شرکت ملی نفت ایران
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

دانشگاه صنعتی شریف

عنوان پروژه:
ممیزی مصرف سوخت و انتشار آلایندگی ناوگان حمل‌ونقل شهر تهران

خلاصه مدیریتی

کارفرما: شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت

مدیریت مجری: وحید حسینی

طرف قرارداد : دانشگاه صنعتی شریف

هسته پژوهشی سوخت، احتراق و آلایندگی

تابستان ۹۴

شناسنامه گزارش

عنوان:	خلاصه مدیریتی پروژه ممیزی مصرف سوخت و انتشار آلایندگی ناوگان حمل‌ونقل شهر تهران
تهیه شده توسط:	هسته پژوهشی سوخت، احتراق و آلایندگی – دانشگاه صنعتی شریف
به سفارش:	شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت
گردآوری و تألیف:	احسان بنی‌طالبی
نظارت علمی:	وحید حسینی، عضو هیئت‌علمی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف
پیوست الکترونیک:	یک نسخه از گزارش و پیوست آن در فرمت pdf

نحوه ارجاع:

احسان بنی‌طالبی، وحید حسینی، خلاصه مدیریتی، پروژه ممیزی مصرف سوخت و انتشار آلایندگی ناوگان حمل‌ونقل شهر تهران (به سفارش شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت)، گزارش فنی، هسته پژوهشی سوخت، احتراق و آلایندگی، دانشگاه صنعتی شریف، تابستان ۱۳۹۴

فهرست مطالب

فصل۱ مقدمه ۵

فصل۲ ضرورت انجام پروژه و اهداف ۷

فصل۳ روش انجام آزمون‌های مصرف سوخت و آلایندگی ۹

۳-۱ روش انجام آزمون‌های همراه ۹
۳-۲ روش انجام آزمون‌های شاسی‌دینامومتر ۱۰
۳-۳ ناوگان منتخب سواری‌های سبک ۱۱
۳-۴ ناوگان منتخب موتورسیکلت ۱۱

فصل۴ تحلیل نتایج آزمون خودروهای سواری سبک ۱۲

۴-۱ مصرف سوخت و انتشار کلی سواری‌های سبک در آزمون‌های همراه ۱۲
۴-۲ مقایسه نتایج آزمون‌های همراه با حدود مجاز در استاندارد یورو۲ ..... ۱۳
۴-۳ مقایسه مصرف سوخت و انتشار سواری‌های سبک (بر اساس آزمون‌های همراه) ۱۴
۴-۴ مقایسه نتایج آزمون‌های همراه و شاسی‌دینامومتر ۱۵
۴-۵ مدل ریاضی مصرف سوخت و انتشار آلایندگی سواری‌های سبک ۱۷

فصل۵ تحلیل نتایج آزمون‌های موتورسیکلت ۲۲

۵-۱ مصرف سوخت و انتشار آلایندگی موتورسیکلت‌های شهر تهران ۲۲
۵-۲ مقایسه نتایج موتورسیکلت‌های کاربراتوری با حدود مجاز در استاندارد ۲۳
۵-۳ مقایسه مصرف سوخت و آلایندگی موتورسیکلت‌های کاربراتوری و انژکتوری ۲۴
۵-۴ ضریب تأثیر عمر بر مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها ۲۶
۵-۵ مدل ریاضی مصرف سوخت و انتشار آلایندگی موتورسیکلت‌ها ۲۷

فهرست جداول

جدول ۲-۱. نمایش انتشار آلاینده‌های گازی و ذرات معلق منابع ساکن و متحرک برحسب تن در سال و درصد از کل (بر مبنای سیاهه انتشار توسعه یافته برای تهران در سال ۱۳۹۲ توسط شرکت کنترل کیفیت هوا). ۷
جدول ۳-۱. مسیرهای طی شده در آزمون همراه برای یک خودرو ۱۰
جدول ۴-۱. ضرایب انتشار آلایندگی و مصرف سوخت کلی برای هر ناوگان ۱۲
جدول ۴-۲. ضرایب کلی مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها برای مجموع ناوگان سواری شخصی و تاکسی ۱۳
جدول ۴-۳. مقایسه مصرف سوخت و انتشار آلایندگی ناوگان سواری و تاکسی به تفکیک سوخت مصرفی ۱۵
جدول ۴-۴. مقایسه انتشار سواری‌های شخصی و تاکسی، بر اساس سوخت مصرفی ۱۵
جدول ۴-۵: نسبت ضرایب انتشار و مصرف سوخت آزمون‌های همراه به شاسی‌دینامومتر (بر اساس نوع سوخت) ۱۵
جدول ۴-۶. توابع انتشار آلایندگی و مصرف سوخت برای سواری‌های شخصی با سوخت گاز طبیعی ۱۸
جدول ۴-۷. توابع انتشار آلایندگی و مصرف سوخت برای سواری‌های شخصی با سوخت بنزین ۱۸
جدول ۴-۸. توابع انتشار آلایندگی و مصرف سوخت برای تاکسی‌ها با سوخت گاز طبیعی ۱۹
جدول ۴-۹. توابع انتشار آلایندگی و مصرف سوخت برای تاکسی‌ها با سوخت بنزین ۱۹
جدول ۵-۱. میانگین مصرف سوخت و ضرایب انتشار آلاینده‌ها برای موتورسیکلت‌ها با حجم موتورهای مختلف و کل ناوگان موتورسیکلت‌های شهر تهران ۲۲
جدول ۵-۲ ضرایب مدل تخمین انتشار و مصرف سوخت در حالت گرم برای کل ناوگان موتورسیکلت‌های شهر تهران ۲۸
جدول ۵-۳ ضرایب مدل تخمین انتشار و مصرف سوخت در حالت استارت سرد برای کل ناوگان موتورسیکلت‌های شهر تهران ۲۸

فهرست اشکال

شکل ۳-۱خودرو تجهیز شده برای آزمون همراه ۱۰
شکل ۴-۱. مقایسه انتشار (آزمون‌های همراه) سواری‌ها و تاکسی‌های بنزینی با استاندارد یورو۲ ..... ۱۳
شکل ۴-۲. مقایسه انتشار (آزمون‌های همراه) سواری‌ها و تاکسی‌ها در کارکرد با گاز طبیعی با استاندارد یورو۲ ..... ۱۳
شکل ۴-۳. مقایسه انتشار ناوگان‌های مورد بررسی (چهار ستون آبی کم‌رنگ)، همچنین مقدار کل انتشار ناشی از ناوگان سواری و تاکسی (ستون آبی پررنگ) با استاندارد یورو۲ (ستون قرمز) ۱۴
شکل ۴-۴. سیکل‌های رانندگی تجربه شده در آزمون‌های همراه {(A) بزرگراهی بدون شیب. (B) بزرگراهی شیب‌دار. (C) شهری بدون شیب. (D) شهری شیب‌دار} و سیکل رانندگی NEDC (E) ۱۶
شکل ۴-۵. تابع مصرف سوخت سواری‌های شخصی بنزینی ۲۰
شکل ۴-۶. نمایش توابع انتشار مونواکسید کربن (محور سمت چپ نمودار) و درصد پیمایش روزانه در بازه‌های سرعتی (محور سمت راست نمودار) ۲۱
شکل ۵-۱ ضرایب انتشار اکسیدهای نیتروژن و هیدروکربن‌های نسوخته حاصل از آزمون‌های شاسی‌دینامومتر. ۲۳
شکل ۵-۲ مصرف سوخت و ضریب انتشار مونوکسید کربن حاصل از آزمون‌های شاسی‌دینامومتر. ۲۳
شکل ۵-۳ مقایسه مصرف سوخت موتورسیکلت‌های انژکتوری (مجهز به کاتالیست) و میانگین نتایج موتورسیکلت‌های کاربراتوری (بدون کاتالیست) ۲۴
شکل ۵-۴ مقایسه انتشار مونواکسید کربن موتورسیکلت‌های انژکتوری (مجهز به کاتالیست) و میانگین نتایج موتورسیکلت‌های کاربراتوری (بدون کاتالیست) ۲۵
شکل ۵-۵ مقایسه انتشار هیدروکربن‌های نسوخته موتورسیکلت‌های انژکتوری (مجهز به کاتالیست) و میانگین نتایج موتورسیکلت‌های کاربراتوری (بدون کاتالیست) ۲۵
شکل ۵-۶ مقایسه انتشار اکسیدهای نیتروژن موتورسیکلت‌های انژکتوری (مجهز به کاتالیست) و میانگین نتایج موتورسیکلت‌های کاربراتوری (بدون کاتالیست) ۲۶
شکل ۵-۷ ضریب تصحیح اثر سال تولید برای ضرایب انتشار و مصرف سوخت در موتورسیکلت‌های ۱۲۵ سی‌سی کاربراتوری و بدون کاتالیست ۲۷

فصل اول:

مقدمه

در فاز یک پروژه "ممیزی مصرف سوخت و انتشار آلایندگی ناوگان حمل ونقل شهر تهران" بـه منظـور بررسـی فعالیت‌های بین‌المللی انجام‌شده در ارتباط با پژوهش حاضر، پرهیز از انجام فعالیت‌های تکراری، همچنین استفاده از روش‌ها و تجهیزات نوین اندازه‌گیری انتشار آلودگی منابع متحرک، مطالعه ادبیات علمی و کارشناسی به صورت جامع انجام پذیرفت و در نهایت سه گزارش فنی تحت عناوین

الف) سیکل‌های رانندگی در مقیاس بین‌المللی و ملی –مرور ادبیات
ب) بررسی روش‌های اندازه‌گیری انتشار آلایندگی از منابع متحرک
ج) بررسی جداول و فهرست ضرایب انتشار آلایندگی منابع متحرک در دنیا

ارائه گردید.
در فاز دوم پروژه، فرایند طراحی آزمون با هدف تعیین عوامل مهم در مصرف سوخت و انتشار، همچنین آزمون‌تکرارپذیری انجام گردید. در نهایت شیوه انجام آزمون همراه برای یک خودرو با توجه به عوامل مهم شناسایی شده تعیین گردید.

در مجموع در فاز دوم و سوم، علاوه بر ۲۳ آزمون شاسی‌دینامومتر، تعداد ۵۱ آزمون همراه، با استفاده از تجهیزات پرتابل اندازه‌گیری مصرف سوخت و آلایندگی، بر خودروهای سواری سبک انجام شد. همچنین ۷۰ موتور سیکلت نیز مورد آزمون شاسی دینامومتر مصرف سوخت و آلایندگی قرار گرفتند.

در بخش اول از فاز چهارم پروژه، علاوه بر ارائه مصرف سوخت و ضرایب انتشار بدست آمده از آزمون‌های شاسی‌دینامومتر و همراه خودروهای سبک، جدول مصرف سوخت و انتشار (بیانگر نرخ مصرف سوخت و انتشار آلایندگی خودرو در سرعت و شیب‌های مختلف) و مدل مصرف سوخت و انتشار (توابع تخمین نرخ مصرف سوخت و انتشار آلایندگی بر اساس سرعت متوسط خودرو) سواری‌های شخصی و تاکسی به تفکیک نوع سوخت مصرفی (بنزین و گاز طبیعی) تعیین گردید. درنهایت مقایسه‌ای بین مصرف سوخت و انتشار آلایندگی خودروهای شخصی و تاکسی، همچنین بررسی تأثیر استفاده از گاز طبیعی در کاهش مصرف معادل بنزین و انتشار آلاینده‌ها صورت گرفت؛ ضمن آنکه نتایج بدست آمده در پروژه با استانداردهای یورو مقایسه شده است.
همانند بخش اول، در بخش دوم از فاز چهارم پروژه، مصرف سوخت و ضرایب انتشار موتورسیکلت‌ها و نتایج تحلیلی مربوط به آن شامل مدل مصرف سوخت و انتشار موتورسیکلت‌ها، مقایسه موتورسیکلت‌ها بر اساس حجم موتور و تکنولوژی و ... صورت گرفته است.

در فاز پنجم، بمنظور کاربرد آسان و دسترسی مناسب، نتایج تحلیل‌های صورت گرفته در فاز چهارم پروژه، در قالب وبسایت جامع مصرف سوخت و انتشار آلایندگی، توسعه داده شد؛ که مبتنی بر کلیه آزمون‌های همراه و شاسی‌دینامومتر سواری و موتورسیکلت است.

در ادامه ضمن شرح مختصری از کلیات و مفاهیم اساسی و روش انجام آزمون‌ها، خلاصه‌ای از نتایج بدست آمده در فازها و مراحل مختلف پروژه آورده شده است.

فصل دوم:

ضرورت انجام پروژه و اهداف

در بررسی‌های انجام شده در ایالات متحده، حدود شصت درصد مونواکسید کربن، پنجاه درصد اکسیدهای نیتروژن و چهل‌وپنج درصد هیدروکربن‌های ارگانیک فرار موجود در اتمسفر، ناشی از خودروهای جاده‌ای و در برآوردی دیگر، بالغ بر نیمی از آلاینده‌های تولیدی در آمریکا ناشی از وسایل نقلیه‌ی موتوری گزارش شده است. افزون بر این، با توجه به سیاهه انتشار توسعه یافته برای تهران، نقش پررنگ خودروها در تولید گازهای آلاینده و ذرات معلق بخوبی مشهود است.

جدول ۲-۱. نمایش انتشار آلاینده‌های گازی و ذرات معلق منابع ساکن و متحرک برحسب تن در سال و درصد از کل (بر مبنای سیاهه انتشار توسعه یافته برای تهران در سال ۱۳۹۲ توسط شرکت کنترل کیفیت هوا).

	مونواکسیدکربن	هیدروکربن‌های ارگانیک فرار	اکسیدهای نیتروژن	اکسیدهای گوگرد	ذرات معلق
منابع متحرک	۴۹۶،۳۲۰ (٪۹۷)	۷۲،۳۲۱ (٪۵۸)	۴۰،۵۷۹ (٪۷۸)	-۲،۴۳۷ (٪۵)	۶،۰۳۸ (٪۶۳)
منابع ساکن	۱۳،۵۷۴ (٪۳)	۵۲،۴۱۶ (٪۴۲)	۱۱،۷۶۶ (٪۲۲)	۴۳،۴۹۷ (٪۹۵)	۳،۶۱۴ (٪۳۷)

بیشترین سهم افزایش ناگهانی و شدید آلودگی هوا در مناطق شهری کشورهای در حال توسعه به خودروها اختصاص یافته است. با توجه به اهمیت غیر قابل انکار خودروها در کیفیت هوا، همچنین رشد فزاینده مصرف سوخت، سناریو و راه حل های متعددی در این زمینه پیشنهاد می‌شود؛ اگرچه بدون وجود یک مدل مصرف سوخت و انتشار، هیچ یک از راه‌حل‌های پیشنهادی قابل شبیه‌سازی و ارزیابی (قبل از اجرایی شدن طـرح) نیست.

ضرایب مصرف سوخت و انتشار مهم‌ترین قسمت از مدل‌های پیش‌بینی کننده می‌باشند که به ترتیب بیانگر نرخ مصرف سوخت یا تولید آلاینده در واحد فعالیت آن است و عموماً با واحد لیتر سوخت مصرفی در صد کیلومتر پیمایش یا گرم آلاینده بر کیلومتر پیموده شده ارائه می‌گردد.

استفاده از اطلاعات مصرف سوخت و انتشار آلایندگی کشورهای اروپایی در مدل‌های توسعه یافته برای شهر تهران، موجب بروز خطاهای فاحشی در برآورد میزان مصرف سوخت و انتشار آلایندگی و متعاقباً جهت‌گیری نامناسب سیاست‌های کلی بخش حمل‌ونقل و توسعه شهری می‌گردد[۱]. پیامدهای تهویه تونل‌های شهری که بر اساس استانداردهای اروپایی طراحی شده‌اند، مثال مناسبی برای روشن‌شدن اهمیت توسعه ضرایب انتشار و مصرف سوخت ملی است. از این‌رو تعیین ضرایب مصرف سوخت و انتشار آلایندگی خودروهای ایرانی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

در همین راستا، هسته پژوهشی سوخت، احتراق و آلایندگی در اولین گام از تعیین میزان مصرف سوخت و آلایندگی واقعی ناوگان حمل‌ونقل شهر تهران و ارائه مدل‌های ریاضی مربوطه، همچنین ارزیابی سطح انتشار و مصرف سوخت خودروهای ایرانی نسبت به استانداردهای موجود و دیگر کشورها، مجموعه‌ای شامل ۵۱ آزمون همراه و ۲۳ آزمون شاسی‌دینامومتر بر روی سواری‌های سبک، همچنین ۷۰ آزمون موتورسیکلت شاسی‌دینامومتر صورت گرفته است.

[۱] تفاوت در سطح تکنولوژی خودروها، کیفیت سوخت و شرایط ترافیکی و جاده‌ای عوامل بروز اختلاف ضرایب مصرف سوخت و انتشار ملی با دیگر کشورها است.

فصل سوم:

روش انجام آزمون‌های مصرف سوخت و آلایندگی

برمبنای بررسی‌های گسترده در ادبیات فنی اندازه‌گیری مصرف سوخت و انتشار، روش همراه و شاسی‌دینامومتر، شیوه‌های شناخته شده و پرکاربرد در این زمینه هستند. لذا برای تدوین جداول مصرف سوخت و انتشار آلایندگی تهران و همچنین توسعه مدل‌های ریاضی مربوطه، از این دو روش استفاده شده است..

۳-۱ روش انجام آزمون‌های همراه[۱]

صرف نظر از کیفیت سوخت، شرایط محیطی (دما، فشار، ارتفاع از سطح دریا)، نوع و میزان پیمایش خودرو، مهم ترین عوامل مؤثر در مصرف سوخت و آلایندگی کارکرد گرم خودرو (کاتالیست و موتور به دمای کاری خود رسیده‌اند) عبارت‌اند از:

- شیب جاده
- ترافیک
- نحوه رانندگی (میزان خشن بودن)

[۱] در روش همراه، تجهیزات قابل حمل سنجش انتشار داخل خودرو قرار گرفته و همزمان با حرکت آن، داده‌های غلظت آلاینده، سرعت، مختصات مکانی و شرایط کاری موتور ثبت می‌گردد. به واسطه قرار گیری مستقیم خودرو در شرایط ترافیکی واقعی، روش همراه مناسب ترین شیوه برای دستیابی به انتشار واقعی خودرو و ارزیابی تجهیزات کنترل آلایندگی است؛ بگونه ای که در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی در رابطه با تعیین پروسه استاندارد آزمون همراه صورت گرفته و در آلاینده نیز به استانداردهای آلایندگی و مصرف سوخت الحاق خواهد شد.

لذا آزمون‌های همراه ناوگان نمونه در چهار مسیر انجام گرفته که در جدول ۳-۱ آورده شده است.

جدول ۳-۱. مسیرهای طی شده در آزمون همراه برای یک خودرو

کم ترافیک (بزرگراهی) و شیب‌دار	بزرگراه یادگار امام شمال
کم ترافیک (بزرگراهی) و بدون شیب	بزرگراه نیایش
پر ترافیک (شهری) و شیب‌دار	خیابان سعادت‌آباد جنوب به شمال
پر ترافیک (شهری) و بدون شیب	خیابان آزادی

از آنجایی که معیار کمی برای میزان خشن بودن رانندگی موجود نیست؛ با سه بار تکرار هر کدام از ۴ مسیر فوق، سعی شده که نحوه رانندگی نیز در انتشار آلاینده‌ها نمود یابد.

شکل ۳-۱خودرو تجهیز شده برای آزمون همراه

کلیه آزمون‌های همراه، در کارکرد گرم خودرو صورت گرفته‌اند. برای اطمینان از این امر، کارکرد حداقل پانزده دقیقه‌ای خودرو قبل از شروع هر آزمون، لحاظ شده است.

۳-۲ روش انجام آزمون‌های شاسی‌دینامومتر[۱]

همه آزمون‌های شاسی‌دینامومتر، با سیکل استاندارد یورو ۲ انجام شده است. کلیه خودروها با موتور گرم، آزمون شاسی‌دینامومتر را شروع نموده‌اند و لذا کل مصرف سوخت و آلایندگی اندازه‌گیری شده، مربوط به کارکرد گرم خودرو است و اثرات استارت سرد خودرو درنظر گرفته نشده است.

[۱] در روش شاسی‌دینامومتر، خودرو به صورت ثابت روی غلتک با قابلیت اعمال گشتاور قرار گرفته و سیکل رانندگی (نمودار سرعت-زمان و استراتژی تعویض دنده) توسط راننده‌های آموزش دیده اجرا شده و همزمان با پیمایش سیکل، انتشار آلایندگی خودرو نیز اندازه‌گیری می‌شود. به واسطه شرایط کاملاً کنترل شده و تجهیزات اندازه‌گیری پیشرفته که عمده مزیت آزمون شاسی است، امکان بررسی تأثیر مواردی همچون سیستم تهویه خودرو بر سطح آلایندگی و مصرف سوخت امکان‌پذیر است. گرچه همان‌گونه که پیش از این ذکر شد؛ تعمیم نتایج آزمون شاسی به رفتار(تولید آلایندگی و مصرف سوخت) خودرو در رانندگی واقعی جاده، هنگامی صحیح است که از سیکل رانندگی نمایانگر منطقه مورد بررسی استفاده گردد.

۳-۳ ناوگان منتخب سواری‌های سبک

در مجموع، طی فاز دوم و سوم پروژه، ۵۱ آزمون همراه و ۲۳ آزمون شاسی‌دینامومتر برای سواری‌های شخصی و تاکسی‌ها انجام شده است. مبنای انتخاب خودروها بر اساس آمار شماره‌گذاری (تا پایان سال ۱۳۹۲) می‌باشد؛ بگونه‌ای که ترکیب سنی و نوع خودروهای آزمون، مشابه ناوگان متردد در شهر تهران است.

۳-۴ ناوگان منتخب موتورسیکلت

با درنظر گرفتن ترکیب سنی و همچنین نوع موتورسیکلت‌های شهر تهران، ۷۰ موتورسیکلت برای انجام آزمون‌های شاسی‌دینامومتر انتخاب شده است.

تقریباً کل موتورسیکلت‌های تهران، از سیستم‌های سوخت‌رسانی کاربراتوری بهره می‌گیرند، و فاقد تجهیزات کنترل آلایندگی هستند. لذا تنها ۴ مورد از موتورسیکلت‌های منتخب مجهز به سیستم پاشش سوخت انژکتوری و تجهیزات کنترل آلاینده هستند. همچنین، با توجه به سهم ۷۰ درصدی موتورسیکلت‌های ۱۲۵ سی‌سی در ناوگان فعلی تهران، حجم موتور ۳۴ دستگاه از مجموعه مورد آزمون، ۱۲۵ سی‌سی است.

فصل چهارم:

تحلیل نتایج آزمون خودروهای سواری سبک

۴-۱ مصرف سوخت و انتشار کلی سواری‌های سبک در آزمون‌های همراه

در جدول ۴-۱ مقدار مصرف سوخت و انتشار خودروهای سواری شخصی و تاکسی تهران به تفکیک آورده شده است.

جدول ۴-۱. ضرایب انتشار آلایندگی و مصرف سوخت کلی برای هر ناوگان

	شخصی- بنزین	تاکسی- بنزین	شخصی- گازسوز	تاکسی- گازسوز
دی‌اکسید کربن (گرم بر کیلومتر)	۱۸۰	۲۰۸	۱۵۰	۱۷۵
مونواکسید کربن (گرم بر کیلومتر)	۵,۷۲۶	۱۸,۹۱۸	۹,۸۶۱	۷,۷۱۲
هیدروکربن‌های نسوخته (گرم بر کیلومتر)	۰,۲۴۳	۰,۴۸۳	۲,۵۴۷	۰,۶۷۹
اکسیدهای نیتروژن (گرم بر کیلومتر)	۰,۸۱۶	۱,۶۷۸	۱,۴۰۸	۱,۷۲۲
مصرف سوخت-بنزین (لیتر در ۱۰۰کیلومتر)	۷,۹	۹,۹	۰,۰	۰,۰
مصرف سوخت- گاز طبیعی (متر مکعب در ۱۰۰کیلومتر)	۰,۰	۰,۰	۹,۶	۱۰,۶
{معادل بنزین (لیتر در ۱۰۰ کیلومتر)}			{۱۰,۷}	{۱۱,۸}

در جدول ۴-۲ نیز مقدار مصرف سوخت و انتشار کلی در شهر تهران آورده شده است.

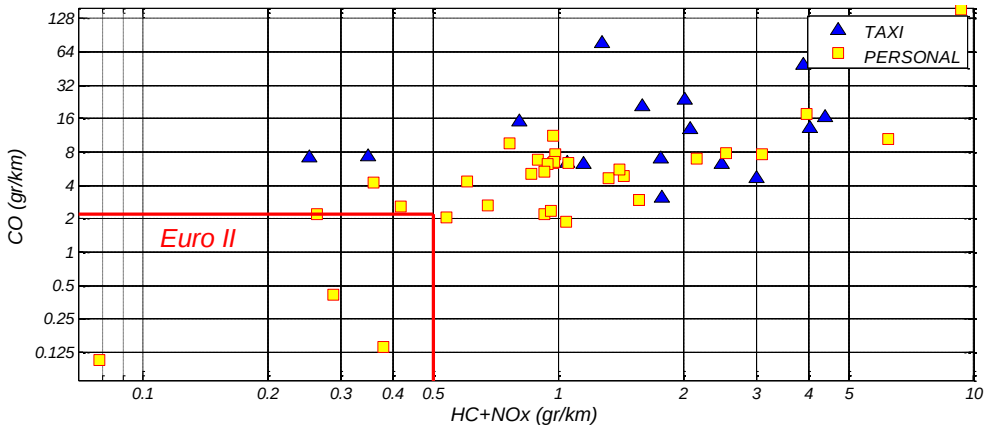
جدول ۴-۲. ضرایب کلی مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها برای مجموع ناوگان سواری شخصی و تاکسی

	دی‌اکسید کربن	مونواکسید کربن	هیدروکربن‌های نسوخته	اکسیدهای نیتروژن	مصرف سوخت- بنزین	مصرف سوخت- گاز طبیعی
واحد	گرم بر کیلومتر				لیتر در ۱۰۰ کیلومتر	مترمکعب در ۱۰۰ کیلومتر
ضریب کلی	۱۷۹	۶,۷۷	۰,۴۳۷	۰,۹۸۵	۸,۰	۱۰,۲ {۱۱,۴*}

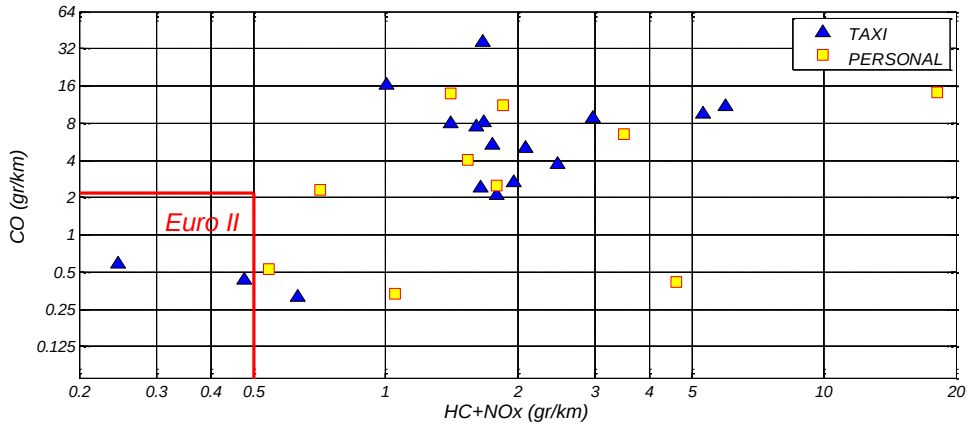
*مصرف سوخت معادل- با واحد لیتر در ۱۰۰ کیلومتر

۴-۲ مقایسه نتایج آزمون‌های همراه با حدود مجاز در استاندارد یورو۲

در نمودار شکل ۴-۱ مقادیر آلایندگی کارکرد گرم خودروهای بنزینی در آزمون‌های همراه ، با حدود مجاز استاندارد یورو۲ مقایسه شده؛ نمودار مشابهی برای کارکرد خودرو با گاز طبیعی در شکل ۴-۲ آورده شده است.



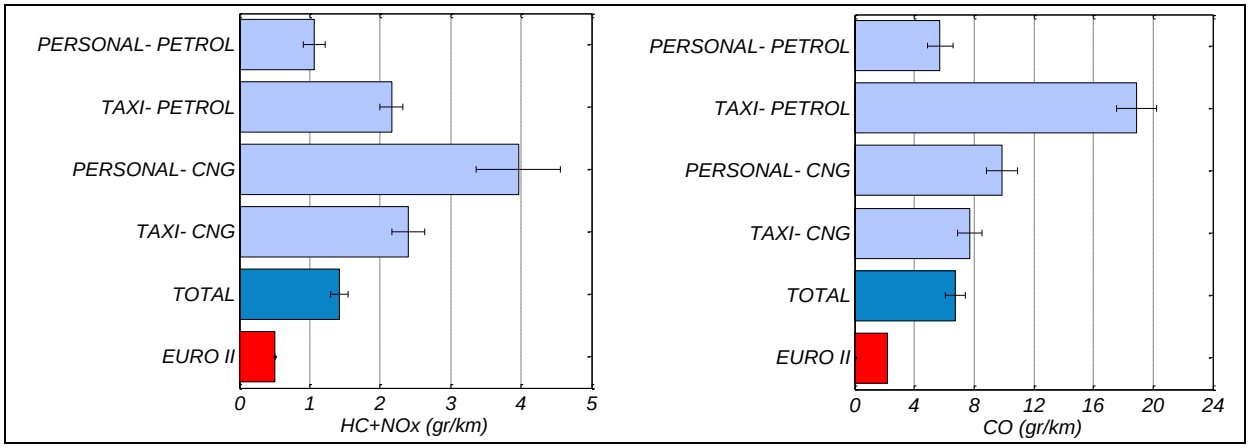
شکل ۴-۱. مقایسه انتشار (آزمون‌های همراه) سواری‌ها و تاکسی‌های بنزینی با استاندارد یورو۲



شکل ۴-۲. مقایسه انتشار (آزمون‌های همراه) سواری‌ها و تاکسی‌ها در کارکرد با گاز طبیعی با استاندارد یورو۲

از نمودارهای شکل ۴-۱ و شکل ۴-۲ دیده می‌شود که تنها آلایندگی کارکرد گرم ۴ سواری بنزینی از کلیه خودروهای بنزینی آزمایش شده (شامل ۴۱ سواری و تاکسی) در محدوده مجاز استاندارد یورو۲ قرار دارد (۱۰ درصد خودروها)؛ اگرچه در ناوگان خودروهای گازسوز، تنها سطح انتشار دو سواری (از مجموع ۲۹ سواری و تاکسی آزمون شده) کمتر از استاندارد یورو ۲ می‌باشد (۶ درصد خودروها).

در شکل ۴-۳ ضرایب انتشار ناوگان‌های مورد بررسی و استاندارد یورو۲ مقایسه شده است. مشاهده می‌گردد که ضریب انتشار آلاینده مونواکسید کربن برای کل ناوگان سواری و تاکسی (۶,۷۷) در کارکرد گرم، ۳,۱ برابر حد مجاز استاندارد یورو۲ است. ضریب انتشار مجموع آلاینده‌های هیدروکربن‌های نسوخته و اکسیدهای نیتروژن (۱,۴۲) نیز ۲,۸ برابر استاندارد است.



شکل ۴-۳. مقایسه انتشار ناوگان‌های مورد بررسی با استاندارد یورو۲

۴-۳ مقایسه مصرف سوخت و انتشار سواری‌های سبک (بر اساس آزمون‌های همراه)

در جدول ۴-۳ و جدول ۴-۴ به ترتیب تأثیر کاربری خودرو (شخصی یا تاکسی) و نوع سوخت مصرفی (بنزین یا گاز طبیعی) در میزان مصرف سوخت و آلایندگی خودرو ارائه شده است. بواسطه پیمایش روزانه بالا، فرسودگی ناوگان تاکسی بیشتر از سواری‌های شخصی است.[۱] از این جهت مصرف سوخت و انتشار تاکسی‌ها نسبت به سواری‌های شخصی افزایش چشمگیری داشته است.

برخلاف محاسبات تئوریک، ضرایب انتشار بدست آمده در کارکرد با گاز طبیعی بسیار بالاتر از ضرایب انتشار مربوط به بنزین است. مهم‌ترین دلیل بروز چنین شرایطی، کنترل نامناسب احتراق گاز طبیعی است که علاوه بر افزایش آلایندگی، مصرف سوخت معادل را نیز افزایش داده که نشانگر کاهش بازدهی احتراق در مقایسه با احتراق بنزین است.

[۱] افزایش پیمایش خودرو موجب ازکار افتادگی تجهیزات کنترل آلایندگی و همچنین خرابی حسگرهای موتور (مثلاً حسگر اکسیژن که در تعیین نسبت هوا به سوخت ورودی به موتور نقش کلیدی دارد) می‌گردد.

جدول ۴-۳. مقایسه مصرف سوخت و انتشار آلایندگی ناوگان سواری و تاکسی به تفکیک سوخت مصرفی

سوخت مصرفی	بنزین			گاز طبیعی		
	سواری	تاکسی	٪ تغییر[1]	سواری	تاکسی	٪ تغییر
دی‌اکسید کربن (گرم بر کیلومتر)	۱۸۰	۲۰۸	۱۶	۱۵۰	۱۷۵	۱۷
مونواکسید کربن (گرم بر کیلومتر)	۵,۷۲۶	۱۸,۹۱۸	۲۳۰	۹,۸۶۱	۷,۷۱۲	-۲۲
هیدروکربن‌های نسوخته (گرم بر کیلومتر)	۰,۲۴۳	۰,۴۸۳	۹۹	۲,۵۴۷	۰,۶۷۹	-۷۳
اکسیدهای نیتروژن (گرم بر کیلومتر)	۰,۸۱۶	۱,۶۷۸	۱۰۶	۱,۴۰۸	۱,۷۲۲	۲۲
مصرف سوخت (لیتر در ۱۰۰ کیلومتر)	۷,۹	۹,۹	۲۴			
مصرف سوخت متر مکعب در ۱۰۰ کیلومتر {معادل مصرف بنزین-لیتر در ۱۰۰ کیلومتر}				۹,۶ {۱۰,۷}	۱۰,۶ {۱۱,۸}	۹

جدول ۴-۴. مقایسه انتشار سواری‌های شخصی و تاکسی، بر اساس سوخت مصرفی

	سواری			تاکسی		
	بنزین	گاز	٪ افزایش نسبت به بنزین	بنزین	گاز	٪ افزایش نسبت به بنزین
دی‌اکسید کربن (گرم بر کیلومتر)	۱۸۰	۱۵۰	-۱۷	۲۰۸	۱۷۵	-۱۶
مونواکسید کربن (گرم بر کیلومتر)	۵,۷۲۶	۹,۸۶۱	۷۲	۱۸,۹۱۸	۷,۷۱۲	-۵۹
هیدروکربن‌های نسوخته (گرم بر کیلومتر)	۰,۲۴۳	۲,۵۴۷	۹۴۷	۰,۴۸۳	۰,۶۷۹	۴۱
اکسیدهای نیتروژن (گرم بر کیلومتر)	۰,۸۱۶	۱,۴۰۸	۷۳	۱,۶۷۸	۱,۷۲۲	۳
مصرف سوخت معادل (لیتر در ۱۰۰ کیلومتر)	۷,۹	۱۰,۷	۳۵	۹,۹	۱۱,۸	۱۹

۴-۴ مقایسه نتایج آزمون‌های همراه و شاسی‌دینامومتر

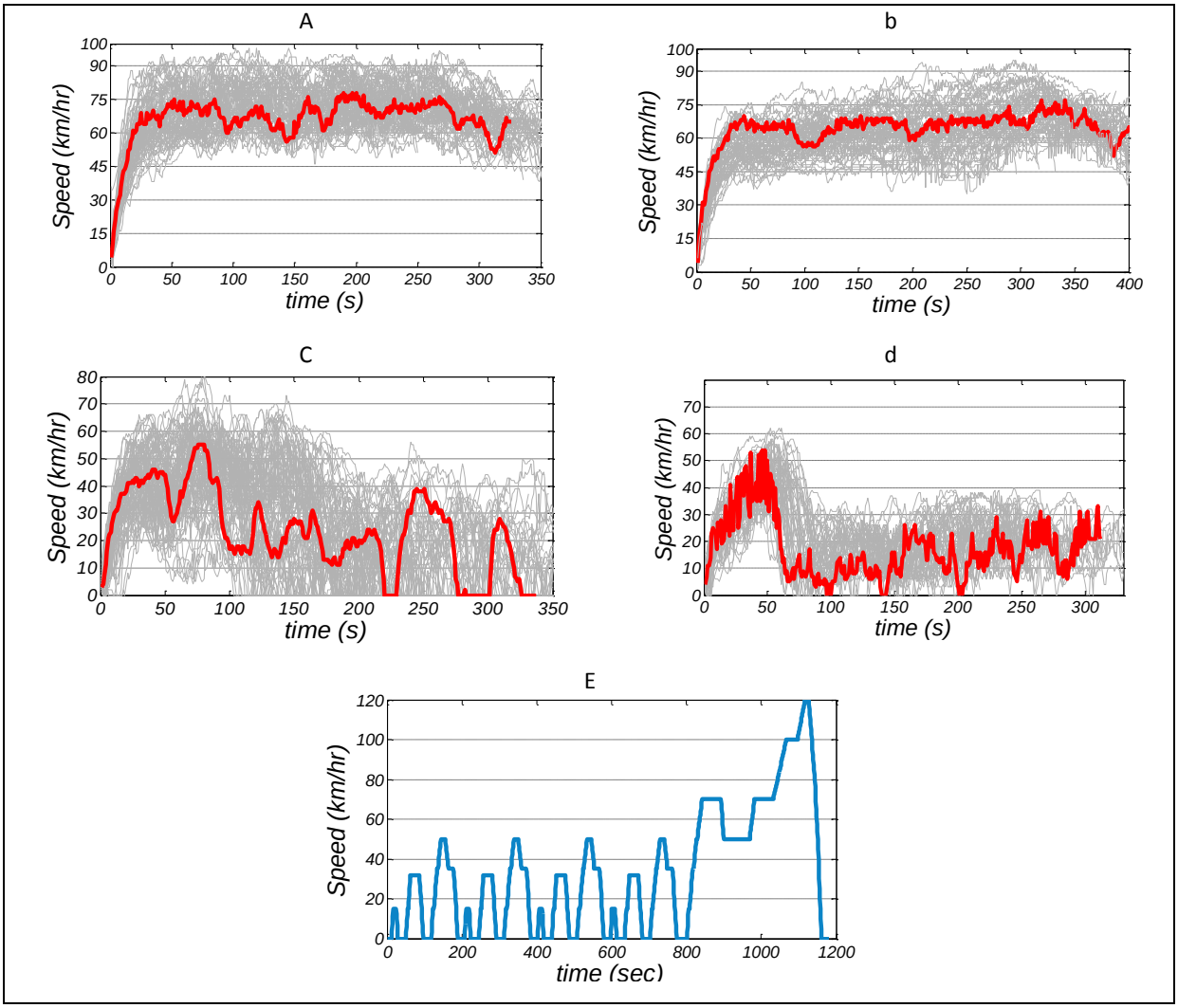
مصرف سوخت و آلایندگی ۱۸دستگاه از مجموعه خودروهای منتخب برای آزمون، با استفاده از هر دو روش همراه و شاسی‌دینامومتر اندازه‌گیری شده است. نسبت نتایج آزمون همراه به نتایج آزمون شاسی، برای هر کدام از این ۱۸ خودرو محاسبه شده؛ میانگین و انحراف معیار این نسبت‌ها در جدول ۴-۵ خلاصه شده است.

جدول ۴-۵: نسبت ضرایب انتشار و مصرف سوخت آزمون‌های همراه به شاسی‌دینامومتر (بر اساس نوع سوخت)

ناوگان		نسبت ضرایب انتشار همراه به شاسی				نسبت مصرف سوخت
		CO_2	CO	HC	NOx	
بنزینی	میانگین	**1.22**	**1.18**	**0.50**	**1.61**	**1.15**
	انحراف معیار	0.15	0.51	0.34	0.72	0.05
گازسوز	میانگین	**1.26**	**1.26**	**0.56**	**1.48**	**1.22**
	انحراف معیار	0.12	0.71	0.23	0.84	0.11

[1] درصد تغییر نسبت به سواری‌ها

مشاهده می‌شود که میانگین مصرف سوخت و انتشار آلایندگی در آزمون‌های همراه بیشتر از آزمون‌های شاسی‌دینامومتر است[1]. مهم‌ترین دلیل این امر مربوط به تفاوت قابل‌ملاحظه در سیکل رانندگی NEDC و نحوه رانندگی واقعی در تهران است. در شکل ۴-۴ کلیه سیکل‌های رانندگی تجربه شده در آزمون‌های همراه و سیکل استاندارد یورو۲ نشان داده شده است. خط قرمز دز نمودارها، نشان‌دهنده یکی از سیکل‌های مربوط به هر مسیر است.



شکل ۴-۴. سیکل‌های رانندگی تجربه شده در آزمون‌های همراه {(a) بزرگراهی بدون شیب. (b) بزرگراهی شیب‌دار. (c) شهری بدون شیب. (d) شهری شیب‌دار} و سیکل رانندگی NEDC (e)

[1] بجز هیدروکربن‌های نسوخته که آن هم مربوط به خطای اندازه‌گیری آنالیزور پرتابل مورد استفاده است.

نحوه رانندگی در تهران بسیار خشن[1]تر از سیکل استاندارد یورو۲ است. شتاب بالا و ترمزگیری های پیاپی، ویژگی مهم رانندگی در تهران است، که نمودی در سیکل رانندگی NEDC ندارد.

با توجه به عدم طراحی بهینه سامانه کنترل احتراق، همچنین محدودیت‌های مکانیکی در عملگر[2]های موتور (انژکتور، دریچه گاز و ...)، در شرایط بسیار متغیر[3] رانندگی (تغییرات سرعت سریع)، کنترل بهینه احتراق صورت نمی‌گیرد؛ و این یکی از دلایل افزایش مصرف سوخت و آلایندگی در آزمون‌های همراه نسبت به آزمون‌های شاسی‌دینامومتر است. از این‌رو استفاده از سیکل رانندگی NEDC به عنوان معیاری برای طراحی سامانه‌های کنترلی موتور، کاملاً غیر منطقی است. لذا ضروری است که برای ایجاد بستری مناسب برای طراحی موتور متناسب برای کارکرد در تهران (از منظر مصرف سوخت و آلایندگی)، سیکل رانندگی مربوطه (شهر تهران) تعیین گردد.

۴-۵ مدل ریاضی مصرف سوخت و انتشار آلایندگی سواری‌های سبک

با استفاده از داده‌های لحظه‌ای بدست آمده از آزمون‌های همراه، رابطه ریاضی مصرف سوخت و انتشار با سرعت خودرو بدست آمده است.

تابع مورد استفاده برای برازش منحنی بر داده‌های آزمون، به فرم

$$\text{Emission Factor / Fuel Consumption} = \frac{a + bV + cV^2 + dV^3}{V}$$

می‌باشد که ضرایب آن در جدول ۴-۶ تا جدول ۴-۹ به تفکیک برای سواری‌های شخصی و تاکسی (در کارکرد با بنزین یا گاز طبیعی) ارائه شده است. با استفاده از این توابع تخمین مصرف سوخت و انتشار آلایندگی سواری‌ها در هر سرعتی به سهولت امکان‌پذیر است. چنین ابزاری می‌تواند در ارزیابی راهکارهای کاهش مصرف سوخت و انتشار آلایندگی مفید واقع شوند[4].

[1] Aggressive
[2] Actuator
[3] Highly transient conditions
[4] مخصوصاً راه‌کارهای مبتنی بر تغییر در ترافیک (مثلاً ارزیابی میزان کاهش مصرف سوخت و آلایندگی بواسطه تعریض یک معبر)

جدول ۴-۶. توابع انتشار آلایندگی و مصرف سوخت برای سواری‌های شخصی با سوخت گاز طبیعی

	a	b	c	d	sse	rsquare	Dfe	adjrsquare	rmse
CO2	1670.36	138.7257	-1.6168	0.0125	307870.95	0.996	375	0.995	27.53
CO	14.24	4.9171	-0.1479	0.0015	1666.76	0.963	307	0.963	2.30
HC	4.97	0.9248	-0.0215	0.0001	15407.31	0.965	383	0.965	4.56
NOx	3.64	1.5391	-0.0221	0.0002	39.77	0.964	335	0.963	0.34
FC	101.51	6.2220	-0.0379	0.0003	1542.99	0.992	373	0.992	1.92

جدول ۴-۷. توابع انتشار آلایندگی و مصرف سوخت برای سواری‌های شخصی با سوخت بنزین

	a	b	c	d	sse	rsquare	Dfe	adjrsquare	rmse
CO2	1973.85	177.0689	-2.8540	0.0236	456533.69	0.999	1169	0.999	18.99
CO	52.44	2.5609	-0.0503	0.0007	1454.61	0.990	801	0.990	1.33
HC	1.65	0.2357	-0.0050	0.0001	133.69	0.995	1148	0.995	0.24
NOx	4.63	0.8662	-0.0202	0.0002	14.65	0.995	1063	0.995	0.12
FC	82.01	7.43	-0.11	0.0009	1796.78	0.999	1169	0.999	0.86

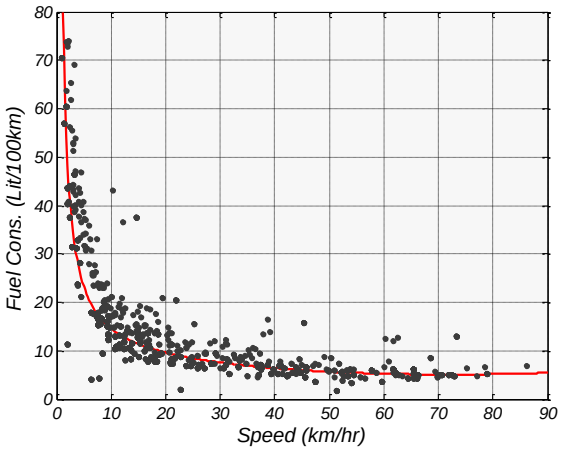
جدول ۴-۸. توابع انتشار آلایندگی و مصرف سوخت برای تاکسی‌ها با سوخت گاز طبیعی

	a	b	c	d	sse	rsquare	dfe	adjrsquare	rmse
CO2	2960.09	88.8199	-0.5946	0.0060	158763.02	0.999	657	0.999	14.94
CO	-0.14	18.4004	-0.6007	0.0058	1507.36	0.980	642	0.980	1.51
HC	5.25	1.5451	-0.0439	0.0004	56.95	0.991	642	0.991	0.22
NOx	9.44	0.6390	-0.0019	0.0001	161.31	0.984	655	0.984	0.50
FC	187.59	3.0163	0.0275	-0.0001	573.89	0.999	662	0.999	0.88

جدول ۴-۹. توابع انتشار آلایندگی و مصرف سوخت برای تاکسی‌ها با سوخت بنزین

	a	b	c	d	sse	rsquare	dfe	adjrsquare	rmse
CO2	1488.33	412.4178	-11.3840	0.1057	278430.87	0.994	378	0.994	26.08
CO	65.45	15.4197	-0.2314	0.0011	15369.43	0.964	362	0.963	6.44
HC	2.60	0.5656	-0.0117	0.0001	131.69	0.370	353	0.365	0.44
NOx	3.04	1.8371	-0.0348	0.0003	457.62	0.455	373	0.450	1.12
FC	84.50	14.54	-0.35	0.0031	888.90	0.996	378	0.996	1.06

به عنوان نمونه، تابع مصرف سوخت سواری‌های شخصی بنزینی در شکل ۴-۵ نمایش داده شده است.

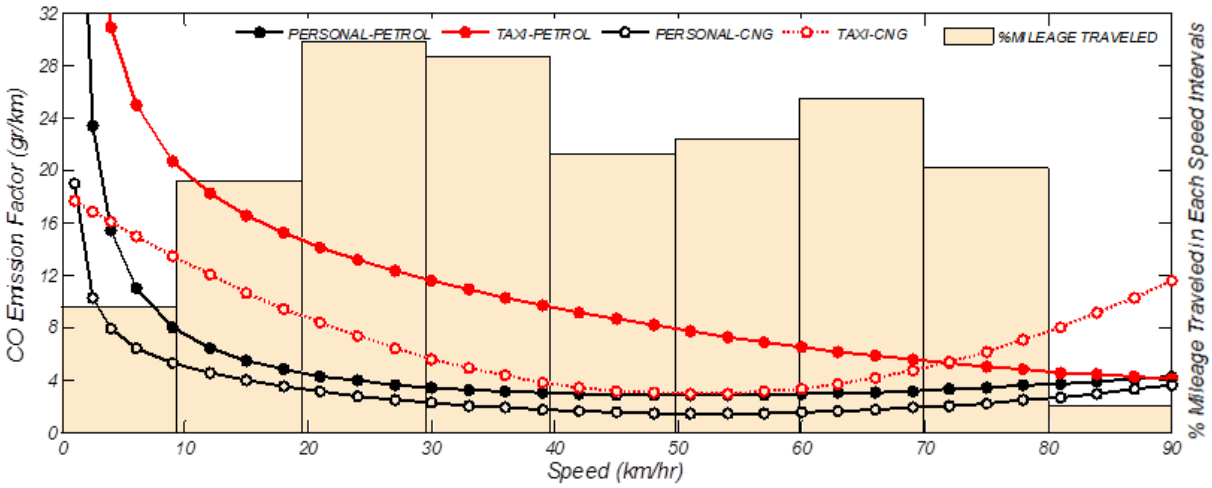


شکل ۴-۵. تابع مصرف سوخت سواری‌های شخصی بنزینی

نرخ انتشار آلایندگی و مصرف سوخت تغییرات شدیدی با سرعت خودرو دارد بگونه‌ای که در سرعت‌های کمتر از ۳۰ کیلومتر بر ساعت، افزایش چشمگیری یافته که بیانگر اهمیت راه‌حل‌های مبتنی بر ترافیک برای حل بحران آلودگی هوا و مصرف بی‌رویه سوخت است.

در شکل ۴-۶ توابع انتشار مونواکسید کربن، همچنین درصد پیمایش روزانه خودروهای تهران در هرکدام از بازه‌های سرعتی[۱] نمایش داده شده است. مشاهده می‌گردد که ۳۰درصد پیمایش خودروها در سرعت‌های کمتر از ۳۰ کیلومتر بر ساعت است که عموماً در مناطق پرجمعیت شهر تهران اتفاق افتاده و موجب آلودگی شدید و ایجاد نقاط بسیار آلوده در شهر می‌شود.

[۱] با استفاده از داده از داده‌های ترافیکی شهر تهران که از شرکت کنترل کیفیت هوا اخذ گردیده است.



شکل ۴-۶. نمایش توابع انتشار مونواکسید کربن (محور سمت چپ نمودار) و درصد پیمایش روزانه در بازه‌های سرعتی (محور سمت راست نمودار)

فصل پنجم:

تحلیل نتایج آزمون‌های موتورسیکلت

۵-۱ مصرف سوخت و انتشار آلایندگی موتورسیکلت‌های شهر تهران

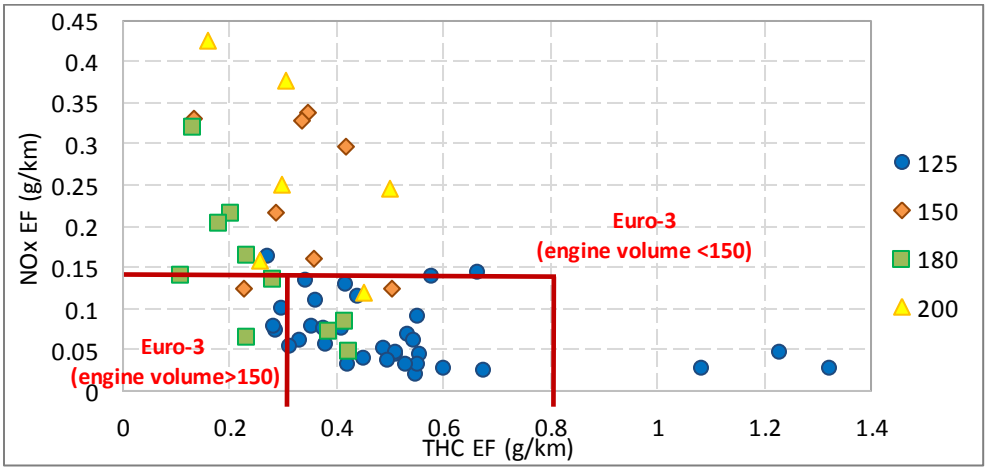
میانگین مصرف سوخت و انتشار آلایندگی کلیه آزمون‌های شاسی‌دینامومتر صورت گرفته در پروژه در جدول ۵-۱ خلاصه شده است.

جدول ۵-۱. میانگین مصرف سوخت و ضرایب انتشار آلاینده‌ها برای موتورسیکلت‌ها با حجم موتورهای مختلف و کل ناوگان موتورسیکلت‌های شهر تهران.

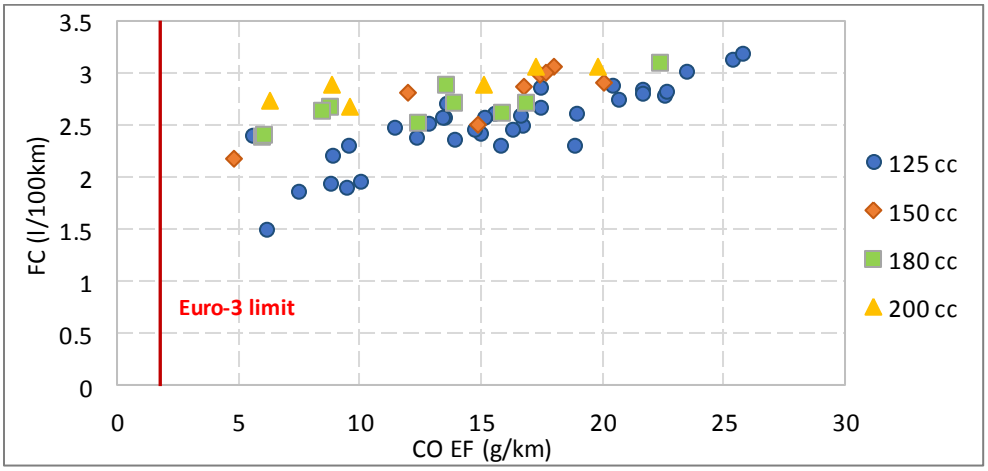
ضریب انتشار میانگین آلاینده	حجم موتور (cc)				ضریب انتشار کل ناوگان
	125	150	180	200	
CO_2 (g/km)	32.456	40.670	42.410	46.825	34.497
CO (g/km)	15.631	16.749	12.397	12.925	15.205
HC (g/km)	0.505	0.328	0.258	0.331	0.453
NOx (g/km)	0.074	0.240	0.127	0.263	0.114
FC (lit/100km)	**2.540**	**2.803**	**2.615**	**2.885**	**2.608**
% Contribution in real fleet	73.10	8.78	6.42	11.70	

۵-۲ مقایسه نتایج موتورسیکلت‌های کاربراتوری با حدود مجاز در استاندارد

نتایج کلیه آزمون‌های شاسی‌دینامومتر موتورسیکلت بهمراه حدود مجاز استاندارد در شکل ۵-۱ و شکل ۵-۲ مشاهده می‌شود. سطح انتشار مونواکسید کربن هیچ یک از موتورسیکلت‌های مورد آزمون در محدوده مجاز استاندارد قرار نگرفت. افزایش انتشار مونواکسید کربن و هیدروکربن‌های نسوخته و همچنین کاهش انتشار اکسیدهای نیتروژن، نشانگر احتراق مخلوط سوخت و هوای غنی و کاهش بازدهی احتراق است که باعث افزایش مصرف سوخت نیز شده است.



شکل ۵-۱ ضرایب انتشار اکسیدهای نیتروژن و هیدروکربن‌های نسوخته حاصل از آزمون‌های شاسی‌دینامومتر.

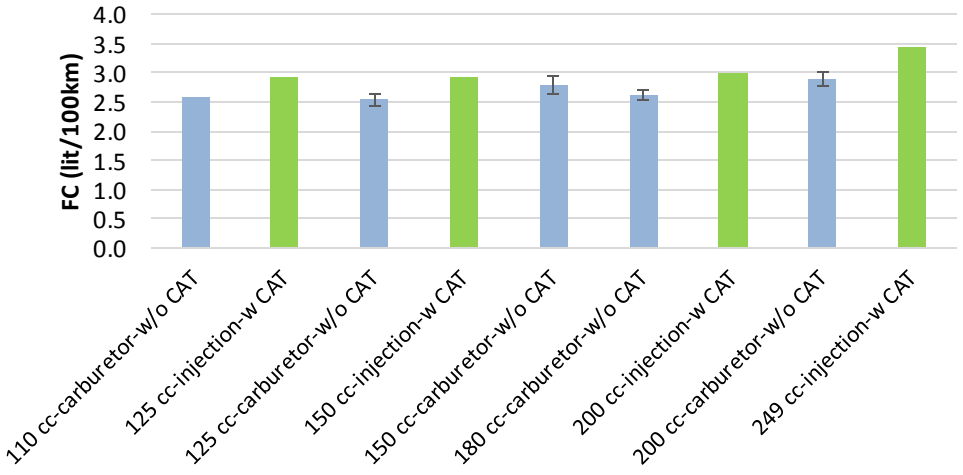


شکل ۵-۲ مصرف سوخت و ضریب انتشار مونوکسید کربن حاصل از آزمون‌های شاسی‌دینامومتر.

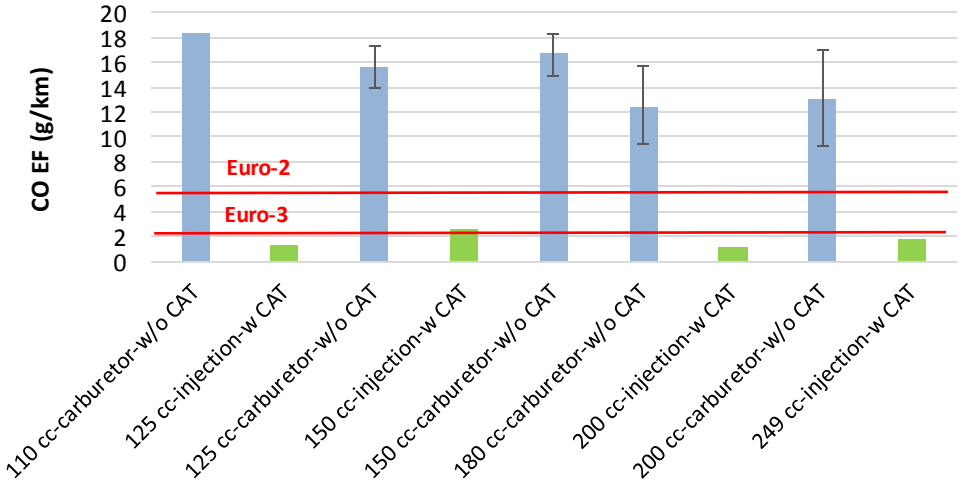
۵-۳ مقایسه مصرف سوخت و آلایندگی موتورسیکلت‌های کاربراتوری و انژکتوری

همانطور که پیشتر آورده شد، در این پروژه ۴ دستگاه موتورسیکلت انژکتوری مجهز به کاتالیست آزمون شده است. مصرف سوخت و ضرایب انتشار این موتورسیکلت‌ها در شکل ۵-۳ تا شکل ۵-۶ در کنار نتایج میانگین موتورسیکلت‌های کاربراتوری آورده شده است.

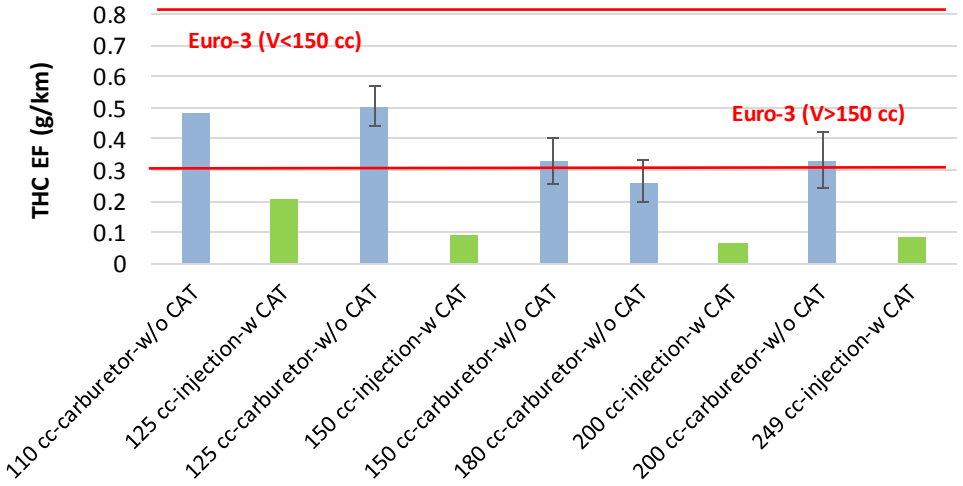
بهبود قابل‌ملاحظه در انتشار آلایندگی موتورسیکلت‌های انژکتوری کاملاً مشهود است؛ لیکن مصرف سوخت در حدود ۲۰ درصد از میانگین نتایج موتورسیکلت‌های کاربراتوری، بیشتر است. یکی از دلایل این افزایش، سنگین‌تر بودن موتورسیکلت‌های انژکتوری نسبت به نمونه‌های رایج کاربراتوری است.



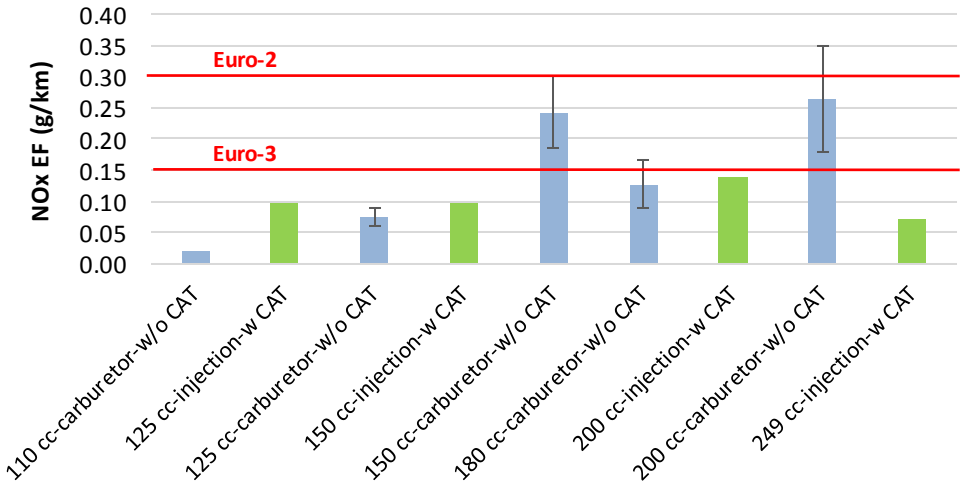
شکل ۵-۳ مقایسه مصرف سوخت موتورسیکلت‌های انژکتوری (مجهز به کاتالیست) و میانگین نتایج موتورسیکلت‌های کاربراتوری (بدون کاتالیست)



شکل ۵-۴ مقایسه انتشار مونواکسید کربن موتورسیکلت‌های انژکتوری (مجهز به کاتالیست) و میانگین نتایج موتورسیکلت‌های کاربراتوری (بدون کاتالیست)



شکل ۵-۵ مقایسه انتشار هیدروکربن‌های نسوخته موتورسیکلت‌های انژکتوری (مجهز به کاتالیست) و میانگین نتایج موتورسیکلت‌های کاربراتوری (بدون کاتالیست)

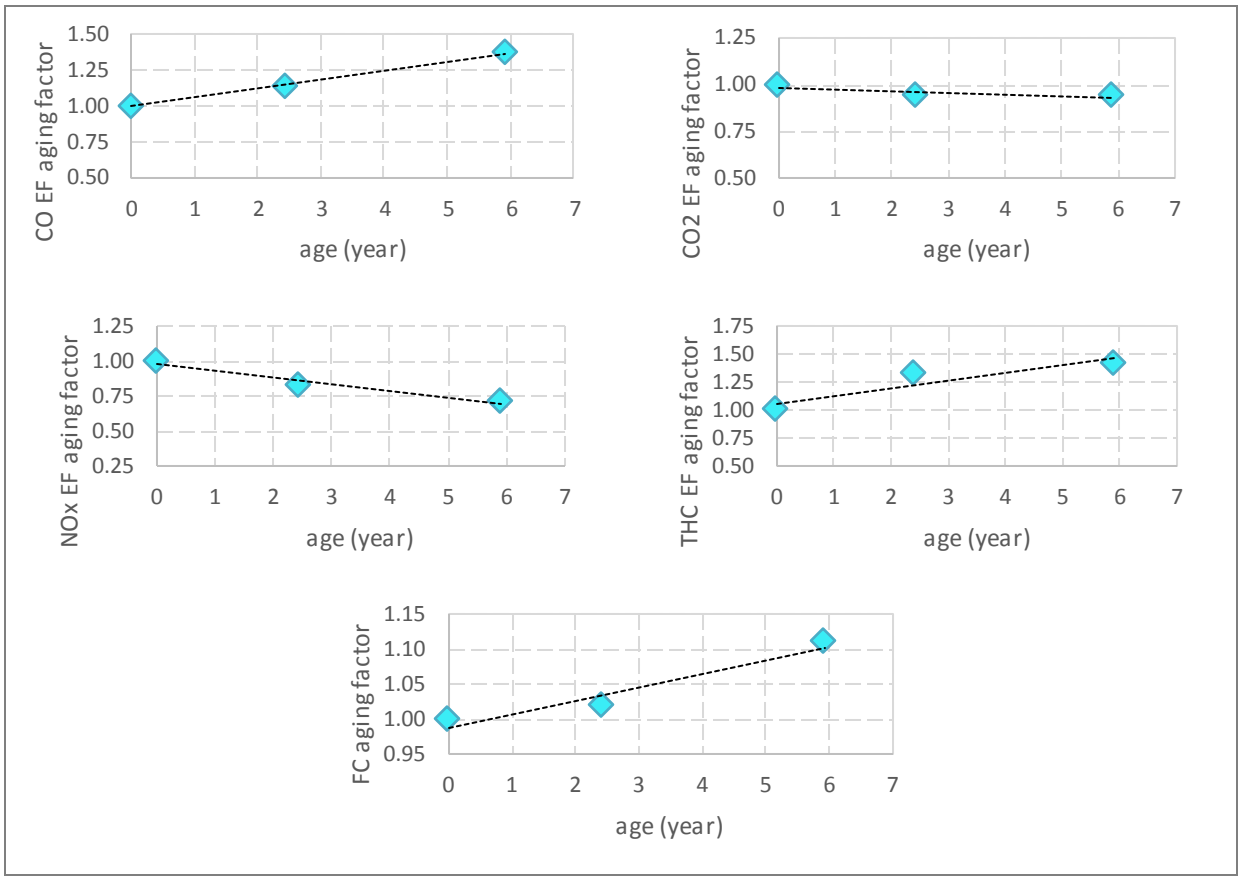


شکل ۵-۶ مقایسه انتشار اکسیدهای نیتروژن موتورسیکلت‌های انژکتوری (مجهز به کاتالیست) و میانگین نتایج موتورسیکلت‌های کاربراتوری (بدون کاتالیست)

۵-۴ ضریب تأثیر عمر بر مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها

با توجه به انجام ۳۴ آزمون بر موتورسیکلت‌های ۱۲۵ سی‌سی و همچنین توزیع سنی مناسب نمونه‌های انتخاب شده، اثر افزایش عمر بر مصرف سوخت و ضریب انتشار آلاینده‌های موتورسیکلت‌های ۱۲۵ سی‌سی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۵-۷ نشان داده شده است.

با گذشت هرسال از سن یک موتورسیکلت ۱۲۵ سی‌سی، به‌طور متوسط، ضریب انتشار مونوکسید کربن ۶ درصد، هیدروکربن‌های نسوخته ۷ درصد و مصرف سوخت ۲ درصد نسبت به موتورسیکلت نو افزایش می‌یابد. در مقابل ضریب انتشار اکسیدهای نیتروژن و دی‌اکسید کربن به ترتیب ۵ و ۱ درصد کاهش را نسبت به موتورسیکلت نو با افزایش یک سال عمر نشان می‌دهند. البته لازم به ذکر است که تعداد آزمون‌های برای بررسی اثر عمر کافی نبوده است و برای یافتن نتایج قابل‌اطمینان، به انجام تعداد بیشتری آزمون نیاز است.



شکل ۵-۷ ضریب تصحیح اثر سال تولید برای ضرایب انتشار و مصرف سوخت در موتورسیکلت‌های ۱۲۵ سی‌سی کاربراتوری و بدون کاتالیست.

۵-۵ مدل ریاضی مصرف سوخت و انتشار آلایندگی موتورسیکلت‌ها

با استفاده از داده‌های لحظه‌ای بدست آمده از آزمون‌های همراه، رابطه ریاضی مصرف سوخت و انتشار با سرعت خودرو بدست آمده است.

تابع مورد استفاده برای برازش منحنی بر داده‌های آزمون، به فرم

$$\text{Emission Factor / Fuel Consumption} = a.v^2 + b.v + c + \frac{d}{v}$$

می‌باشد که ضرایب آن در جدول ۵-۲ و جدول ۵-۳ ارائه شده است. با استفاده از این توابع تخمین مصرف سوخت و انتشار آلایندگی سواری‌ها در هر سرعتی به سهولت امکان‌پذیر است.

جدول ۵-۲ ضرایب مدل تخمین انتشار و مصرف سوخت در حالت گرم برای کل ناوگان موتورسیکلت‌های شهر تهران.

آلاینده	A	b	c	d
CO_2 (g/km)	0.007175	-0.0912	15.7	279.6
CO (g/km)	0	0.03124	6.634	141.5
HC (g/km)	0	0.000388	0.0816	6.595
NO_x (g/km)	7.98E-05	-2.48E-05	0.01889	0.2485
Fuel Consumption (l/100km)	7.05E-05	0.01648	0.7941	23.98

جدول ۵-۳ ضرایب مدل تخمین انتشار و مصرف سوخت در حالت استارت سرد برای کل ناوگان موتورسیکلت‌های شهر تهران.

آلاینده	a	b	c	d
CO_2 (g/km)	0	0.2861	11.4	398.6
CO (g/km)	0	0.02532	7.31	118.5
HC (g/km)	0	0	0.1911	5.372
NO_x (g/km)	0	2.49E-03	0.01703	0.5191
Fuel Consumption (l/100km)	0	0.002303	1.348	24.58