تحلیل دمایی اگزوز اتوبوس‌های تندرو تهران برای امکان‌سنجی نصب صافی جاذب دوده

مهدی دوزندگان[۱*]، وحید حسینی[۲]، علی معصومی[۳]، امید اروجلو[۴]

[۱*] دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف Dozandegan_mahdi@mech.sharif.edu
[۲] عضو هیات علمی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف Vhosseini@sharif.edu
[۳] شرکت آزمون صنعت آروین A.masoomi@asarvin.com
[۴] دارای مدرک کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک از دانشگاه صنعتی شریف Omid.orojlu@gmail.com

چکیده

در این مقاله دمای گازهای خروجی از اگزوز اتوبوس‌های تندرو تهران برای امکان‌سنجی نصب صافی جاذب دوده مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. از میان اتوبوس‌های دارای صافی جاذب دوده، دو سیستم کاملا مشابه مجهز به تکنولوژی صافی احیاء فعال از دو مسیر متفاوت شمال به جنوب و غرب به شرق، به عنوان نمونه مورد بررسی انتخاب شد و داده‌های مربوط به فشار برگشتی، دمای گازهای خروجی از اگزوز و دور موتور در طول دوره‌ی کاری جمع‌آوری گردید. با بررسی‌های صورت‌گرفته مشخص گردید که گازهای خروجی از اگزوز اتوبوس شاغل در مسیر شمال به جنوب نسبت به اتوبوس شاغل در مسیر غرب به شرق، دمای بالاتری داشته‌است. از آنجایی‌که توزیع دمایی گازهای خروجی از اگزوز برای این دو اتوبوس متفاوت بود، صافی‌های نصب شده الگوی عملکردی متفاوتی را از خود نشان دادند، به طوری که در سیستم شاغل در مسیر شمال به جنوب، احیاء غیر فعال و در مسیر غرب به شرق احیاء فعال عامل اصلی سوزاندن ذرات معلق بوده‌است. با توجه به در دسترس بودن هر دو نوع احیاء برای سیستم شمال به جنوب، فشار برگشتی متوسط و افت فشار بیشینه برای این اتوبوس اعداد کمتری را نشان داد. با در نظرگرفتن کارکرد بیش از ۲۰۰۰ ساعت و بدون نیاز به تمیزکاری، با وجود الگوی احیاء متفاوت، هر دو سیستم عملکرد قابل قبولی را داشتند. در نهایت توجه بیشتر به بحث تعمیر و نگهداری موتور برای کارکرد هرچه بهتر صافی‌های جاذب دوده پیشنهاد گردید.

کلیدواژه‌ها: ذرات معلق، صافی جاذب دوده، تحلیل دمایی، احیاء فعال، احیاء غیر فعال

Exhaust Temperature Analysis of Tehran's BRTs for Feasibility Study of DPF Installing

Mahdi Doozandegan[1*], Vahid Hosseini[2], Ali Masoomi[3], Omid Orojlu[4]

[1*]MSc Student, Mechanical Engineering Department, Sharif University of Technology Dozandegan_mahdi@mech.sharif.edu
[2]Faculty of Mechanical Engineering Department, Sharif University of Technology Vhosseini@sharif.edu
[3]Azmoon Sanat Arvin Company A.masoomi@asarvin.com
[4]Mechanical Engineer, Graduated from Sharif University of Technology Omid.orojlu@gmail.com

Abstract

In the present study, the temperature of exhaust gases of Tehran's BRTs are studied to investigate the possibility and feasibility of installing diesel particulate filters. Two identical systems but working in two different routes were equipped with active regeneration filters. Engine rotational speed, pressure and the temperature of exhaust gases were experimentally investigated during working period. Detailed study on the experiments revealed that exhaust gases of system operating in South-North line had higher temperature in comparison with that of being used in East-West route. Since Temperature distribution of exhaust gases were different, installed filters exhibited two different behaviors. Passive regeneration and Active regeneration were found to play the most prominent roles in burning particulate matters in the North-South and East-West BRTs respectively. Due to the fact that both regeneration types were available for North-South System averaged back pressure and maximum pressure loss of this system were of smaller orders. Considering the operation time of more than 2000 hours, without any cleaning, two systems had reasonably acceptable performance. In order to improve DPFs' operation status, the maintenance and boost the performance of engine are recommended.

Keywords: particulate matter, diesel particulate filter, temperature analysis, active regeneration, passive regeneration

مقدمه

موتورهای احتراق داخلی تراکمی از اهمیت زیادی در دنیای امروز برخوردار هستند. ویژگی‌های منحصر به فرد و گستردگی کاربری، نادیده گرفتن آنها را غیرممکن ساخته‌است. در کنار ویژگی‌های مثبت، این نوع موتورها با توجه به سیستم کاری خود یکی از منابع بزرگ انتشار ذرات معلق[۱] می‌باشند[۱]. به دلیل اثرات زیان‌بار بر روی سلامت موجودات زنده و تغییرات آب و هوایی، امروزه قوانین بسیار سختگیرانه‌ای برای کنترل آلایندگی‌های مربوط به ذرات معلق وضع شده‌است[۲و۳]. از میان راهکارهای موجود صافی جاذب دوده[۲] با راندمان جرمی بیش از ۹۰٪ ، به عنوان تاثیرگذارترین تکنولوژی برای کنترل ذرات معلق شناخته شده‌است[۴].

صافی جاذب دوده با به دام انداختن ذرات معلق جامد از انتشار این ذرات به اتمسفر جلوگیری می‌کند. عمده ذرات جامد جمع شده در صافی قابل اشتعال بوده و در صورت فراهم بودن شرایط مورد نیاز سوزانده می‌شوند. به فرآیند سوزاندن شدن ذرات به دام افتاده در صافی احیا[۳] گفته می‌شود. صافی‌های جاذب دوده بر اساس چگونگی فرآیند احیاء به سه گروه اصلی احیاء فعال[۴]، احیاء غیرفعال[۵] و احیاء پیوسته[۶] تقسیم‌بندی می‌شوند. دمای مورد نیاز برای سوزاندن دوده‌ی[۷] جمع شده در صافی ۵۵۰ °C– ۵۰۰ می‌باشد. در صافی‌های احیاء فعال این دما به کمک عامل خارجی مانند مشعل الکتریکی، محفظه احتراق ثانویه و ... تامین می‌گردد . در صافی‌های احیاء غیرفعال معمولا دمای مورد نیاز برای واکنش سوختن دوده را با استفاده از واکنشگرهای افزودنی به سوخت[۸] تا ۴۰۰ °C پایین می‌آورند. [۵]. صافی‌های احیاء مداوم از نیتروژن دی اکسید به جای اکسیژن به عنوان اکسیدکننده استفاده می‌کنند که در دماهای پایین‌تری قادر به سوزاندن دوده می‌باشند. حداقل دمای مورد نیاز برای فرآیند احیاء در صافیهای احیاء مداوم حدود ۲۰۰ °C می‌باشد[۶].

اندرسون[۹] و همکاران اثر صافی جاذب دوده بر ترکیب ذرات معلق خروجی از موتور را مورد بررسی قرار دادند که نتایج آنها نشان دهنده‌ی کاهش چشمگیر جرمی ذرات معلق در صورت استفاده از صافی دوده بود[۷]. آزمایشات بورتشر[۱۰] و همکاران، نشان داد که این تکنولوژی می‌تواند تا ۹۹٪ ذرات معلق جامد خروجی از موتور را به دام بیاندازد[۸].

همزمان با تحقیقات آزمایشگاهی، تحقیقات میدانی و پروژه‌های مقاوم سازی[۱۱] ناوگان‌های دیزلی در مناطق مختلف جهان تعریف و با موفقیت انجام گردید. از مهمترین پروژه‌های صورت گرفته می‌توان به پروژه‌های نصب صافی‌های جذب دوده بر روی اتوبوس‌های شهری در اروپا و نیویورک اشاره کرد[۹، ۱۰و۱۱].

با افزایش نگرانی‌ها در مورد وضعیت هوای تهران، پروژه‌ی امکان‌سنجی نصب صافی‌های جاذب دوده بر روی اتوبوس‌های شرکت واحد توسط شرکت کنترل کیفیت هوای تهران و با همکاری موسسه‌ی ورت[۱۲] در سال ۱۳۹۳ تعریف گردید و هم اکنون با همکاری شرکت آزمون صنعت آروین در حال اجرا می‌باشد.

فرآیند احیاء مهمترین مشخصه عملکردی صافی‌های جاذب دوده می‌باشد و دمای گازهای خروجی اگزوز عاملی تعیین کننده در چگونگی الگوی احیاء و در نتیجه کیفیت کاری صافی‌های جاذب دوده محسوب می‌شود. از این جهت هدف نویسندگان این مقاله تحلیل دمایی اگزوز اتوبوس‌های تندرو تهران برای امکان‌سنجی نصب صافی جاذب دوده بوده‌است که بی شک می‌تواند گامی موثر برای شناخت وضعیت موجود و تصمیمات آینده باشد.

نمونه‌های بررسی شده

برای تحلیل تاثیر دمای گازهای خروجی از اگزوز بر روی عملکرد صافی جاذب دوده دو سیستم مجهز به فناوری صافی جاذب دوده کاملا مشابه، در شرایط کاری و دمایی متفاوت انتخاب گردید. اطلاعات مربوط به سیستم‌های بررسی شده در این مقاله در جدول شماره (۱) تعبیه شده‌است. همچنین جدول شماره (۳) تجهیزات مورد استفاده برای گردآوری داده‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱. سیستم‌های بررسی شده

شماره‌ی سیستم	نوع صافی نصب شده	نوع اتوبوس	مسیر کاری
۱	صافی احیاء فعال هسته فلزی	King Long	شمال به جنوب
۲	صافی احیاء فعال هسته فلزی	King Long	غرب به شرق

جدول ۲. مشخصات اتوبوس

نوع اتوبوس	مدل موتور	ماکزیمم توان ترمزی
King Long	MAN D2066LOH1	۳۵۰(hp)

1 Particulate Matter (PM)
2 Diesel Particulate Filter (DPF)
3 Regeneration
4 Active DPF
5 Passive DPF
6 Continuous Regeneration Trap (CRT)
7 Soot
8 Fuel Born Catalyst (FBC)
9 Anderson et al.
10 Burtscher et al.
11 Retrofit
12 VERT association

جدول ۳. تجهیزات گردآوری داده

ویژگی‌های دستگاه	مدل مورد استفاده
دستگاه کدر سنجی	Horiba Smoke Opacity meter
داده‌بردار فشار، دما و دور موتور	CPK Data logger

صافی‌های جاذب دوده بررسی شده در این پژوهش از نوع هسته فلزی می‌باشند[1]. احیاء فعال در این سیستم بوسیله‌ی اجزای حرارتی تعبیه شده در قسمت خروجی صافی صورت می‌گیرد. روش کار بدین صورت است که اگر غلظت لایه‌های دوده‌ی جمع شده به حد مشخص و تعیین شده‌ای برسند (مثلا ۲۰ g/m^2) با افزایش فشار برگشتی، سیستم کنترلی صافی با روشن کردن اجزای حرارتی فرمان احیاء فعال را صادر می‌کند. با شروع فرآیند احتراق و پیش‌روی شعله، فرآیند احیاء در تمامی سطح صافی صورت می‌گیرد.

جدول ۴. مشخصات کارکردی صافی جاذب دوده

جنس هسته صافی	فلز رسوب داده شده[2]
نوع فرآیند احیاء	احیاء فعال بوسیله‌ی گرمکن‌های الکتریکی[3] + واکنشگر افزودنی به سوخت
حجم صافی	۲۶/۵ (liter)
سطح موثر صافی	۸/۱ (m^2)
بیشینه ظرفیت تحمل دوده	۱۸-۱۳ (g/liter)
میزان مصرف واکنشگر افزودنی به سوخت	۵۰۰cc/۱۰۰۰ liter fuel

بررسی و تحلیل داده‌ها

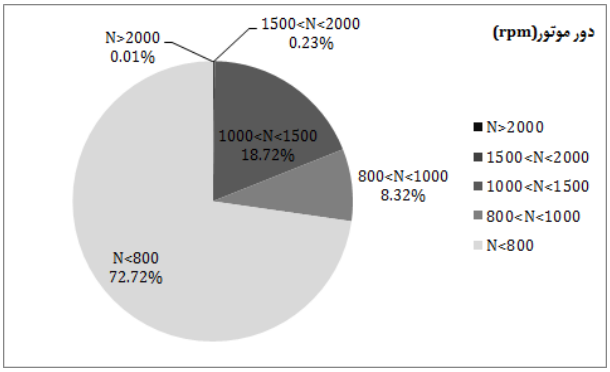
ویژگی‌های مسیر از مهمترین عوامل موثر بر شرایط کارکردی موتور و دمای گازهای خروجی از اگزوز می‌باشد. برای مشخص شدن اثر مسیر بر روی دمای کاری، دو مسیر با ویژگی‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفت و توزیع دمای گازهای خروجی از اگزوز (پایین دست صافی) برای سیستم‌های مشابه در این دو مسیر بدست آمد.

مسیر غرب به شرق (خط ۲ اتوبوس‌های تندرو)

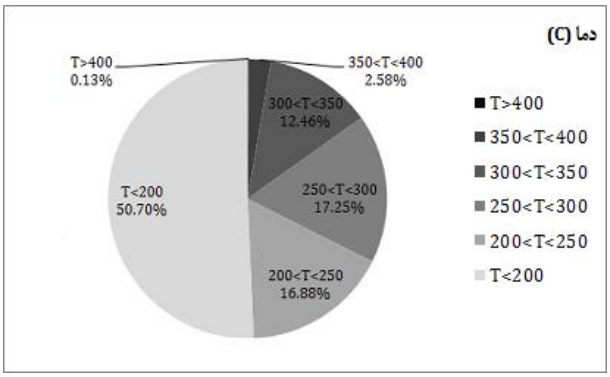
به دلیل یکنواختی مسیر و اختلاف ارتفاعی کم پایانه مبداء با مقصد، اتوبوس‌های شاغل در این خط در دور موتورهای پایینی کار می‌کنند. به همین جهت دمای گازهای خروجی این اتوبوس‌ها چندان بالا نیست. شکل ۱ و ۲ شرایط کارکردی و گستردگی دمایی اتوبوس شاغل در خط دو را نشان می‌دهد (سیستم شماره‌ی ۲).

جدول ۵. مشخصات مسیر خط ۲ اتوبوس‌های تندرو شهر تهران

پایانه مبداء	ترمینال غرب
پایانه مقصد	ترمینال خاوران
اختلاف ارتفاع بین دو پایانه	۵۲ m
طول مسیر	۱۹ km
شیب متوسط مسیر	۰,۱۵ درجه



شکل ۱. توزیع دور موتور کارکردی اتوبوس شاغل در مسیر غرب به شرق



شکل ۲. توزیع دمای گازهای خروجی اگزوز اتوبوس (پایین دست صافی) شاغل در مسیر غرب به شرق

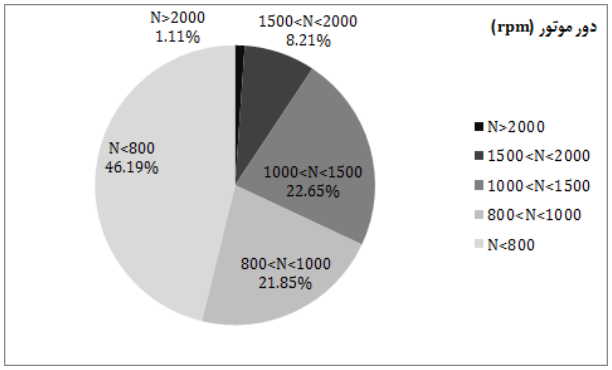
مسیر شمال به جنوب (خط ۴ اتوبوس‌های تندرو)

به دلیل اختلاف ارتفاعی زیاد پایانه مبداء و مقصد، اتوبوس‌های شاغل در این مسیر در دور موتورهای بالا کار می‌کنند و دمای بالای گازهای خروجی از این اتوبوس‌ها شرایط مناسبی را برای استفاده از صافی‌های جاذب دوده فراهم کرده‌است. شکل‌های ۳ و ۴ توزیع دورموتور و دمای کاری اتوبوس نمونه در خط چهار را نشان می‌دهد. (سیستم شماره‌ی ۱)

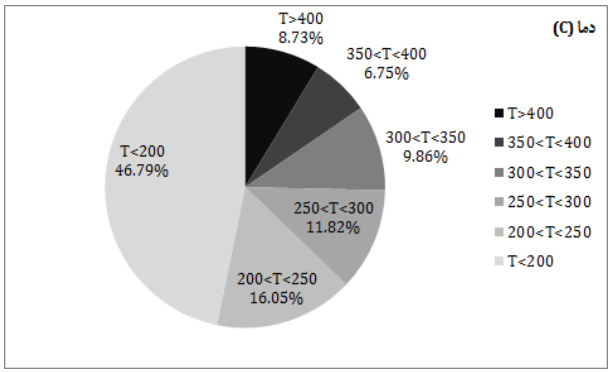
جدول ۵. مشخصات مسیر خط ۴ اتوبوس‌های تندرو شهر تهران

پایانه مبداء	ترمینال جنوب
پایانه مقصد	ترمینال اتوبوسرانی پارک وی
اختلاف ارتفاع بین دو پایانه	۴۶۲ m
طول مسیر	۲۲/۸ km
شیب متوسط مسیر	۱/۱۶ درجه

[1] HJS SMF-AR-system
[2] Sintered Metal Filter (SMF)
[3] Electrical heater



شکل ۳. توزیع دور موتور کارکردی اتوبوس شاغل در مسیر شمال به جنوب



شکل ۴. توزیع دمای گازهای خروجی اتوبوس اگزوز (پایین دست صافی) شاغل در مسیر شمال به جنوب

دمای گازهای خروجی اگزوز مهمترین عامل در بررسی الگوی فرآیند احیاء و چگونگی کارکرد صافی‌های جاذب دوده می‌باشد. تحلیل اطلاعات فشار برگشتی[1] چگونگی عملکرد صافی و همچنین فرآیند احیاء را مشخص می‌کند. فشار برگشتی به فشار ایجاد شده توسط موتور به منظور غلبه بر مقاومت هیدرولیکی مسیر خروجی دود برای تخلیه‌ی گازهای حاصل از احتراق به محیط گفته می‌شود[۱۲]. از آنجا که این فشار در مسیر خروج گازها تلف می‌گردد به آن فشار اتلافی یا افت فشار نیز گفته می‌شود. واکنشگرهای اکسیدکننده دیزلی[2] ، صدا خفه کن[3] و صافی جاذب دوده اصلی‌ترین عوامل ایجاد فشار برگشتی در مسیر خروجی دود موتورهای دیزلی می‌باشند. به همین دلیل می‌توان با تقریب خوبی فشار برگشتی را معادل با افت فشار در این اجزاء دانست. افزایش فشار برگشتی باعث کاهش توان خروجی، افزایش تولید ذرات معلق، افزایش مصرف سوخت، افزایش احتمال نشت روغن در سیستم‌های دارای توربوشارژر و ... می‌گردد. شرکت‌های تولیدکننده‌ی موتور معمولا حد فشار برگشتی مجاز برای کارکرد محصولات خود را مشخص می‌کنند. جدول شماره (۶) محدودیت فشار برگشتی تعیین شده از طرف موسسه‌ی ورت برای خودروهای دیزلی را نشان می‌دهد[۱۲].

[1] Back pressure
[2] Diesel oxidation catalyst (DOC)
[3] Muffler

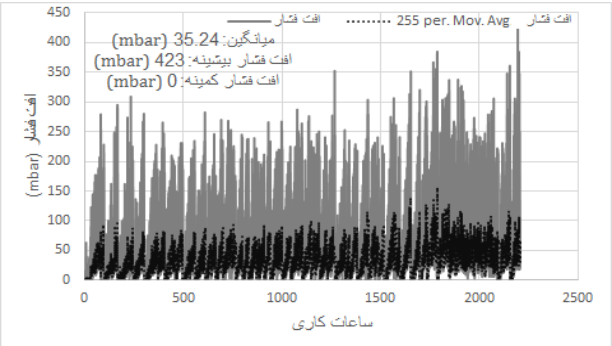
جدول ۶. حد مجاز فشار برگشتی برای موتورهای دیزل

ماکزیم قدرت موتور	حد مجاز فشار برگشتی
کمتر از ۵۰ کیلو وات	۴۰۰(mbar)
۵۰ تا ۵۰۰ کیلو وات	۲۰۰(mbar)
۵۰۰ کیلو وات و بیشتر	۱۰۰(mbar)

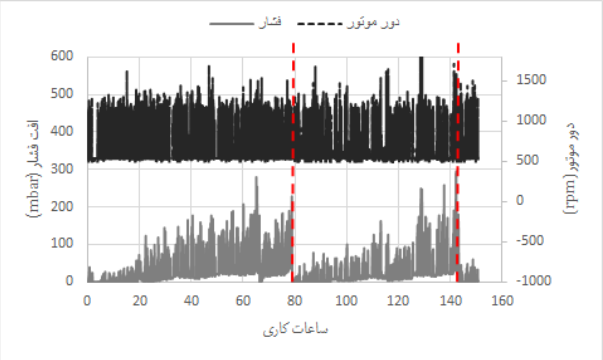
از این‌رو برای بررسی چگونگی کارکرد صافی در یک شرایط کاری مشخص و همچنین برای کم کردن اثرات منفی ناشی از افزایش فشار برگشتی بر روی سیستم، بررسی اطلاعات مربوط به فشار برگشتی از اهمیت بالایی برخوردار است.

بررسی عملکرد صافی جاذب دوده‌ی سیستم غرب به شرق

در حالت کلی فشار برگشتی تابع دو عامل اصلی مقاومت هیدرولیکی موجود در مسر خروجی دود (تجهیزات مسیر دود و وضعیتشان) و شرایط کارکردی موتور می‌باشد. شکل شماره (۵) توزیع فشار برگشتی برای این سیستم، در طول یک دوره نه ماه از زمان نصب، را نشان می‌دهد. با افزایش ساعات کارکرد صافی فشاربرگشتی به دلیل انباشت مواد غیرقابل اشتعال که عمدتا ناشی از واکنشگرهای افزودنی به سوخت می‌باشند، افزایش پیدا می‌کند. شکل شماره (۶) چگونگی عملکرد و الگوی احیاء سیستم را نشان می‌دهد. با توجه به شکل شماره (۲)، تنها ۰/۱۳ درصد زمان کاری دماهای گازهای خروجی اگزوز بالای ۴۰۰ °C می‌باشد. به همین جهت احیاء غیرفعال در این سیستم سهمی بسیار ناچیز دارد. از این‌رو صافی در طول عملکرد خود به دلیل انباشت ذرات معلق پر شده و فشاربرگشتی افزایش پیدا می‌کند. با افزایش فشار برگشتی سیستم کنترل صافی فرمان احیاء فعال را صادر کرده و فرآیند سوزاندن ذرات قابل اشتعال شروع می‌شود (خطوط قرمز رنگ). این الگوی احیاء در طول دوره‌ی کاری صافی به صورت متناوب تکرار می‌شود. همانگونه که از شکل شماره (۶) مشخص است، در این الگو رابطه‌ی منظمی بین دور موتور کارکردی و فشار برگشتی دیده نمی‌شود و فشار برگشتی بیشتر تحت تاثیر پرشدگی صافی قرار دارد.

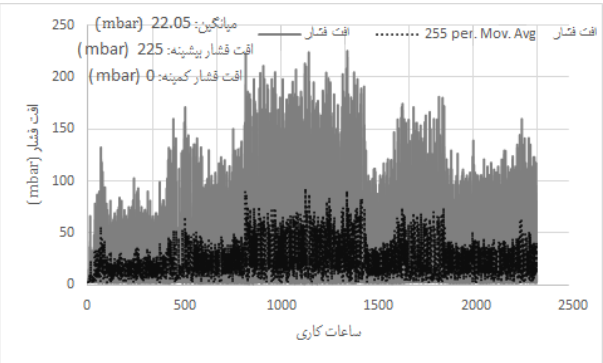


شکل ۵. نمودار فشار برگشتی سیستم مجهز به احیاء فعال سیستم غرب به شرق

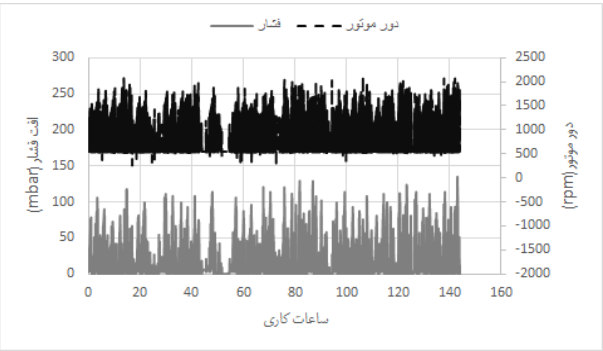


شکل ۶. نمودار فشار برگشتی و دور موتور بر حسب زمان برای سیستم احیاء فعال مسیر غرب به شرق

بررسی عملکرد صافی جاذب دوده‌ی سیستم شمال به جنوب توزیع دمایی بالای گازهای خروجی این اتوبوس، شرایط مناسبی را برای فرآیند احیاء غیرفعال بوجود آورده است. در نتیجه فرآیند احیاء در حین کارکرد اتوبوس و به صورت نیمه پیوسته صورت می‌گیرد و از انباشت ذرات معلق و افزایش فشار برگشتی جلوگیری می‌کند. به همین جهت و با توجه به اینکه فرمان احیاء فعال بر اساس افزایش فشار برگشتی صادر می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که در این الگوی کاری، احیاء فعال سهم کم‌تری را در سوزاندن ذرات جمع شده در صافی ایفا می‌کند. در این الگوی کاری، برخلاف الگوی کم دما توزیع فشار برگشتی بیشتر تحت تاثیر دور موتور می‌باشد (شکل شماره ۸).



شکل ۷. نمودار فشار برگشتی سیستم مجهز به احیاء فعال شمال به جنوب



شکل ۸ . نمودار فشار برگشتی و دور موتور بر حسب زمان برای سیستم احیاء فعال مسیر شمال به جنوب

نتیجه‌گیری

مهمترین نتایج حاصل از این بررسی به صورت زیر بوده‌است:

- با بررسی شکل‌های مربوط به توزیع دما مشخص گردید که اتوبوس شاغل در مسیر شمال به جنوب به دلیل ویژگی‌های مسیر کاری، دمای کارکردی بالاتری نسبت به اتوبوس‌های مسیر غرب به شرق دارند.
- با وجود عملکرد در دور موتورهای بالا، به دلیل توزیع دمایی مناسب و در نتیجه در دسترس بودن هر دو نوع احیاء فعال و غیر فعال، متوسط فشار برگشتی و افت فشار بیشینه برای سیستم شاغل در مسیر شمال به جنوب کمتر از مسیر غرب به شرق بوده‌است. از این‌رو اثرات منفی ناشی از فشار برگشتی برای اتوبوس شاغل در مسیر شمال به جنوب کمتر می‌باشد.
- با توجه به طول دوره‌ی کاری و کارکرد بالای ۲۰۰۰ ساعت، هر دو سیستم عملکرد قابل قبولی را داشته‌اند. لازم به ذکر است که فشارهای بالای ۲۰۰ میلی بار در این صافی‌ها موضعی بوده و متوسط فشار عملکردی در محدوده‌ی مجاز تولیدکنندگان موتور قرار دارد.
- طی فرآیند احیاء فعال به دلیل سوزاندن یکجا ذرات معلق، انرژی زیادی آزاد شده و باعث ایجاد تنش‌های حرارتی می‌شود. به همین جهت می‌توان گفت اثرات ناشی از تنش‌های حرارتی برای سیستم شاغل در مسیر شمال به جنوب که احیاء فعال سهم کمتری در سوزاندن ذرات معلق دارد، کمتر می‌باشد.
- استفاده از واکنشگرهای افزودنی به سوخت سبب پررنگ شدن نقش احیاء غیرفعال شده و علاوه بر کاهش سهم احیاء فعال و اثرات منفی (تنش‌های حرارتی) ناشی از آن به هرچه کاملتر صورت گرفتن فرآیند احیاء کمک می‌کند.
- می‌توان با بهبود کیفیت کاری موتور و در نتیجه کاهش تولید ذرات معلق، تعداد فرآیندهای احیاء فعال و اثرات منفی ناشی از تنش‌های حرارتی را کاهش داد. این موضوع در سیستم‌های کم دما که احیاء فعال اصلی‌ترین عامل سوزاندن ذرات معلق می‌باشد، از اهمیت بالاتری برخوردار است.
- برای کارکرد هرچه بهتر صافی‌ها، کاهش مصرف سوخت ناشی از افزایش فشار برگشتی، افزایش طول دوره‌ی کارکردی، کاهش مصرف واکنشگر افزودنی به سوخت و افزایش عمر کاری صافی، بحث تعمیر و نگهداری موتور باید بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد.

مراجع و منابع

[1] W.A. Majewski, What are Diesel Emissions, 1999, Available from: https:/www.dieselnet.com/tech/emi_intro.php
[2] R.L Maynard, C.V. Howard, Particulate Matter: Properties and Effects upon Health, Oxford, 1999
[3] Emission Standards, Available from: https:/www.dieselnet.com/standards
[4] Z.H. Liu, Y.S. Ge, J.W. Tan, C. He, A.N. Shah, Y. Ding, et al., Impacts of continuously regenerating trap and particle oxidation catalyst on the NO2 and particulate matter emissions emitted from diesel engine, Journal of Environmental Sciences, **24** (2012) 624–631
[5] J. Lemaire, W. Mustel, P. Zelenka, Fuel Additive Supported Particulate Trap Regeneration Possibilities by Engine Management System Measures, SAE Technical Paper 942069, 1994
[6] R. Allansson, C. Maloney, A. Walker, J. Warren, Sulphate Production Over The CRT™: What Fuel Sulphur Level Is Required To Enable The EU 4 And EU 5 PM Standards To Be Met?, SAE Technical Paper 2000-01-1875, 2000
[7] J. Andersson, B. Wedekind, et al., Particulate Research Programme: Light Duty Results, SAE Technical Paper 2001-01-3577, 2001
[8] H. Burtscher, Tailpipe Particulate Emission Measurement for Diesel Engines: a review, Report for Particle Measurement Programmme, BUWAL, Switzerland, 2001
[9] B. Ball, D. Hully, P. Lausseur, N. Lyons, Experience of Continuously Regenerating Particulate Traps on City Buses in Europe, SAE Technical Paper 2004-01-0078, 2004
[10] A. Mayer, R. Evéquoz, M. Wyser-Heusi, J. Czerwinski, U. Matter and P. Graf, Particulate Traps Used in City-Buses in Switzerland, SAE Technical Paper 2000-01-1927, 2000
[11] T. Lanni, S. Chatterjee, R. Conway, H. Windawi, et al., Performance and Durability Evaluation of Continuously Regenerating Particulate Filters on Diesel Powered Urban Buses at NY City Transit, SAE Technical Paper 2001-01-0511, 2001
[12] A. Mayer, Number-based Emission Limits, VERT-DPF-Verification Procedure and Experience with 8,000 Retrofits, VERT, Switzerland, 2004