

بررسی کیفیت هوای داخلی یک پارکینگ طبقاتی

دکتر جلیل صحرایی^{۱*}، پریسا سهرابی پیردوستی^۲

^{۱*} - استادیار، عضو هیئت علمی گروه فیزیک دانشگاه رازی، کرمانشاه Sahraei@razi.ac.ir

^۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک اتمسفر، دانشگاه رازی، کرمانشاه

چکیده

انتشار گازهای خروجی ناشی از وسایل نقلیه اثرات زیان بار و طولانی مدت را بر سلامت انسان و محیط زیست دارد. آلودگی در طبقات مختلف پارکینگ از طریق راهرو ها و پله ها به قسمت های دیگر ساختمان منتقل می شود و برای ساکنان مشکلاتی ایجاد می کند. این مطالعه یک سیستم نظارت بر کیفیت هوا را نشان می دهد که میزان (PPb) ده گاز شامل گوگرد دی اکسید، نیتروژن دی اکسید، اکسید های نیتروژن، ازن، متان، هیدروژن، کربن مونو اکسید، آمونیاک، بنزن و الکل را اندازه گیری و محاسبه می کند. به علاوه انتشار ذرات معلق توسط یک دستگاه شمارنده ی ذرات در طبقات مختلف پارکینگ اندازه گیری شده است. از مقایسه ی داده ها مشخص شد که یک رابطه ی مستقیم بین خودروهای پارک شده در پارکینگ و غلظت آلاینده ها وجود دارد. چون وسایل نقلیه منبع آلاینده های مرسومه مانند کربن مونوکسید، اکسیدهای نیتروژن، هیدروکربن ها و مقدار قابل توجهی کربن دی اکسید هستند (CETESB 2013). همچنین در انتشار ذرات معلق قابل استنشاق (PM₁₀ و PM_{2.5}) مشارکت دارند. بنابراین غلظت آلاینده ها به نسبت تعداد وسایل نقلیه تغییر می کند.

کلمات کلیدی

"ذرات معلق"، "پارکینگ طبقاتی"، "آلاینده های گازی"، "آلودگی هوا"

Indoor air quality assessment in a multistorey Car Park

Dr. Jalil sahraei^{1*}, Parisa sohrabi pirdosti²

*1- Assistant Professor of physics department at razi university Email: Sahraei@razi.ac.ir

2-M.Sc.student of atmosphere physics, razi university

Abstract

Exhaust emissions resulting from the motor vehicles have harmful and long lasting effects on both the human health and environment. Pollution in different floors of parking through the corridors and stairs will be transferred to other parts of the building and will create problems for the residents. The present study proposes a air quality monitoring system which measures and calculates the ppb value of ten gases including SO₂, NO₂, NO_x, O₃, CH₄, H₂, CO, NH₃, Benzene, and Alcohol. Furthermore the particulate matter was measured through a particle counter instrument in parking different floors. The data collected has been compared. There is a direct relationship between the number of parked cars in the parking and the concentration of pollutants. Since Vehicle is the source of regulated pollutants majority of CO, NO_x and HC and contributes to the formation of inhalable particulate matter emissions (PM₁₀ and PM_{2.5}) as well as being most source of carbon dioxide (CO₂) (CETESB 2013). Therefore Concentration of pollutants varies with the number of vehicles.

Keywords

"particulate matter", " multi-storey car parks", "gaseous pollutants", "Air pollutants"

۱- مقدمه

کردن کربن منوکسید به میزان قابل قبول برای کنترل حد دیگر آلاینده ها هم کافی است (ASHRAE Handbook).

لازمه ی داشتن کیفیت هوای خوب داخلی در پارکینگ، ممانعت از افزایش غلظت کربن منوکسید در قسمت های مختلف پارکینگ بوده (Ued .S.EPA.2010) و بدین منظور باید از هواکش ها و دودکش هایی استفاده نمود که به ترتیب هوا را از دریچه های تامین هوا به داخل پارکینگ هدایت کرده و آلودگی را از دریچه های خروجی پارکینگ، خارج می کنند. در صورتی که دریچه های خروجی دارای کارایی مناسب نباشند، میزان غلظت آلاینده ها در کل فضای پارکینگ افزایش پیدا کرده و در نتیجه کیفیت هوای داخلی پارکینگ کاهش می یابد. علاوه بر این، دریچه های ورودی هم باید به گونه ای باشند که جریان هوای تمیز را در ارتفاع و سرعت مناسب به فضای داخلی پارکینگ هدایت کنند. عوامل دیگری همچون هندسه پارکینگ هم بر پخش آلودگی در فضای داخلی پارکینگ موثر هستند (امینان و همکاران، ۱۳۹۵).

پژوهش های محدودی در زمینه مطالعه پخش جریان آلودگی در پارکینگ انجام گرفته است. از جمله این پژوهش ها می توان به موارد زیر اشاره کرد.

هو و همکاران یک مطالعه تجربی را برای بدست آوردن رابطه بین الگوی ترافیکی و کربن منوکسید تولید شده انجام داده اند. آنها با استفاده از حجم ترافیک و زمان انتظار ماشین در پارکینگ، رابطه ای جهت پیش بینی میزان کربن منوکسید ارائه داده اند که می تواند به عنوان پایه ای جهت انتخاب میزان هوا تهویه مورد استفاده قرار گیرد (J. C. Ho, et al.2004). پاپاکونستانینو و همکاران شبیه سازی پخش جریان هوا را در یک پارکینگ کوچک در دو حالت بدون تهویه و با تهویه مکانیکی انجام داده اند. نتایج آنها بیانگر این است که با استفاده از تهویه مکانیکی، میزان آلودگی موجود در پارکینگ در حد مجاز توصیه شده توسط استاندارد ها قرار گرفته و بدون استفاده از تهویه مکانیکی، آلودگی موجود در پارکینگ از حد مجاز استاندارد ها فراتر می رود (K. Papakonstantinou, et al.2003). السافتی و ابوالعظم با استفاده از نرم افزار فلونتت شبیه سازی جریان آلودگی را در پارکینگ انجام داده و تاثیر ارتفاع خروجی بر تهویه در پارکینگ را بررسی کرده اند. نتایج حاصل از بررسی آنها بیانگر این است که نزدیک بودن خروجی ها به سقف باعث تخلیه بهتر آلودگی شده است (A. F. Elsafty, et al. 2009). آسیماکوپولو و

آلودگی هوا عبارت از تغییر در ویژگی های طبیعی جو بر اثر مواد شیمیایی، ذرات معلق یا عوامل زیست شناختی است که برای زندگی انسان، حیوان و گیاه خطرناک و موجب آسیب رساندن به اموال می شود. بنابراین هوای سالم به هوایی گفته می شود که برخی از ترکیبات شیمیایی آن مانند کربن دی اکسید در یک میزان معین باقی بماند، یک دسته از آلاینده های شیمیایی مانند کربن منوکسید و اکسید های نیتروژن و گوگرد ترجیحاً در آن ظاهر نگردد و یا درحداقل مقدار مجاز قرار گیرد و میزان ذرات معلق در آن از یک اندازه معین بیشتر نشود. همچنین وجود برخی از میکروارگانیسم های حاصل از خاک، آب، فعالیت های انسان (مانند تولید زباله و فاضلاب) و جانوران بیش از یک میزان معین در هوا خطرناک است. مقدار، مدت و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آلاینده ها در تاثیر آن بر سلامت انسان و محیط زیست موثر است (صحرائی، ۱۳۹۰).

یکی از انواع مهم آلودگی هوا، آلودگی هوا در محیط های بسته است (رضایی مفرد و همکاران، ۱۳۸۵). امروزه ثابت شده است که تاثیر آلودگی هوا در محیط های بسته مانند اماکن مسکونی و کاری بیش از آلودگی هوا در فضای شهری است، زیرا مردم زمان بیشتری را در این محیط ها سپری می کنند.

یکی از علل مهم آلودگی فضای داخلی، عدم جابجایی و ورود هوای بیرون به داخل است که باعث رقیق شدن آلاینده های پخش شده ناشی از منابع داخلی می شود. از طرفی بدون خروج و انتقال کامل هوای آلوده داخل به بیرون غلظت آلودگی شدت یافته و ماندگار می شود. مقدار رطوبت و دمای بالا نیز تاثیر گذار بوده و باعث تراکم آلاینده ها و افزایش آلودگی می گردد (اره جانی و همکاران، ۱۳۹۱).

پارکینگ های بسته از جمله فضاهایی هستند که مدیریت آلودگی در آن ها با اهمیت است. پارکینگ های بسته به دلیل حرکت و توقف ماشین های روشن در آن و گازهای خروجی از اگزوز، دارای مشکلاتی همچون تمرکز آلودگی و کمبود اکسیژن هستند. کربن منوکسید و اکسیدهای نیتروژن خطرناک ترین گازهای منتشرشده از ماشین می باشند که در مدت زمان کم می توانند اثرات خطرناکی بر افراد حاضر در پارکینگ داشته باشند. برای کاهش آلودگی در پارکینگ باید تجهیزات مورد استفاده در موقعیت بهینه قرار گرفته باشند. در حالت معمول نرخ تهویه لازم برای رقیق

با توجه به اینکه استان کرمانشاه یکی از استان های درگیر طوفان گرد و غبار است و کیفیت هوای خارج کیفیت هوای داخل را تحت تاثیر قرار می دهد و از طرفی پارکینگ های زیرزمینی در دسته محیط های بسته طبقه بندی می شوند، بنابراین در این پژوهش به بررسی تعداد ذرات معلق و آلاینده های گازی در طبقات مختلف پارکینگ پرداخته شده است.

در بررسی کیفیت هوای داخلی پارکینگ طبقاتی، تعداد ذرات معلق و آلاینده های گازی به وسیله ی دستگاه شمارنده ی ذرات و سامانه سنجش گازی در طبقه ی زیرین و همکف پارکینگ و همچنین طبقه ی اول ساختمان که نزدیک ترین محل سکونت به پارکینگ است، اندازه گیری صورت گرفته است. طبقات پارکینگ دارای شرایط متفاوتی نسبت به یکدیگر از نظر تهویه، تعداد خودروهای پارک شده و مساحت پارکینگ، می باشند.

۲-۲- معرفی دستگاه اندازه گیری

۲-۲-۱- شمارنده ذرات (particle counter) لایت

هاوس دستی

اندازه و قابلیت حمل شمارنده های ذرات دستی ۳۰۱۶ آن ها را به یک وسیله ی ایده آل برای بررسی کیفیت هوای داخلی و تعیین منابع آلوده کننده تبدیل کرده است. به علاوه این دستگاه برای کنترل و سنجش پاکیزگی هوا بسیار مفید است. این ابزار سبک وزن، شش کانال شمارش ذرات در محدوده ۰/۳ الی ۲۵ میکرومتر (در اندازه های ۰/۳، ۰/۵، ۱، ۵، ۱۰، ۲۵) را بطور همزمان اندازه گیری و در حافظه خود ذخیره می نماید همچنین قابلیت اندازه گیری و نمایش رطوبت نسبی و دمای محیط را نیز دارد. که این اطلاعات به آسانی توسط نرم افزار LMS XChang به کامپیوتر منتقل می شود. این وسیله می تواند ۳۰۰۰ گزارش را در حافظه ی خود ذخیره نماید. تمام اطلاعات مهم با استفاده از نرم افزار انتقال داده شمارنده ذرات به راحتی قابل دانلود شدن می باشند. دستگاه شمارنده ی ذرات معلق دستی لایت هاوس ۳۰۱۶ دارای یک صفحه نمایش اصلی است که یک تصویر لحظه ای از وضعیت دستگاه به کاربر ارائه می دهد. بخش نرم افزاری دستگاه دارای این قابلیت است که با رفتن به قسمت منوی آن بتوان مدت زمان اندازه گیری، تعداد دفعات اندازه گیری و زمان توقف بین دو اندازه گیری را به دلخواه تعیین کرد. با روشن کردن دستگاه با توجه به مدت زمانی که از قبل تعیین شده دستگاه شروع به اندازه

همکاران به بررسی توزیع آلودگی در یک گاراژ بسته پرداخته اند. آنها اندازه گیری میزان آلودگی را در گاراژ انجام داده و نتایج حاصل از این اندازه گیری را برای چند نقطه مختلف از گاراژ مقایسه کرده اند (E. Asimakopoulou, et al. 2009) و (E. K. Asimakopoulou, et al. 2013).

مطالعه پخش آلودگی در پارکینگ های زیرزمینی بسیار محدود بوده و موضوعات با اهمیتی همچون روش های افزایش کیفیت هوای داخلی در پارکینگ کمتر مورد مطالعه قرار گرفته و پژوهشی در این زمینه منتشر نشده است.

در این پژوهش به اندازه گیری ذرات معلق و آلاینده های گازی توسط دستگاه شمارنده ی ذرات و سامانه سنجش گازی در یک پارکینگ طبقاتی با مساحت $230 (m^2)$ ، در ۲ طبقه ی زیرین و همکف بترتیب با تعداد ۱۲ و ۶ خودرو، و همچنین به اندازه گیری آلاینده ها در طبقه ی اول ساختمان که نزدیک ترین محل به پارکینگ می باشد، بعمل آمده و کیفیت هوای محیط داخلی بررسی شده است.

با در نظر گرفتن عواملی مانند: موقعیت منطقه، تعداد خودروهای پارک شده، موقعیت پارکینگ با استفاده از دستگاه شمارنده ی ذرات و سامانه سنجش گازی، ذرات معلق و آلاینده های گازی موجود در محیط اندازه گیری شده است و با بیان راهکار هایی برای حذف و یا کاهش آنها، می توان محیطی پاک در منزل ایجاد نمود.

۲- روش تحقیق

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

در سال های اخیر تعداد خودروها به شدت افزایش یافته و متناسب با آن تقاضا برای استفاده از پارکینگ های زیرزمینی هم افزایش یافته است. امروزه پارکینگ های چندطبقه زیرزمینی در ساختمان های بزرگ همانند فروشگاه های زنجیره ای و مجتمع های تجاری ساخته شده است. با توجه به حضور افراد در پارکینگ های زیرزمینی، مدیریت آلودگی و بررسی کیفیت هوا در این مکان بسیار با اهمیت است. از طرفی آلودگی ایجاد شده در طبقات ها مختلف پارکینگ از طریق راهروها و راه پله ها به بخش های دیگر ساختمان راه یافته و مشکلات اساسی را ایجاد خواهد کرد.

گیری ذرات در محل مورد نظر کرده و با به اتمام رسیدن اندازه گیری، دستگاه برای مدتی متوقف و مجدداً اندازه گیری را شروع می کند. تا زمانی که چرخه ی تعریف شده برای آن به اتمام برسد.

۲-۲-۲- سامانه سنجش آلاینده گازی

سامانه سنجش آلاینده های گازی یک فناوری نوین دیجیتالی است، که برای اولین بار در دانشگاه رازی کرمانشاه توسط گروه فیزیک اتمسفر طراحی و ساخته شده است. این دستگاه از دو بخش نرم افزاری و سخت افزاری تشکیل شده است. در بخش سخت افزاری این سامانه برای دریافت اطلاعات از محیط سنسورها استفاده شده است و پس از تجزیه و تحلیل، سیستم مخابراتی اطلاعات را به بخش نرم افزاری که رابط کاربری می باشد انتقال می دهد. به کمک این سیستم سنجش امکاناتی بین قسمت نرم افزاری و سخت افزاری فراهم می شود که شامل موارد زیر می باشد.

- طراحی های سخت افزاری و نرم افزاری به صورتی انجام شده است که در بخش سخت افزار بیشترین هماهنگی با محیط محقق شده و در بخش نرم افزار بیشترین هماهنگی با کاربر صورت گرفته است تا راحتی در اجرا و کار با سیستم صورت پذیرد. اطلاع یافتن از میزان آلاینده های تولیدی از طریق کامپیوتر بیشترین رفاه را در بررسی و تحلیل این اطلاعات به کاربر می دهد.
- به کمک انواع سنسورها و میکروکنترلرها ماژول های ارتباطی برنامه کامپیوتری می توان اندازه گیری و ارسال و تحلیل این اطلاعات را به صورت همزمان انجام داد.
- این دستگاه بطور همزمان و لحظه ای میزان غلظت گاز (SO₂، NO₂، CO، NH₃، O₃، CH₄، NO_x، H₂، Ben، ALC) را در یک محیط اندازه گیری می کند. هنگام روشن شدن ابتدا ۲ دقیقه هوا را به داخل مکش می کند سپس غلظت گاز ها را به صورت لحظه ای بر روی صفحه ی نمایشگر نشان می دهد. بعد از مدتی غلظت گاز ها به یک مقدار تقریباً ثابتی خواهد رسید (سلیمی، ۱۳۹۶).

۳- اندازه گیری و تحلیل داده ها

اندازه گیری ذرات معلق در اندازه های ۰/۳، ۰/۵، ۱، ۵، ۱۰ و ۲۵ میکرومتر و آلاینده های گازی (SO₂، NO₂، CO، NH₃، O₃، CH₄، NO_x، H₂، Ben، ALC) در روز ۲۵ دی ماه ۱۳۹۷ در یک پارکینگ طبقاتی انجام گرفته است. نتایج مطالعات بر اساس اندازه گیری های صورت گرفته بر روی ذرات معلق در هر طبقه به شرح زیر بیان می شود.

۳-۱- طبقه زیرین

جدول ۱ تعداد ذرات معلق حاصل از اندازه گیری در پارکینگ زیرین را نشان می دهد.

جدول ۱- تعداد ذرات معلق در طبقه زیرین پارکینگ

اندازه ذرات (μm)	تعداد ذرات (m ³)
۰/۳	۷۴/۹۵۳/۱۸۴
۰/۵	۱۴/۳۸۸/۶۰۷
۱	۶/۷۷۳/۳۵۲
۵	۱۳۸/۴۳۳
۱۰	۱۸/۹۲۸
۲۵	۷۰

بر اساس جدول ۱ در طبقه ی زیرین پارکینگ ذرات با اندازه ی ۰/۳ میکرومتر با فراوانی (m³) ۷۴/۹۵۳/۱۸۴ در هر متر مکعب بیشتر از سایر ذرات با اندازه های دیگر بوده است. و به ترتیب ذرات با اندازه های ۰/۵، ۱، ۵، ۱۰ و ۲۵ میکرومتر تعداد (m³) ۱۴/۳۸۸/۶۰۷، ۶/۷۷۳/۳۵۲، ۱۳۸/۴۳۳، ۱۸/۹۲۸ و ۷۰ (m³) در هر متر مکعب را به خود اختصاص داده اند.

۳-۲- طبقه ی همکف

اطلاعات بدست آمده از اندازه گیری ذرات معلق در طبقه ی همکف پارکینگ بصورت جدول ۲ می باشد.

اندازه ذرات (μm)	تعداد ذرات (m^3)
۰/۳	۴۵/۰۴۱/۹۴۶
۰/۵	۷/۲۷۲/۲۴۳
۱	۵/۱۰۵/۱۰۹
۵	۱۱۰/۸۵۴
۱۰	۱۳/۷۰۱
۲۵	۰

جدول ۳- تعداد ذرات معلق در طبقه اول پارکینگ

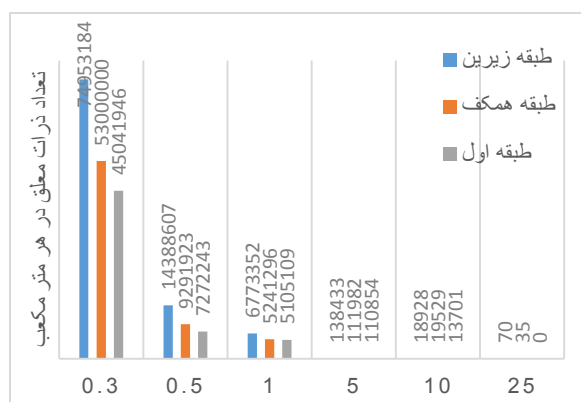
اندازه ذرات (μm)	تعداد ذرات (m^3)
۰/۳	۵۳/۰۰۰/۰۰۰
۰/۵	۹/۲۹۱/۹۲۳
۱	۵/۲۴۱/۲۹۶
۵	۱۱۱/۹۸۲
۱۰	۱۹/۵۲۹
۲۵	۳۵

جدول ۲- تعداد ذرات معلق در طبقه همکف پارکینگ

طبق اندازه گیری صورت گرفته در طبقه ی اول غلظت ذرات با اندازه ۰/۳، ۰/۵، ۱، ۵، ۱۰ و ۲۵ میکرومتر به ترتیب (m^3) ۴۵/۰۴۱/۹۴۶، (m^3) ۷/۲۷۲/۲۴۳، (m^3) ۵/۱۰۵/۱۰۹، (m^3) ۱۱۰/۸۵۴، (m^3) ۱۳/۷۰۱ و صفر در هر مترمکعب (m^3) بوده است. که ذرات با اندازه ی ۰/۳ میکرومتر بیشینه و ذرات با اندازه ۲۵ میکرومتر کمینه فراوانی را داشته اند.

۳-۴- مقایسه طبقات مختلف پارکینگ

در این بخش طبقات مختلف پارکینگ بر اساس تعداد ذرات معلق موجود در هر طبقه با یکدیگر مقایسه شده اند. شکل ۱ اختلاف تعداد ذرات معلق را اندازه های مختلف نشان می دهد.



شکل ۱- نمودار تعداد ذرات معلق در طبقات مختلف پارکینگ

بر اساس نمونه برداری در طبقه ی همکف پارکینگ که در جدول ۲ آورده شده، ذرات با اندازه ی ۰/۳ میکرومتر با فراوانی بیش از (m^3) ۵۳/۰۰۰/۰۰۰ در هر متر مکعب بیشینه غلظت را داشته و به ترتیب ذرات با اندازه های ۰/۵، ۱، ۵، ۱۰ و ۲۵ میکرومتر تعداد (m^3) ۹/۲۹۱/۹۲۳، (m^3) ۵/۲۴۱/۲۹۶، (m^3) ۱۱۱/۹۸۲، (m^3) ۱۹/۵۲۹ و (m^3) ۳۵ در هر متر مکعب را به خود اختصاص داده اند.

همانطور که در جداول ۱ و ۲ مشاهده می شود در محیط داخلی پارکینگ ذرات در اندازه ۲۵ میکرومتر توسط دستگاه شمارنده ی ذرات ثبت شده است. در حالی که این ذرات که "ذرات درشت" نامیده می شوند، عمدتاً از تجزیه ی ذرات بزرگتر ایجاد می شوند و شامل نمک های دریا، ذرات گرد و غبار ناشی از فرایندهای کشاورزی می باشند (کههراری، ۱۳۹۶). علت وجود این ذرات در محیط داخلی پارکینگ را می توان به انعقاد ذرات کوچکتر با یکدیگر نسبت داد و با به هم پیوستن ذرات ریزتر، ذرات در اندازه ۲۵ میکرومتر بوجود آمده است.

۳-۳- طبقه اول ساختمان

جدول ۳ داده های حاصل از اندازه گیری ذرات معلق در طبقه اول ساختمان را نشان می دهد.

جدول ۴- غلظت آلاینده های گازی در پارکینگ

گاز	میزان طبقه زیرین	میزان طبقه همکف	میزان طبقه اول
SO ₂ (ppb)	۲۰/۰۶۷	۱۸/۰۶۰۵	۱۷/۱۶۶
NO ₂ (ppb)	۲۸/۶۶	۲۶/۸۷	۲۵/۸۷
CO(ppm)	۴۰۷	۳۲۵/۶	۲۹۰/۲۵
NH ₃ (ppb)	۱/۹۵	۲/۲۸	۲/۱۱۵
O ₃ (ppb)	۸۷/۲۴	۵۰/۸۷	۴۱/۴۶
CH ₄ (ppb)	۲۷۶۷/۰۹	۲۱۳۱/۰۷۵	۱۸۰۲/۶۴
NO _x (ppb)	۱۴۲/۳۲	۱۲۹/۸	۱۱۹/۳
H ₂ (ppb)	۱۹۱/۸۷۵	۱۷۵/۴۱	۱۴۷/۷۱۵
Benzene(ppb)	۱۰	۸	۶/۵
Alcohol(ppb)	۸/۵	۶/۵	۵

۳-۵- بررسی منابع انتشار گازها و اثرات آن

با توجه به اینکه هر گاز منبع انتشار متفاوتی دارد، غلظت آن ها در محیط متفاوت خواهد بود. بنابراین به بررسی منابع و غلظت هر گاز در طبقات مختلف پرداخته می شود.

۳-۵-۱- گوگرد دی اکسید

گوگرد دی اکسید و گوگرد تری اکسید، اکسیدهای گازی غالب حاوی گوگرد موجود در اتمسفر می باشند. گوگرد دی اکسید گازی غیرقابل اشتعال، غیرقابل انفجار و بی رنگ می باشد که در غلظت های ppm ۳/۰ تا ppm ۱ در هوا ایجاد مزه می کند. در غلظت های بالای ppm ۳ این گاز دارای بوی تند و محرک می باشد. همچنین تخمین زده می شود که SO₂ به طور متوسط بین ۲ تا ۴ روز در هوا باقی بماند. بیش از ۸۰ درصد اکسیدهای گوگرد به دست بشر در جریان احتراق سوخت های فسیلی از منابع ثابت آلوده کننده تولید می شود. اکسیدهای گوگرد در ترکیب با مواد معلق و رطوبت زیانبارترین اثرات مرتبط با آلودگی هوای اتمسفری را ایجاد می کنند. تقریباً تمامی سوخت های فسیلی دارای گوگرد هستند که در جریان احتراق به صورت گوگرد دی اکسید وارد هوا می شود. تقریباً همه گوگرد دی اکسید انسان ساخت، ناشی از مصرف سوخت های فسیلی است. مقدار گوگرد در سوخت ها و فرآورده های نفتی با هم تفاوت دارد.

بر اساس شکل ۱ که با توجه به داده های بدست آمده در طبقات مختلف پارکینگ رسم شده است، می توان بیان کرد که در طبقه زیرین غلظت ذرات معلق در تمام اندازه ها بیشتر از سایر طبقات بوده است. که ناشی از تعداد خودروهای های پارک شده در این طبقه باشد. از طرفی سیستم تهویه و پنجره در این طبقه وجود ندارد و تنها یک راه پله که به طبقه بالایی راه دارد موجود است. در حالی که، طبقه ی همکف ۲ درب ورودی و خروجی دارد همچنین یک پنجره ی بزرگ که رو به حیاط و دارای فضای سبز بوده در این محل موجود می باشد. همچنین نیز تعداد خودروهای پارک شده در این طبقه همکف کمتر از طبقه ی زیرین بوده است. طبقه اول ساختمان که نزدیکترین طبقه به پارکینگ است محل نمونه برداری دیگر بوده است. طبق داده های بدست آمده موجود در شکل ۱، این محل نسبت به دو محل قبلی از آلاینده های کمتری برخوردار بوده است.

با توجه به اطلاعات بدست آمده مشاهده می شود که با رفتن به طبقات بالاتر تعداد ذرات معلق کاهش یافته است اما این کاهش برای تمام اندازه ها با یک نسبت نبوده است. بلکه غلظت ذرات با اندازه های بزرگتر به نسبت بیشتری کاهش یافته است. زیرا این ذرات به دلیل بزرگتر بودن آن ها و اثر نیروی گرانی قادر به رفتن به اطلاعات بالاتر نیستند. در حالیکه ذرات با اندازه ی کمتر می توانند خود را به ارتفاعات بالاتر انتقال دهند.

جدول ۴ نتایج حاصل از اندازه گیری آلاینده های گازی در طبقات مختلف پارکینگ را نشان می دهد.

بر اساس داده های حاصل از اندازه گیری آلاینده های گازی در جدول ۴، این آلاینده ها مطابق ذرات معلق، در طبقه زیرین پارکینگ بیشینه غلظت و در طبقه ی اول دارای کمینه غلظت بوده اند.

گیری، غلظت این گاز در محیط پارکینگ (ppb) ۲۸/۶۶ بوده است که این غلظت نسبت به حد مجاز تعیین شده مقداری بالاتر بوده است.

۳-۵-۳- آمونیاک

آمونیاک مهم‌ترین ترکیب هیدروژنه ی ازت است و در طبیعت از تجزیه ی مواد آلی ازت دار بدست می‌آید. آمونیاک گازی است بی رنگ، با مزه ی فوق العاده تند و زننده که اشک‌آور و خفه کننده است. گاز آمونیاک از هوا سبک تر بوده و به سهولت به مایع تبدیل می‌شود. آمونیاک در آب بسیار محلول بوده و در منفی ۷/۷۷ درجه ی سانتیگراد منجمد و در منفی ۳۴/۳۳ درجه ی سانتیگراد به جوش در می‌آید. وزن مخصوص محلول اشباع آمونیاک ۸۸/۰ گرم بر سانتیمتر مکعب است. گاز آمونیاک قابل افروزش و حدود اشتعالش ۱۶-۲۵ درصد حجمی گاز آمونیاک در هوا است. حضور مواد نفتی و دیگر مواد افروختنی خطر آتش گیری را افزایش می‌دهد. آمونیاک در اثر گرمای از ۴۰۰ درجه به بالا تجزیه شده و تولید هیدروژن می‌کند. آمونیاک سبب تحریکات دستگاه تنفسی، پوست و چشم شده و با آسیب رساندن به شش‌ها در اثر مواجهه با حجم زیاد این گاز می‌تواند سبب مرگ شود.

۳-۵-۴- ازن

گاز ازن (O₃) از ترکیب سه اتم اکسیژن ایجاد می شود و یک اکسیدکننده قوی است. ازن گازی تقریباً بی‌رنگ با بویی خاص شبیه بوی هوای تازه که در دمای معمولی به صورت گاز وجود دارد و چگالی آن ۱/۵ برابر اکسیژن در شرایط استاندارد است. ازن خوب از ورود اشعه ماوراء بنفش نور خورشید به زمین جلوگیری می‌کند و ازن در سطح زمین و یا ازن بد که به عنوان آلاینده از آن یاد می‌شود، جزو آلاینده های ثانویه است. این آلاینده به طور مستقیم در هوا منتشر نمی شود بلکه توسط واکنش‌های شیمیایی بین اکسیدهای نیتروژن (NO_x) و ترکیبات آلی فرار (VOCs) در حضور نور خورشید ایجاد می‌شود و به همین علت، میزان ازن در تابستان و در وسط روز بیش از سایر مواقع است. ازن هنگامی تشکیل می‌شود که آلاینده های منتشره از خودروها، نیروگاه

تنگ شدن راه‌های هوایی تنفس، اسپاسم برونشیت، سرفه شدید، سوزش چشم و مجاری تنفسی، کاهش کارایی تنفسی و تنگی نفس، کم شدن عمق تنفس و در نهایت تشدید عوارض قلبی و عروقی و تنفسی از اثرات بهداشتی متناسب به گوگرد دی‌اکسید به شمار می‌رود. (مرکز تحقیقاتی آلودگی هوا).

۳-۵-۲- اکسیدهای نیتروژن

هفت نوع اکسید نیتروژن در هوای آزاد حضور دارند که شامل اکسید نیتریک (NO)، نیتروژن دی‌اکسید (NO₂)، اکسید نیتروژن (NO₃)، (N₂O₅، N₂O₄، N₂O₃)، (N₂O) می‌شوند. اکسید نیتریک و نیتروژن دی‌اکسید جمعاً به NO_x معروف‌اند که این به دلیل قابلیت تبدیل متقابل این دو در واکنش‌های اسماگ فتوشیمیایی می‌باشد. در واقع NO₂ هم آلاینده اولیه است و هم ثانویه است. از اکسیدهای نیتروژن، NO₂ بالاترین غلظت را در هوای آزاد دارد. NO₂ به رنگ قرمز مایل به نارنجی نزدیک به قهوه‌ای و دارای نقطه جوش ۱/۲۱ درجه سانتیگراد و فشار جزئی کم است که آن را در حالت گازی نگه می‌دارد. این گاز خورنده، اکسیدان قوی و از نظر فیزیولوژیکی محرک مجاری تحتانی تنفسی و سمی است. سمیت آن چندین برابر NO است. مهم‌ترین منابع انسانی انتشار NO₂ فرآیندهای احتراق نظیر وسایط نقلیه، سیستم‌های گرمایش و نیروگاه‌ها می‌باشد. غلظت NO₂ در طول شبانه‌روز متغیر است. پخت و پز داخل اماکن با گاز طبیعی منبع عمده محیط بسته به شمار می‌رود. NO₂ منبع اصلی آئروسول‌های نیترات است که بخش مهمی از PM_{2.5} را تشکیل می‌دهند.

مطالعات متعددی از NO₂ به عنوان یک نشانگر برای آلاینده‌های مرتبط با احتراق به ویژه آنهایی که از منابع متحرک (ترافیک جاده‌ای) یا منابع ثابت (احتراق خانگی) منتشر می‌شوند استفاده نموده است.

مطالعات اپیدمیولوژی نشان داده‌اند که مواجهه با NO₂ با علائم برونشیت در کودکان آسمی و کاهش عملکرد ریه در ارتباط است. بر اساس دستورالعمل‌های کشور کانادا، حد مجاز غلظت NO₂ در مدت ۲۴ ساعت (ppb) ۱۱ می باشد. در صورتی که غلظت NO₂ فراتر رود این آلاینده بعنوان یک گاز سمی عمل می‌کند که سبب التهاب چشمگیری در مسیرهای هوایی می‌گردد (مرکز تحقیقاتی آلودگی هوا). با توجه به اطلاعات بدست آمده از اندازه

سازی بدن، ناتوانی در سیستم ایمنی بدن و همچنین سرطان خون، لوسمی، اختلال در سیستم تنفسی، تاخیر در استخوان بندی جنین انسان، صدمه به سیستم تولید مثل انسان، ناباروری، تولید تومورهای غدد لنفاوی و صدمه به کبد است. فعالیت های صنعتی عمده ترین منبع تولید بنزن در محیط زیست است. دود خروجی از آگروز اتومبیل ها، سوختن نفت و گاز و تبخیر بنزین در پمپ بنزین، سبب تولید بنزن در محیط های باز می شوند. همچنین منبع عمده تولید این آلاینده در محیط های بسته استعمال دخانیات می باشد (سلیمی، ۱۳۹۶).

تحقیقات نشان داده است که نمی توان هیچ حد غلظت بی خطری را برای بنزن تعیین نمود. سازمان بهداشت جهانی و برخی کشورها نظیر کانادا، در این زمینه به جای ارائه حد مجاز غلظت به معرفی انواع اقدامات حفاظتی برای کاهش هر چه بیشتر غلظت این آلاینده در محیط های داخلی پرداخته اند.

۳-۵-۷- کربن مونوکسید

کربن مونو اکسید گازی است بی رنگ و بی بو که حتی تراکم های بسیار کم نیز برای انسان و سایر جانوران خطرناک است. این گاز بیشتر بر اثر احتراق ناقص سوخت های فسیلی تولید می شود. هنگامی که در فرایند سوخت مواد آلی، اکسیژن حاضر جهت احتراق، کم باشد، این گاز تشکیل می شود. منبع نشت کربن مونو اکسید با افزایش تعداد وسایل نقلیه در مناطق شهری وسایل نقلیه موتوری هستند به طوری که میزان کربن مونو اکسید با افزایش تعداد وسایل نقلیه در مناطق مختلف شهر افزایش می یابد. طبق برآورد سازمان بهداشت جهانی مقدار تولید کربن مونو اکسید در جهان به طور تقریبی ۲۶۰۰ میلیون تن در سال برآورد گردیده است که ۶۰٪ این مقدار توسط فعالیت های انسانی تولید می شود. مواد موجود در خاک می تواند مقداری از این کربن مونو اکسید را جذب نموده و مقداری نیز در اثر فعل و انفعالات به کربن دی اکسید تبدیل می شود. در مناطق شهری غلظت گاز کربن دی مونو اکسید به بار ترافیکی وابسته بوده و با شرایط آب و هوایی مختلف نیز تغییر می کند. از منابع غیر شهری تولید کننده این گاز می توان سوزاندن پسمانده کشاورزی و آتش سوزی جنگل ها را نام برد. میل ترکیبی همگلوبین خون که عامل انتقال اکسیژن به بافت های بدن است با کربن مونو اکسید تقریباً ۲۰۰ برابر بیشتر از میل ترکیبی آن با اکسیژن است. از این رو وجود کربن مونو اکسید

ها، پالایشگاه ها، کارخانه های شیمیایی و سایر منابع در حضور نور خورشید واکنش شیمیایی انجام می دهند. نیمه عمر این آلاینده در ۲۰ درجه سانتیگراد حدود سه روز است. همچنین ازن از طریق دستگاه های تصفیه هوا (Air cleaners)، لامپ های UV، ماشین های فتوکپی و پرینترهای لیزری در محیط های بسته تولید و در هوا منتشر می شود. مواجهه با ازن سبب مشکلات تنفسی متعددی نظیر حمله های آسمی، کاهش عملکرد ریه و بیماری های ریوی می شود. حدود ۴۰ درصد ازن در بینی و حنجره جذب می شود و ۶۰ درصد آن به عمق ریه می رسد.

حد مجاز غلظت سالیانه ازن در محیط های داخلی وجود ندارد و بنابراین تنها حد مجاز برای ۸ ساعته ارائه شده است. حدود مجاز غلظت ازن در محیط های داخلی با توجه به دستورالعمل کشور کانادا (ppb) ۲۰ تعیین شده است. با مقایسه حد مجاز غلظت و غلظت اندازه گیری شده بیان میشود که میزان این گاز نیز در محیط داخلی بالاتر از حد مجاز بوده است.

۳-۵-۵- متان

متان یک گاز گلخانه ای است و به عنوان سوخت بکار می رود. متان (ساده ترین آلکان) ماده اصلی گاز طبیعی است و از تجزیه مواد گیاهی در نواحی مردابی تشکیل می شود. این گاز به خاطر توانایی جذب گرما به مقدار فراوان اثر گلخانه ای بیشتری نسبت به کربن دی اکسید دارد. اما به این خاطر که مقدار آن در هوا کره کمتر از کربن دی اکسید است، کربن دی اکسید را عامل اصلی اثر گلخانه ای می دانیم. یکی از تلاش هایی که پیرامون کنترل گرم شدن زمین می شود، تلاش برای کنترل متان که حاصل از فاضلاب ها، مرداب ها، مزارع شالیکاری و سوخت های فسیلی است. (سلیمی، ۱۳۹۶).

۳-۵-۶- بنزن

بنزن مایعی است بی رنگ، خوشبو و فرار که با شعله ی زرد رنگ همراه با دوده می سوزد و در تولید صنعتی گروهی از مواد مانند پلی استایرن، لاستیک مصنوعی و نایلون استفاده می شود. این مایع در تهیه شوینده ها و رنگ ها به کار می رود. بنزن سمی و سرطانزا است. تماس طولانی مدت با بنزن، تاثیرات مخربی را بر روی بافت های سازنده سلول های خون خصوصاً سلول های مغز استخوان می گذارد. عوارض تماس مزمن با بنزن، کاهش خون

۳-۵-۹- تحلیل داده ها

بر اساس داده های بدست آمده در جدول ۴، نیتروژن دی اکسید که منبع تولید آن خودروها است به دلیل خاموش بودن خودروها در زمان اندازه گیری تغییر روند نداشته و یا تغییر آن ناچیز بوده است. همچنین گاز آمونیاک که منابع انتشار آن بیان شد تغییر ناچیزی در طبقات مختلف داشته که می توان از آن چشم پوشی کرد.

مراکز صنعتی مانند پالایشگاه ها و نیروگاه ها منابع عمده تولید گاز گوگرد دی اکسید می باشند. بر اساس داده های بدست آمده از اندازه گیری در جدول ۴، این گاز در طبقات مختلف روند تغییرات یکسانی را داشته است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که خودروها منبع تولید این گاز نمی باشند.

بنزن و اتانول که منبع تولید آن ها ترافیک، دود خروجی از اگزوز خودرو، دخانیات و سوخت نفت و گاز بوده است مانند سایر گازها در طبقه ی زیرین بیشینه غلظت و در طبقه ی اول کمینه غلظت را به خود اختصاص داده اند.

از منابع انتشار متان نیز ترافیک شهری و سوخت های فسیلی می باشد. لازم بذکر است که در زیر پارکینگ یک موتورخانه وجود دارد بنابراین بر اثر کارکرد این موتورخانه گاز متان وارد محیط خواهد شد و بر غلظت این گاز تاثیر خواهد داشت. بر اساس داده ها موجود در جدول ۴ میزان گاز متان در طبقه زیرین بیشینه و در طبقات بالاتر کمینه بوده است و علت این امر را علاوه بر تعداد خودروها در پارکینگ، می توان به دور از شدن از منبع انتشار یعنی موتورخانه نسبت داد.

گاز ازن یک آلاینده ثانویه است که بر اثر واکنش های شیمیایی وارد جو می شود و از ترکیب گاز های آلی واکنش پذیر، اکسید نیتروژن و نور خورشید تولید می شود. از طرفی غلظت ازن وابسته به غلظت سایر آلاینده ها است. و همچنین غلظت آلاینده ها در محیط خارجی مجاور بر غلظت آلاینده در محیط داخلی تاثیر خواهد داشت. بنابراین تغییرات سایر گازها و میزان غلظت ازن در محیط خارجی، غلظت ازن در محیط داخلی تحت تاثیر قرار می دهد.

منبع تولید گاز هیدروژن ترافیک و سوخت نیست. زیرا تغییر قابل ملاحظه ای بین طبقه ی زیرین و همکف در داده ها مشاهده نمی شود. اما بطور کلی می توان تغییر این گاز را تحت تاثیر سایر آلاینده ها و محیط خارجی نسبت داد.

در هوای تنفسی قادر است مقادیر زیادی از هموگلوبین خون را به کربوکسی هموگلوبین که یک ترکیب پایدار است تبدیل کند و از مقدار هموگلوبین که اکسیژن را به بافت ها می رساند بکاهد و باعث اختلالات جزئی در برخی اعمال بدن، اثر بر سیستم اعصاب مرکزی، اختلال در تشخیص زمان، اشکالات بینایی، تغییر در اعمال قلب، تنفس، خستگی، خواب آلودگی، حالت کما و مرگ گردد(سلیمی، ۱۳۹۶). حدود مجاز گاز کربن مونوکسید در محیط های داخلی با توجه به دستورالعمل های سازمان بهداشت جهانی، مجاورت ۱ ساعته و ۲۴ ساعته غلظت ۳۵ و ۷ میلی گرم بر مترمکعب را در نظر گرفته است. همچنین کشور کانادا برای این مدت زمان مجاورت حد مجاز (ppm) ۲۵ و (ppm) ۱۰ را در نظر گرفته است (مصطفی زاده، ۱۳۹۵). با توجه به غلظت های حد مجاز تعیین شده و غلظت بدست آمده از اندازه گیری برای این گاز در محیط پارکینگ، بیان می شود که غلظت گاز کربن مونو کسید بسیار بالاتر از حد مجاز بوده است و با توجه به اثرات آن بر سلامتی این غلظت برای ساکنین بسیار خطرناک خواهد بود. در صورتی که میزان کربن مونو اکسید از ۷۵۰ppm تجاوز نماید سبب مرگ خواهد شد.

۳-۵-۸- الکل

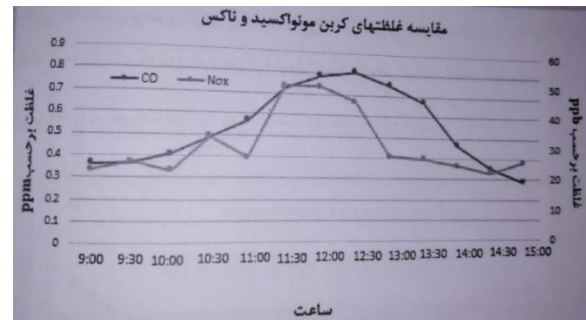
استفاه از الکل بعنوان سوخت موتورهای درون سوز، به تنهایی بصورت ترکیب با دیگر سوخت ها مورد توجه می باشد. دلیل آن هم فواید زیست محیطی و اقتصادی درازمدتی است که نسبت به سوخته های فسیلی دارد. متانول و اتانول از نفت خام و گاز طبیعی هم بدست می آیند، ولی در این میان اتانول از اهمیت بیشتری برخوردار می باشد، چرا که به عنوان یک منبع تجدید پذیر به آسانی و از مواد آلی همچون دانه های گیاهی ویا چغندر قند و هم بدست می آید. اتانول قابل اشتعال است و بسیار بهتر از سوخت های دیگر می سوزد. وقتی بصورت کامل بسوزد حاصل آن فقط آب و دی اکسید کربن است. بدلیل همین موضوع به لحاظ کاهش آلاینده های زیست محیطی مورد توجه بوده و سوخت مناسبی برای بخش حمل و نقل عمومی محسوب می شود. (مرکز تحقیقاتی آلودگی هوا).

- منبع انتشار ذرات در اندازه ۲۵ میکرومتر، نمک های دریا، تجزیه ی ذرات بزرگتر و ذرات گرد و غبار ناشی از فرایند های کشاورزی می باشد. ولی این ذرات در محیط پارکینگ یافت شده است. علت وجود این ذرات در محیط داخلی پارکینگ را می توان به انعقاد ذرات کوچکتر با یکدیگر نسبت داد. با به هم پیوستن ذرات ریزتر، ذرات در اندازه ۲۵ میکرومتر بوجود آمده است.
- طبقه ی زیرین پارکینگ بیشترین غلظت آلاینده ها داشته است و به سمت طبقات بالاتر شاهد کاهش غلظت ذرات بوده ایم.
- در طبقه زیرین غلظت ذرات معلق در تمام اندازه ها بیشتر از سایر طبقات بوده است. که ناشی از تعداد خودروهای های پارک شده در این طبقه می باشد. بنابراین تعداد خودرو های پارکینگ بر میزان آلودگی آن تاثیر داشته است.
- سیستم تهویه و پنجره در میزان آلودگی پارکینگ اثر مستقیمی داشته است. سیستم تهویه و پنجره در طبقه زیرین وجود ندارد و تنها یک راه پله که به طبقه بالایی راه دارد موجود است. در حالی که، طبقه ی همکف ۲ درب ورودی و خروجی دارد همچنین یک پنجره ی بزرگ که رو به حیاط و دارای فضای سبز بوده در این محل موجود می باشد.
- با رفتن به طبقات بالاتر تعداد ذرات معلق کاهش یافته است اما این کاهش برای تمام اندازه ها با یک نسبت نبوده است. بلکه غلظت ذرات با اندازه های بزرگتر به نسبت بیشتری کاهش یافته است. زیرا این ذرات به دلیل بزرگتر بودن آن ها و اثر نیروی گرانی قادر به رفتن به طبقات بالاتر نیستند. در حالیکه ذرات با اندازه ی کمتر می توانند خود را به ارتفاعات بالاتر انتقال دهند.
- آلاینده های گازی مطابق ذرات معلق، در طبقه زیرین پارکینگ بیشینه غلظت و در طبقه ی اول دارای کمینه غلظت بوده اند.

با توجه به اینکه منبع اصلی تولید گاز های کربن مونوکسید و اکسیدهای نیتروژن خودروها می باشند (سلیمی، ۱۳۹۶)، بنابراین تغییرات این گازها بیشتر از سایر آلاینده های گازی بوده است و غلظت آن ها در طبقه ی زیرین بیشترین مقدار بوده است.

تمام آلاینده های هوا به جز کربن مونوکسید بر روی دستگاه تنفسی اثر گذاشته و موجب افزایش علائم ریوی در بیماران و یا دیگر اثرات مضر بر سلامت می شوند. اگر چه کربن مونوکسید بر فعالیت دستگاه تنفسی اثر آشکاری نمی گذارد ولی بر دیگر اعضای بدن اثرات زیان آوری دارد، بطور مثال کربن مونوکسید بر دستگاه قلبی عروقی اثر گذاشته و موجب افزایش مرگ و میر بیماران قلبی عروقی می گردد.

طبق تحقیقات انجام شده توسط لاله سلیمی در سال ۱۳۹۶ در مکان های مختلف شهر کرمانشاه، همانطور که در شکل ۴-۱۴ نشان داده شده است، در مکان های پرتردد شهری کربن مونوکسید و اکسیدهای نیتروژن دارای تغییرات سازگار بوده و با یکدیگر همبستگی مثبت دارند یعنی در ساعات صبح میزان کربن مونوکسید و اکسیدهای نیتروژن تا اواسط بعد از ظهر روند افزایش داشته و سپس کاهش یافته اند (سلیمی، ۱۳۹۶).



شکل ۲ - نمودار مقایسه غلظت کربن مونوکسید و اکسید نیتروژن

۴- نتیجه گیری

اندازه گیری ذرات معلق و آلاینده های گازی توسط دستگاه شمارنده ی ذرات و سامانه سنجش گازی در یک پارکینگ طبقاتی با مساحت (m^2) ۲۳۰، در ۲ طبقه ی زیرین و همکف بترتیب با تعداد ۱۲ و ۶ خودرو، و همچنین طبقه ی اول ساختمان که نزدیک ترین محل به پارکینگ می باشد، نتایج زیر را به دنبال داشت.

- ذرات معلق در اندازه 0.3 میکرومتر بیشینه ی ذرات با اندازه ۲۵ میکرومتر کمینه غلظت را داشته اند.

- با توجه به اینکه منبع اصلی تولید گاز های کربن مونوکسید و اکسیدهای نیتروژن خودروها می باشند، بنابراین تغییرات این گازها بیشتر از سایر آلاینده های گازی بوده است و غلظت آن ها در طبقه ی زیرین بیشترین مقدار بوده است.
 - مراکز صنعتی مانند پالایشگاه ها و نیروگاه ها منابع عمده تولید گاز گوگرد دی اکسید می باشند. بر اساس داده های بدست آمده از اندازه گیری ، این گاز در طبقات مختلف روند تغییرات یکسانی را داشته است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که خودروها منبع تولید این گاز نمی باشند.
 - بنزن و اتانول که منبع تولید آن ها ترافیک، دود خروجی از آگزوز خودرو، دخانیات و سوخت نفت و گاز بوده است مانند سایر گازها در طبقه ی زیرین بیشینه غلظت و در طبقه ی اول کمینه غلظت را به خود اختصاص داده اند.
 - از منابع انتشار متان نیز ترافیک شهری و سوخت های فسیلی می باشد. این گاز نیز در طبقه ی زیرین به دلیل تعداد خودروی بیشتر غلظت بالاتری را نسبت به طبقه ی همکف و اول دارد.
 - گاز ازن یک آلاینده ثانویه است که بر اثر واکنش های شیمیایی وارد جو می شود و از ترکیب گاز های آلی و واکنش پذیر، اکسید نیتروژن و نور خورشید تولید می شود. از طرفی غلظت ازن وابسته به غلظت سایر آلاینده ها است. و همچنین غلظت آلاینده ها در محیط خارجی مجاور بر غلظت آلاینده در محیط داخلی تاثیر خواهد داشت. بنابراین تغییرات سایرگازها و میزان غلظت ازن در محیط خارجی، غلظت ازن در محیط داخلی تحت تاثیر قرار می دهد.
 - منبع تولید گاز هیدروژن ترافیک و سوخت نیست. زیرا تغییر قابل ملاحظه ای بین طبقه ی زیرین و همکف در داده ها مشاهده نمی شود. اما بطور کلی تغییر روند این گاز تحت تاثیر سایر آلاینده ها، مطابق بقیه بوده است.
- نیتروژن دی اکسید که منبع تولید آن ترافیک است به دلیل خاموش بودن خودروها در زمان اندازه گیری تغییر روند نداشته و یا تغییر آن ناچیز بوده است.
 - گاز آمونیاک که منابع انتشار آن بیان شد تغییر ناچیزی در طبقات مختلف داشته که می توان از آن چشم پوشی کرد.

منابع

- اره جانی، مریم / کاه فروشان، داود / فاتحی فر، اسماعیل / آلودگی هوا در محیط های بسته و راهکارهای کاهش آن / همایش ملی جریان و آلودگی هوا دانشگاه تهران / آبان ۱۳۹۱ / ص ۱-۲.
- امنیان، جواد و همکاران، مرداد ۱۳۹۵، بررسی اثر موقعیت درجه های خروجی آلودگی بر کاهش آلاینده در پارکینگ های بسته، مجله مهندسی مکانیک مدرس، دوره ۱۶، شماره ۵، ص ص ۷۰-۸۰.
- پژوهشکده ی محیط زیست- مرکز تحقیقات آلودگی هوا. (ier.tums.ac.ir).
- رضایی مفرد، محمدرضا/ اثرات آلودگی هوا در محیط های بسته و روش های کنترل آن/ نهمین همایش ملی بهداشت محیط/ دانشگاه علوم پزشکی اصفهان/ ۱۳۸۵.
- سلیمی، لاله، ۱۳۹۶، بررسی و اندازه گیری آلاینده های جوی در شهر کرمانشاه، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، رازی کرمانشاه، کرمانشاه.
- صحرایی، جلیل / آلودگی هوا(کلیات آلاینده های هوا و هواشناسی آلودگی هوا) /کرمانشاه، دانشگاه رازی، ۱۳۹۰ / صص ۱-۱۵-۱۶-۱۷-۳۳.
- کهراری، پرینا / ۱۳۹۶ / مطالعه ی ذرات معلق در هوای محیط های سرپوشیده و خارج از آن /پایان نامه ی کارشناسی ارشد/ رازی کرمانشاه /کرمانشاه.
- مصطفی زاده، علی و ساوالانیور، حمیدرضا/ مطالعه و ارزیابی کیفیت هوای محیط های داخل/ دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده ی مهندسی مکانیک/ شهریور ۹۵/ شرکت کنترل کیفیت هوا شهرداری تهران.

- <https://www.golighthouse.com/en/airborne-particle-counters/handheld>
- ASHRAE Handbook, HVAC APPLications(SI), chapter 15,2011.
- Ued .S.EPA.2010, Final Assessment: Integrated Science Assessment for carbon monoxide, U.S Environmental Protection Agency (EPA), 2010.
- J. C. Ho, H. Xue, K. L. Tay, A field study on determination of carbon monoxide level and thermal environment in an underground car park, Building and Environment, Vol. 39, No. 1, pp. 67-75, 2004.
- K. Papakonstantinou, A. Chaloulakou, A. Duci, N. Vlachakis, N. Markatos, Air quality in an underground garage: computational and experimental investigation of ventilation effectiveness, Energy and Buildings, Vol. 35, No. 9, pp. 933-940, 2003.
- A. F. Elsafty, Abo Elazm, M. M. , Improving air quality in enclosed parking facilities using ventilation system design with the aid of CFD simulation, International Review of Mechanical Engineering, Vol. 3, No. 6, pp. 796- 807, 2009.
- E. Asimakopoulou, D. I. KOLAITIS, M. A. FOUNTI, CO dispersion in a car-repair shop: An experimental and CFD modelling study, Proceeding of the Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries. Melbourne, Australia, 2009.
- CETESB (2013) Plano de Controle de Poluic, a~o Veicular do Estado de Sa~o Paulo 2011/2013. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Sa~o Paulo