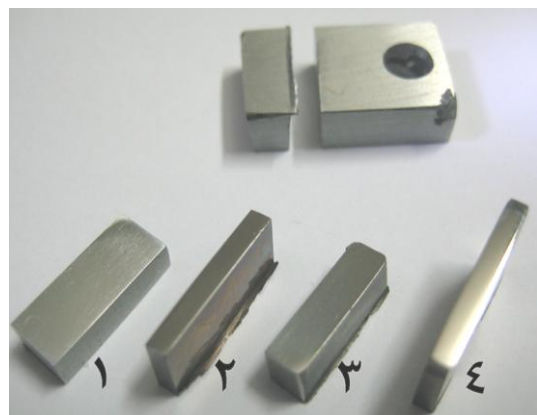
$$Metal\ Loss = \frac{T_0 - T_{mi}}{2} \quad (1)$$

که  $T_0$  برابر با ضخامت اولیه نمونه قبل از آزمایش و  $T_{mi}$  ضخامت باقی مانده نمونه بعد از برداشتن پوسته اکسیدی می‌باشد. بر همین اساس مقدار فلز از دست رفته محاسبه شده بر حسب میلیمتر برای کلیه نمونه‌ها در شکل ۶ آورده شده است. هر چند که افزایش مقدار فلز تلف شده با افزایش درصد اتانول هم در نمونه‌های فولادی و هم در نمونه‌های آلومینیمی مشاهده می‌شود اما روند این افزایش در نمونه‌های آلومینیمی با افزایش چرخه کارکرد کاهش یافته در صورتی که مقدار تخریب نمونه فولادی با افزایش متغیر زمان افزایش یافته است که این امر خود گواهی بر افزایش تأثیر حفاظتی پوسته اکسیدی نمونه آلومینیمی با گذشت زمان می‌باشد.

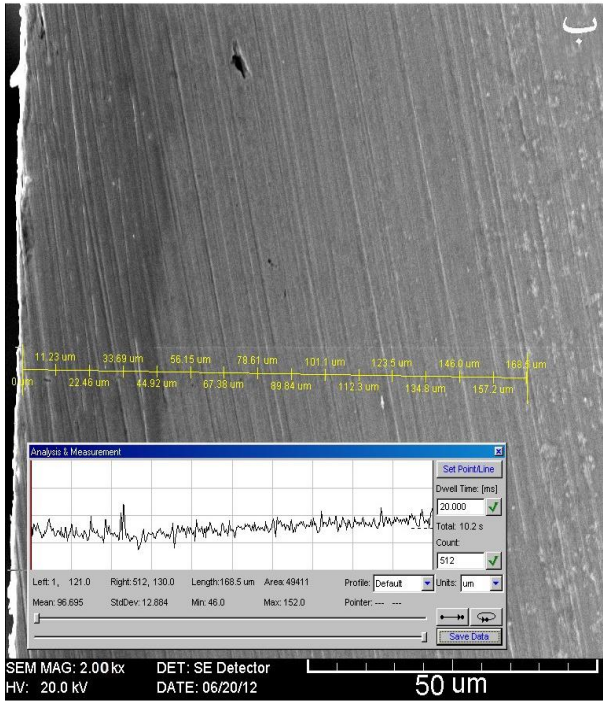
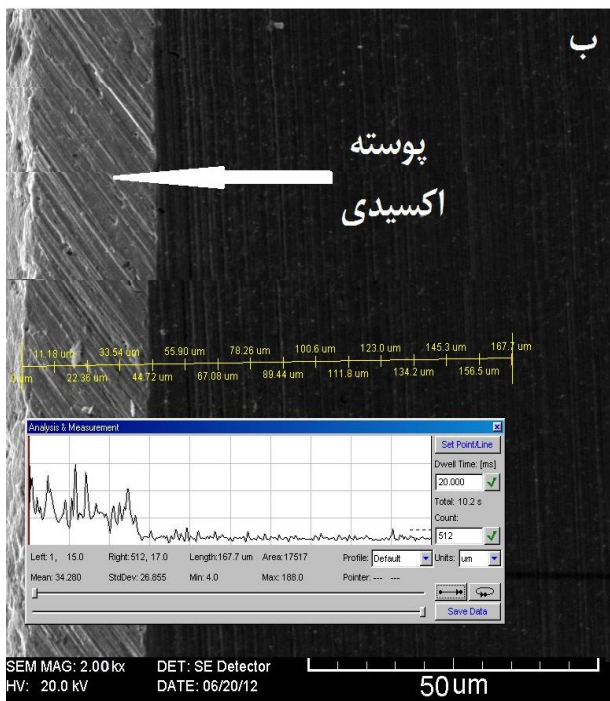
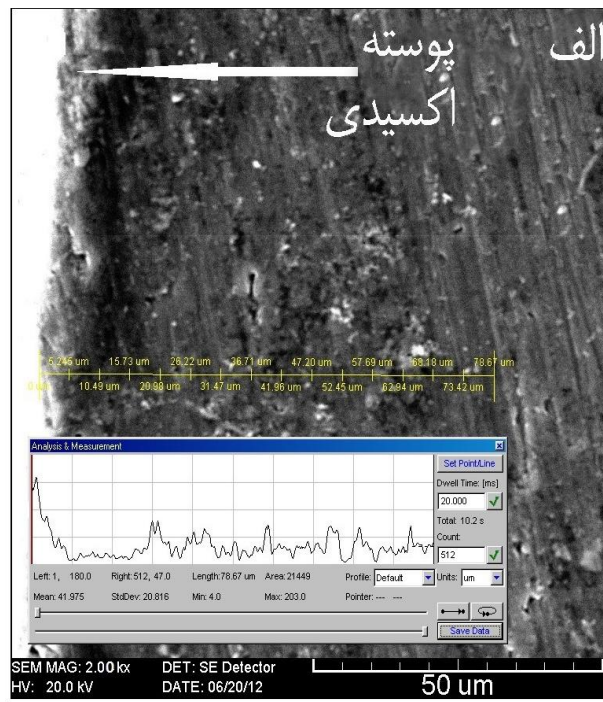
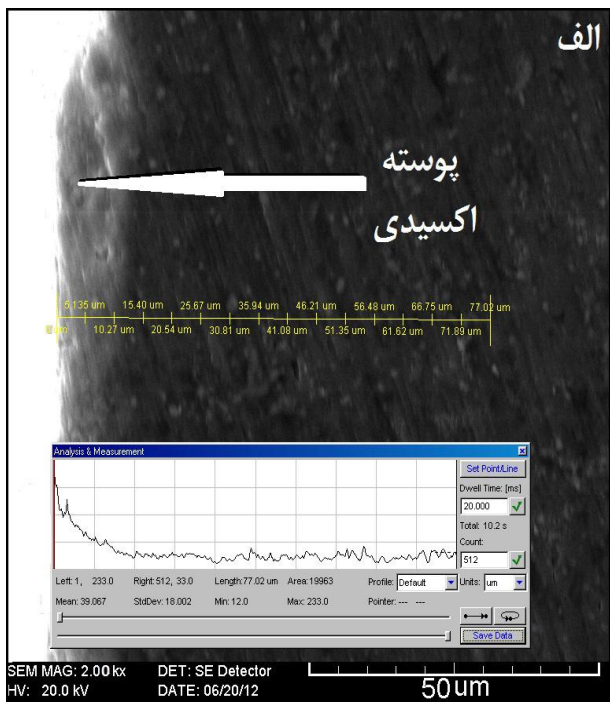
شکل ۳ مقاطع نمونه‌های آلومینیمی و فولادی که در معرض کمترین و بیشترین مقدار اتانول و چرخه کارکرد بوده اند را نشان می‌دهد. همچنین تصاویر گرفته شده توسط SEM از مقاطع این نمونه‌ها در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. به منظور تایید پوسته‌های اکسیدی نشان داده شده تغییرات ناگهانی مقدار خلل و فرج از پوسته اکسیدی به سمت فلز پایه در این شکل‌ها نشان داده شده است. همان طور که از تصاویر دیده می‌شود ضخامت پوسته اکسیدی تشکیل شده روی سطح نمونه‌ها با افزایش مقدار اتانول و چرخه کارکرد افزایش یافته که این اختلاف ضخامت در نمونه‌های فولادی نسبت به نمونه‌های آلومینیمی مشهودتر می‌باشد. این امر می‌تواند به دلیل تبعیت اکسایش آلومینیم از قوانین سرعت لگاریتمی باشد.



شکل ۲: مقادیر اکسیژن موجود در سطح نمونه‌ها بعد از قرار گرفتن در معرض محصولات احتراق



شکل ۳: تصویر مقاطع نمونه‌های (۱) آلومینیمی، (۲) فولادی غوطه‌ور در محصولات احتراق سوخت حاوی ۵٪ اتانول با ۶ چرخه کارکرد و (۳) آلومینیمی و (۴) فولادی غوطه‌ور در محصولات احتراق سوخت حاوی ۱۵٪ اتانول با ۶۰ چرخه کارکرد



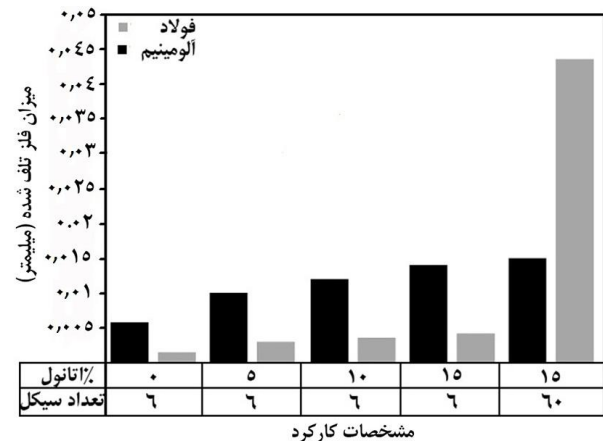
شکل ۵: تصویر میکروسکوپ الکترونی از مقطع نمونه‌های (الف) آلومینیومی (بستار) و (ب) فولادی (دریچه) غوطه‌ور در محصولات احتراق سوخت حاوی ۱۵٪ اتانول با ۶۰ چرخه کارکرد

شکل ۴: تصویر میکروسکوپ الکترونی از مقطع نمونه‌های (الف) آلومینیومی (بستار) و (ب) فولادی (دریچه) غوطه‌ور در محصولات احتراق سوخت حاوی ۵٪ اتانول و ۶ چرخه کارکرد

آن به منظور جلوگیری از اکسایش همبسته‌های نمونه در محفظه استوانه ضروری به نظر می‌رسد.

## References

- [1] R.B. Gupta, A. Demirbas, Gasoline, diesel and ethanol biofuels from grasses and plants, Cambridge University Press, 2010
- [2] Y.H. Yoo, I.J. Park, J.G. Kim, D.H. Kwak, W.S. Ji, Corrosion characteristics of aluminum alloy in bio-ethanol blended gasoline fuel: Part 1 - The corrosion properties of aluminum alloy in high temperature fuels, Fuel Journal, Vol. 90, pp. 1208-1214, 2011
- [3] H. Jafari, M.H. Idris, A. Ourdjini, H. Rahimi, B. Ghobadian, EIS study of corrosion behavior of metallic materials in ethanol blended gasoline containing water as a contaminant, Fuel Journal, Vol. 90, pp. 1181-1187, 2011
- [4] C.L. Song, W.M. Zhang, Y.Q. Pei, G.L. Fan, G.P. Xu, Comparative effects of MTBE and ethanol additions into gasoline on exhaust emissions, Atmospheric Environment, Vol. 40, pp. 1957-1970, 2006
- [5] A.C. Hansen, Q. Zhang, P.W.L. Lyne, Ethanol-diesel fuel blends - A review, Bioresource Technology, Vol. 96, pp. 277-285, 2005
- [6] R. Freudenberger, Alcohol fuel: A guide to making and using ethanol as a renewable fuel, New Society Publication, 2009
- [7] I. Park, Y. Yoo, J. Kim, D. Kwak, W. Ji, Corrosion characteristics of aluminum alloy in bio-ethanol blended gasoline fuel: Part 2 - The effects of dissolved oxygen in the fuel, Fuel Journal, Vol. 90, pp. 633-639, 2011
- [8] X. Lou, P.M. Singh, Role of water, acetic acid and chloride on corrosion and pitting behavior of carbon steel in fuel-grade ethanol, Corrosion Science, Vol. 52, pp. 2303-2315, 2010
- [9] X. Lou, P.M. Singh, Phase angle analysis for stress corrosion cracking of carbon steel in fuel-grade ethanol: Experiments and simulation, Electrochimica Acta, Vol. 56, pp. 1835-1847, 2011
- [10] R. Baboian, Corrosion tests and standards: Application and interpretation, ASTM International, 2005
- [11] G.Y. Lai, High temperature corrosion and materials applications, ASM International, 2007
- [12] N. Birks, G.H. Meier, F.S. Pettit, Introduction to the high temperature oxidation of metals, Cambridge University Press, 2006
- [13] Standard practice for simple static oxidation testing, ASTM G54, 1996
- [14] S.A. Sheikholeslami, Fundamental of oxidation and corrosion in metals at high temperatures, Esfahan Publication, 2005



شکل ۶: مقدار فلز از دست رفته در اثر اکسایش گرم

## ۴ نتیجه گیری

مهمترین نتایج بدست آمده از این تحقیق بدین شرح است:

- با افزایش مقدار اتانول در بنزین درصد وزنی اکسیژن در پوسته تشکیل شده روی سطح نمونه‌ها افزایش یافت که نشان‌دهنده افزایش اکسایش نمونه‌ها در دمای گرم بود.
- افزایش تعداد چرخه کارکرد موتور در مقدار اتانول ثابت (۱۵٪) باعث افزایش اکسایش نمونه‌ها گردید.
- افزایش ضخامت پوسته اکسیدی با افزایش مقدار اتانول و چرخه کارکرد در نمونه‌های فولادی نسبت به نمونه‌های آلومینیومی مشهودتر بود که به پیروی کردن سرعت اکسایش آلومینیوم از قانون سرعت لگاریتمی نسبت داده شد.
- بیشترین مقدار تخلخل در پوسته اکسیدی نمونه فولادی در سوخت ۱۵٪ اتانول با ۶۰ چرخه کارکرد مشاهده شد.
- با افزایش مقدار اتانول در سوخت و چرخه کارکرد موتور مقدار فلز از دست رفته در اثر اکسایش در نمونه‌های فولادی از افزایش چشمگیری برخوردار بود که به مقدار تخلخل زیاد پوسته اکسیدی نمونه فولادی نسبت داده شد.
- با توجه به اثرات مثبت افزودن اتانول به بنزین در کاهش آلاینده‌ها و بهبود خواص مخلوط سوخت بنزین- اتانول نسبت به بنزین، به نظر می‌رسد که استفاده از اتانول به عنوان افزودنی به بنزین و بتدریج جایگزین کردن این سوخت زیستی با سوخت‌های سنگواره‌ای در کشور اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. بنابراین اصلاح رفتار اکسایش و مقاومت به خوردگی همبسته‌های نمونه در سامانه سوخت رسانی و محفظه احتراق بخصوص در استفاده از درصدهای معتدله اتانول ضروری می‌باشد. این کار می‌تواند با جایگزین کردن همبسته‌های نمونه فعلی با همبسته‌های جدید یا با اعمال پوشش‌های مناسب و مقاوم انجام گیرد. همچنین بررسی دقیق نسبت هوا به سوخت بنزین- اتانول با توجه به مقدار اکسیژن زیاد اتانول و تولید بخار آب در نتیجه احتراق



# The Journal of Engine Research

Journal Homepage: [www.engineersearch.ir](http://www.engineersearch.ir)



## Effect of combustion products of gasoline-ethanol blended fuel on corrosion of valve and cylinder head alloys of SI engines

A.R. Khalili<sup>1</sup>, M. Iranmanesh<sup>2\*</sup>, M. Alizadeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduate University of High Technology, Kerman, Iran, [alirezakhalili1361@gmail.com](mailto:alirezakhalili1361@gmail.com)

<sup>2</sup>Energy Department, Graduate University of High Technology, Kerman, Iran, [m.iranmanesh@kgut.ac.ir](mailto:m.iranmanesh@kgut.ac.ir)

<sup>3</sup>Materials Department, Graduate University of High Technology, Kerman, Iran, [mostafa\\_alizadeh56@yahoo.com](mailto:mostafa_alizadeh56@yahoo.com)

\*Corresponding Author, Phone Number: +98-913-3870801

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 19 August 2013

Accepted: 19 October 2013

#### Keywords:

Oxidation

Ethanol

Gasoline

Valve

Four-stroke engine

### ABSTRACT

In the present study, effects of different percentages of ethanol as a gasoline additive on high temperature oxidation behaviors of cylinder head and valve alloys were investigated. A single-cylinder four-stroke engine was used to simulate the hot chamber of the cylinder environment. Samples were located within the exhaust pipe and were deposited with ethanol blended gasoline combustion gases under certain operating cycles. Then, in order to evaluate the oxide layer, the cross-section of samples were observed by the scanning electron microscopy (SEM) and to determine the amount of oxygen, the surface of samples was analyzed by the energy dispersive X-ray (EDX) technique. Obtained results exhibited that the thickness of the oxide film increased by increasing of ethanol percentages and engine operating cycles. The most porous film was belonged to steel in 15% ethanol-containing fuel with 60 operating cycles. The metal loss in steel specimens was significantly more due to the linear behavior of the steel oxidation.

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