

تعیین میزان دی‌اکسید نیتروژن در هوا با استفاده از روش نمونه‌برداری غیر فعال و مقایسه با روش‌های دستگاهی

سعیده تشریفی^{۱*}، علیرضا دهاقین^۱، حسن کاظمی^۱

حسین تقدیسیان^۱، ترانه جعفری بیهانی^۱

۱- مربی پژوهشگاه صنعت نفت، واحد پژوهش آلودگی محیط

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۴/۰۶/۱۴، تاریخ تصویب: ۱۳۸۵/۰۷/۱۹)

چکیده

استفاده از صفحات جاذب جهت سنجش آلاینده‌های محیطی به روش نمونه‌برداری غیر فعال به دلیل هزینه نسبتاً پایین و کارایی مناسب همواره مورد توجه بوده و مزایای زیادی دارد. در این تحقیق ساخت و ارزیابی نوعی نمونه‌بردار غیر فعال جهت سنجش دی‌اکسید نیتروژن در هوای محیط انجام پذیرفته است. نمونه‌بردارهای ساخته شده در دوره‌های زمانی ۱ تا ۴ هفته‌ای در معرض هوای محیط قرار داده شد. همزمان با سنجش به روش غیر فعال از روش دستگاهی نیز جهت ارزیابی کارایی صفحات جاذب استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که علاوه بر تکرارپذیری، هماهنگی قابل قبولی بین نتایج حاصله از دو روش مذکور وجود دارد. همچنین مشخص شد برای نمونه‌بردارهای مذکور دوره زمانی مناسب نمونه‌برداری، یک هفته است.

کلید واژه

دی‌اکسید نیتروژن، نمونه‌برداری غیر فعال، آلودگی هوا.

سر آغاز

امروزه اهمیت اندازه‌گیری و پایش آلاینده‌های هوا بر هیچ کس پوشیده نیست. در بسیاری از شهرها، رشد روزافزون جمعیت و فرآیند صنعتی شدن باعث انتشار و پراکنش آلاینده‌های گوناگون در اتمسفر شده به گونه‌ای که در بعضی موارد غلظت این مواد از حد مجاز فراتر رفته و پیامد آن، به ویژه در شهرهای بزرگ، ایجاد شرایط حاد برای زندگی و سلامت انسان‌ها است. از سوی دیگر پدیده‌هایی مانند وارونگی هوا و دودمه فتوشیمیایی این مشکل را حادتر کرده و باعث آسیب‌های جدی بر فرآیندهای زیستی موجودات زنده شده است. برای کاهش صدمات وارده و همچنین ارائه راهکار برای تصفیه و یا حذف آلاینده‌ها می‌بایست آنها را اندازه‌گیری کرد به طور کلی جهت سنجش آلاینده‌های هوا مواردی از قبیل نوع آلاینده، روش نمونه‌برداری و سنجش مناسب، تجهیزات مورد نیاز، هزینه، مدت زمان، دقت و صحت نتایج به دست آمده و نحوه ارزیابی آنها می‌بایست مدنظر قرار گیرد.

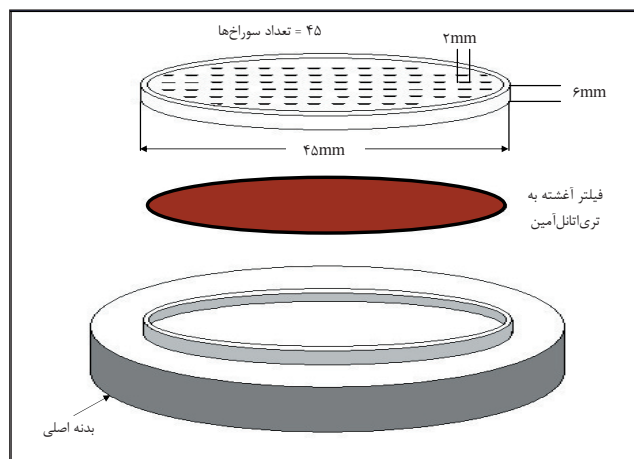
انواع روش‌های نمونه‌برداری

به طور کلی روش‌های نمونه‌برداری را می‌توان به سه گروه نمونه‌برداری پیوسته^۱، نمونه‌برداری مقطعی کوتاه مدت^۲ و نمونه‌برداری جامع زمانی^۳ طبقه‌بندی کرد که در زیر شرح داده می‌شود. روش‌های سنجش را هم می‌توان براساس نوع نمونه‌برداری دسته‌بندی کرد.

۱- نمونه‌برداری و سنجش پیوسته

در این روش، نمونه‌برداری به صورت پیوسته صورت می‌گیرد. مزایای استفاده از نمونه‌برداری و سنجش پیوسته، که در آن غلظت آلاینده‌ها به صورت لحظه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد، آن است که هرگونه تغییر ناگهانی در غلظت آلاینده قابل ثبت بوده و همچنین میانگین غلظت آلاینده‌ها برای هر محدوده زمانی دلخواه قابل محاسبه است. از سوی دیگر علاوه بر گران‌قیمت بودن تجهیزات و دستگاه‌های مورد استفاده در روش مذکور، راه‌اندازی و استفاده از این دستگاه‌ها به نیروی ماهر و متخصص و همچنین انرژی الکتریکی نیاز دارد که ممکن است همیشه در دسترس نباشد. حساسیت به شرایط محیطی مانند دما و رطوبت از دیگر محدودیت‌های این روش است. مجموع این عوامل موجب می‌شود تا در این نوع نمونه‌برداری و سنجش، دستگاه‌ها در یک محل ثابت مستقر و آماده نمونه‌برداری شوند. بنابراین در صورتی که قرار باشد مکان‌های متعددی برای مدتی طولانی از نظر میزان آلودگی مورد ارزیابی قرار گیرد مستلزم صرف هزینه‌های زیادی خواهد بود.

یکی از روش‌های اندازه‌گیری پیوسته اکسیدهای نیتروژن در هوا، استفاده از دستگاه سنجش اکسیدهای نیتروژن^۴، مطابق با استاندارد (ASTM-D3824) می‌باشد. در این روش، نمونه هوا پس از ورود به دستگاه به دو جریان تقسیم می‌شود. جریان اول بدون تغییر باقی



شکل شماره ۱- نمایی از نمونه‌گیر طراحی شده در پژوهشگاه صنعت نفت

از آنجایی که در این تحقیق هدف اصلی اندازه‌گیری دی‌اکسید نیتروژن با استفاده از روش نمونه‌برداری غیر فعال بوده است لذا مطالب مفصل‌تری در مورد اصول این نوع نمونه‌برداری ارائه می‌شود.

اصول نمونه‌برداری غیر فعال

فرآیند اصلی در نمونه‌برداری غیر فعال عبور آلاینده در مسیری معین (به عنوان مثال نفوذ از یک غشاء^۹ و یا سوراخی با ابعاد مشخص^{۱۰} و جذب آن بر روی جاذبی مناسب است. پس از مدت زمانی مشخص، جاذب مورد نظر به آزمایشگاه منتقل و میزان آلاینده جذب شده بر روی آن به صورت کمی تعیین می‌شود. سپس با توجه به نوع نمونه‌بردار، مدت زمان در معرض بودن نمونه و برخی فاکتورهای محیطی دیگر میزان آلاینده سنجیده شده به غلظت آن در هوا ارتباط داده می‌شود. اجزاء تشکیل‌دهنده نمونه‌بردار غیر فعال عبارت است از بدنه اصلی، مسیر نفوذ و ماده جاذب. در (شکل شماره ۱) نمونه‌بردار مورد استفاده در این تحقیق نشان داده شده است. نحوه عملکرد و محاسبات مربوطه در زیر شرح داده می‌شود.

به طور کلی هرگاه در محلولی غلظت اجزاء در نقاط مختلف یکسان نباشد، نفوذ مولکولی موجب تغییرات تدریجی در غلظت اجزاء شده و در نهایت، غلظت تمام اجزاء در تمام نقاط محیط یکنواخت می‌شود. براساس قانون اول فیک^{۱۱} شدت نفوذ مولکولی در هر نقطه متناسب با غلظت آن جزء در آن نقطه می‌باشد. بر این اساس شدت نفوذ مولکولی معمولاً برحسب شار مولی (تعداد مول‌های انتقال یافته به ازای واحد زمان در واحد سطح) بیان می‌شود (Treybal, 1980).

$$J_A = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial x} \quad (۱)$$

در این رابطه J شار مولی گاز (gmol/cm².s) و D_{AB} ضریب نفوذ (cm²/s) جزء A در جزء B، و $(\partial C_A / \partial x)$ گرادیان تغییرات غلظت در

می‌ماند اما جریان دوم از روی یک مبدل کاتالیستی^۵ عبور می‌کند تا دی‌اکسید نیتروژن موجود در آن به اکسید نیتریک تبدیل شود. سپس هر یک از این جریان‌ها به طور مجزا و متناوب به محفظه واکنش هدایت شده و پس از واکنش با گاز ازن، اکسید نیتریک موجود در هر یک از جریان‌ها به NO₂* (حالت برانگیخته) تبدیل می‌شود. در تبدیل NO₂* به NO₂ (حالت پایه) مقداری انرژی آزاد می‌شود که شدت آن متناسب با غلظت دی‌اکسید نیتروژن خواهد بود. بدین ترتیب جریان اول میزان اکسید نیتریک و جریان دوم میزان اکسیدهای نیتروژن (NO+NO₂) نمونه را نشان می‌دهد. پس از تفاضل غلظت اکسید نیتریک از اکسیدهای نیتروژن، میزان غلظت دی‌اکسید نیتروژن موجود در نمونه محاسبه شود.

۲- نمونه‌برداری و سنجش مقطعی

در این روش حجم معینی از هوا توسط پمپ‌های مخصوص به داخل یک محفظه، مانند کیسه هوا یا لوله‌های حاوی ماده جاذب، کشیده شده و به این ترتیب نمونه‌های متفرقه در فواصل زمانی معین جمع‌آوری و مورد آنالیز قرار می‌گیرند. در صورتی که ارزیابی تغییرات ناگهانی غلظت آلاینده مدنظر باشد باید به صورت متوالی نمونه‌های مقطعی کوتاه مدت تهیه و مورد سنجش قرار گیرد (USEPA, 1980).

۳- نمونه‌برداری و سنجش جامع زمانی

در این روش در مدت زمان معین، میانگین غلظت آلاینده مورد نظر اندازه‌گیری می‌شود. نمونه‌برداری در این روش به صورت فعال^۶ و غیر فعال^۷ انجام می‌پذیرد (Committee on Indoor Pollutant, 1981). نمونه‌برداری غیر فعال روشی کم هزینه و نسبتاً آسان بوده و عمدتاً جهت بررسی آلودگی زمینه^۸، که در آن روند تغییرات غلظت ملایم و افزایش ناگهانی غلظت بندرت پیش می‌آید، کاربرد دارد. نتایج به دست آمده از این روش به صورت میانگین هفتگی یا مدت زمان‌های طولانی‌تر از یک هفته گزارش می‌شود. در نمونه‌برداری فعال حجم مشخصی از هوا جهت تعیین غلظت آلاینده به داخل دستگاه وارد و پس از آنالیز مقدار آلاینده مشخص می‌شود. در این روش مدت زمان نمونه‌برداری بسته به غلظت آلاینده می‌تواند از چند دقیقه تا چندین ساعت ادامه یابد. نتایج این نمونه‌برداری به صورت میانگین غلظت آلاینده در طی مدت زمان نمونه‌برداری گزارش می‌شود. از مزایای نمونه‌برداری جامع زمانی نسبت به نمونه‌برداری پیوسته، کم هزینه بودن و قابلیت اندازه‌گیری غلظت‌های پایین در آن می‌باشد. از معایب این روش عدم اطلاع از تغییرات لحظه‌ای غلظت در طول مدت نمونه‌برداری است. همچنین در برخی موارد انتقال نمونه به آزمایشگاه جهت سنجش، نیازمند روش خاص یا محیطی مناسب است که کار را مشکل‌تر می‌سازد.

و با راندمانی قابل قبول جهت جذب دی‌اکسید نیتروژن است (Palms, 1976; Blaker, 1973).

دو نوع بستر جهت افزودن تری‌اتانل‌آمین بر روی آن در نظر گرفته شد. نوع اول فیلتری از جنس استات سلولز و نوع دوم از فیلتری با نام تجاری واتمن^{۱۲} که فیلتر اول پس از قرار گرفتن در معرض هوای محیط تغییر رنگ داده و نتایج سنجش با این نوع فیلتر نشان داد که ثبات و کارایی لازم را نخواهد داشت ولی نتایج سنجش با فیلتر دوم (واتمن) قابل قبول بود. بنابراین تمام بستری‌های جذب از فیلتر واتمن انتخاب شد. در مرحله ساخت ابتدا فیلترها به قطر ۴/۵ سانتیمتر بریده و جهت حذف ناخالصی‌های احتمالی در آب مقطر جوشانده، سپس در خلاء خشک و در محلول تری‌اتانل‌آمین غوطه‌ور می‌شود. پس از جذب شدن تری‌اتانل‌آمین بر روی فیلتر، فیلتر از محلول خارج و تحت خلاء خشک می‌شود. بدین ترتیب تری‌اتانل‌آمین که حالت روغنی داشته و در دمای محیط فشار بخار بسیار پایینی دارد بر روی بستر جذب قرار می‌گیرد. در نهایت، بستر جذب در داخل نمونه‌بردار قرار داده شده و آماده نصب در محل مورد نظر می‌شود. به این ترتیب تعدادی نمونه‌بردار ساخته شد و جهت ارزیابی کارایی آنها در محوطه پژوهشگاه صنعت نفت مورد آزمایش قرار گرفت.

به منظور بررسی تأثیر مدت زمان نمونه‌برداری بر روی کارایی نمونه‌بردارها زمان نصب و برداشت نمونه‌ها به گونه‌ای تنظیم شد که امکان بررسی تأثیر مدت زمان نمونه‌برداری میسر شود بر این اساس نمونه‌بردارها در محل‌های مخصوص و در دوره‌های زمانی یک، دو، سه و چهار هفته‌ای (به صورت دوتایی)، جهت بررسی تکرارپذیری آزمایش‌ها، نصب شده و در پایان دوره مربوطه با نمونه‌های جدید جایگزین شد. نمونه‌های جمع‌آوری شده پس از انتقال به فاز آبی به روش جاکویز - هوکایزر^{۱۳} مورد سنجش قرار گرفت. کل مدت نمونه‌برداری ۱۸ هفته و در مجموع ۳۷ نمونه دوتایی در دوره‌های زمانی مختلف در معرض هوای محیط قرار داده شد. در کل مدت نمونه‌برداری دمای متوسط ۲۳ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی متوسط نیز برابر ۴۵ درصد بود. نتایج حاصل از سنجش‌های به عمل آمده توسط نمونه‌بردارهای غیر فعال و روش دستگاهی در جدول شماره ۱ خلاصه شده است.

در زیر نمونه‌ای از محاسبات تبدیل نتایج سنجش دی‌اکسید نیتروژن با روش غیر فعال ارائه می‌شود: نتیجه حاصل از سنجش در هفته دوم که معادل $6/9 \mu\text{g NO}_2/\text{plate}$ بوده است را در نظر می‌گیریم (جدول شماره ۱).

با استفاده از رابطه فیک غلظت دی‌اکسید نیتروژن در محیط (C_2)

راستای نفوذ است. همانگونه که در رابطه بالا مشاهده می‌شود چنانچه ضریب نفوذ جزء A در B و همچنین گرادیان تغییرات غلظت در راستای نفوذ معلوم باشد، مقدار شارمولی جزء A قابل محاسبه خواهد بود. برعکس چنانچه بتوان به نوعی مقدار شارمولی (J_A) را اندازه‌گیری کرده و ضریب نفوذ (D_{AB}) نیز معلوم باشد، آنگاه می‌توان گرادیان غلظت در این تحقیق نیز از این خاصیت استفاده شده است.

با قرار دادن صفحه نمونه‌برداری در محیط مورد نظر، با توجه به اینکه غلظت آلاینده بر روی سطح جاذب تقریباً صفر است فرآیند نفوذ از محیط به سمت جاذب و از مسیر معین (شکل شماره ۱) شروع می‌شود. شدت نفوذ به میزان غلظت آلاینده در محیط، ضریب نفوذ ملکولی آلاینده در هوا و طول مسیر نفوذ بستگی دارد. آلاینده مورد نظر پس از طی مسیر نفوذ بلافاصله به روی جاذب جذب شده و در نتیجه جریان نفوذ ادامه می‌یابد. همچنین رطوبت محیط و سرعت باد می‌تواند به روی پدیده نفوذ و نهایتاً میزان جذب آلاینده بروی جاذب تأثیرگذار باشد (Palms, 1976).

با فرض خطی بودن تغییرات غلظت در طول مسیر نفوذ در معادله فیک، ($\partial C_A / \partial x$) را می‌توان به صورت ($\Delta C / \Delta x$) بازنویسی کرد که در آن (Δx) طول مسیر نفوذ و (ΔC) تفاوت غلظت آلاینده در محیط (C_2) و غلظت در مجاورت سطح جاذب (C_1) خواهد بود. در صورتی که فرض کنیم غلظت در مجاورت سطح جاذب صفر باشد، ($\Delta C = C_2 - C_1$) به غلظت آلاینده در محیط تبدیل خواهد شد. تعیین میزان آلاینده جذب شده بر روی جاذب در مدت زمان مشخص منجر به محاسبه شارمولی (J) در رابطه فیک خواهد شد که بر این اساس امکان محاسبه غلظت آلاینده در محیط با استفاده از رابطه فیک وجود دارد. جهت اطمینان از صحت و دقت نتایج به دست آمده با روش فوق در این تحقیق همزمان با سنجش دی‌اکسید نیتروژن به روش نمونه‌برداری غیر فعال از روش سنجش پیوسته به صورت دستگاهی نیز استفاده شده است.

روش کار

هدف اصلی در این تحقیق ساخت و ارزیابی یک نمونه‌بردار غیر فعال جهت سنجش دی‌اکسید نیتروژن بوده است بنا بر این در مرحله اول بدنه اصلی نمونه‌بردار مذکور طراحی و ساخته شد (شکل شماره ۱). این نوع نمونه‌بردار به گونه‌ای انتخاب شد که علاوه بر سادگی ظاهری بتوان قانون فیک (نوع نفوذی) را جهت محاسبات غلظت به کار برد (Palms, 1976). مرحله بعدی انتخاب جاذب و بستر مناسب جذب بود. بررسی منابع مختلف مشخص کرد تری‌اتانل‌آمین جاذبی بسیار مناسب

$$\begin{aligned} (\Delta x) &= 0.6 \text{ cm} \text{ (طول مسیر نفوذ)} \\ &= 1.41 \text{ cm}^2 \text{ سطح کل در معرض (سطح کل سوراخ‌ها در نمونه‌بردار)} \\ &= 0.152 \text{ cm}^2\text{s}^{-1} \text{ ضریب نفوذ } NO_2 \text{ در هوا در دمای } 23 \text{ درجه سانتیگراد (D}_{NO_2\text{-air}}) \\ &= 55440.0 \text{ s (۶ روز و ۱۰ ساعت)} \text{ کل مدت نمونه‌برداری به ثانیه} \\ &= 8.83 \times 10^{-6} \mu\text{g NO}_2/\text{cm}^2\text{s} \text{ شارمولی متوسط (J) در مدت زمان نمونه‌برداری} \end{aligned}$$

جدول شماره ۱- نتایج سنجش دی‌اکسید نیتروژن به روش غیر فعال و دستگاهی

| میکروگرم NO ₂ در یک صفحه نمونه‌بردار | | | | | | | | غلظت (ppm) | | شماره هفته |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|----------------------------|
| چهار هفته‌ای | | سه هفته‌ای | | دو هفته‌ای | | یک هفته‌ای | | روش غیر فعال | روش دستگاهی | |
| نمونه‌بردار ۲ | نمونه‌بردار ۱ | نمونه‌بردار ۲ | نمونه‌بردار ۱ | نمونه‌بردار ۲ | نمونه‌بردار ۱ | نمونه‌بردار ۲ | نمونه‌بردار ۱ | | | |
| ۱۸/۷ | ۲۰/۲ | ۱۷/۰ | ۱۶/۰ | ۹/۸ | ۹/۸ | ۷/۱ | ۷/۵ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۳۰ | ۱ |
| | | | | | | ۶/۹ | ۶/۹ | ۰/۰۲۱ | ۰/۰۲۰ | ۲ |
| | | | | ۱۰/۲ | ۱۰/۹ | ۸/۹ | ۸/۵ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۱ | ۳ |
| | | | | | | ۴/۹ | ۵/۹ | ۰/۰۱۵ | ۰/۰۱۷ | ۴ |
| ۱۵/۱ | ۱۳/۸ | ۱۲/۱ | ۱۶/۶ | ۹/۶ | ۹/۶ | ۱۲/۶ | ۱۳/۷ | ۰/۰۳۶ | ۰/۰۳۳ | ۵ |
| | | | | | | ۱۲/۲ | ۱۱/۲ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۴۰ | ۶ |
| | | ۳۲/۰ | ۳۱/۳ | ۱۶/۱ | ۱۵/۴ | ۸/۴ | ۱۲/۶ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۳۳ | ۷ |
| | | | | | | ۲۱/۰ | ۱۷/۵ | ۰/۰۵۳ | ۰/۰۴۰ | ۸ |
| ۱۹/۶ | ۱۹/۸ | ۳۸/۹ | ۳۹/۸ | ۲۳/۵ | ۲۱/۵ | ۱۴/۷ | ۱۶/۸ | ۰/۰۴۴ | ۰/۰۴۵ | ۹ |
| | | | | | | ۱۲/۴ | ۱۱/۰ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۲۹ | ۱۰ |
| | | | | ۲۸/۰ | ۲۹/۴ | ۲۸/۰ | ۲۴/۵ | ۰/۰۷۲ | ۰/۰۶۰ | ۱۱ |
| | | | | | | ۱۲/۶ | ۱۴/۰ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۴ | ۱۲ |
| ۸۴/۸ | ۸۵/۴ | ۳۹/۹ | ۴۲/۰ | ۳۳/۶ | ۳۱/۵ | ۱۶/۳ | ۱۶/۱ | ۰/۰۴۵ | ۰/۰۵۰ | ۱۳ |
| | | | | | | ۲۰/۳ | ۲۱/۰ | ۰/۰۵۷ | ۰/۰۵۰ | ۱۴ |
| | | | | ۲۲/۸ | ۲۲/۹ | ۱۲/۱ | ۱۲/۸ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۳۰ | ۱۵ |
| | | | | | | ۱۴/۷ | ۱۴/۲ | ۰/۰۴۰ | ۰/۰۳۶ | ۱۶ |
| ----- | | ۴۱/۵ | ۴۰/۸ | ۴۱/۴ | ۴۲/۲ | ۲۲/۹ | ۲۴/۲ | ۰/۰۶۵ | ۰/۰۷۰ | ۱۷ |
| | | | | | | ۱۹/۸ | ۱۹/۰ | ۰/۰۵۴ | ۰/۰۶۰ | ۱۸ |
| ۳۴/۶ | ۳۴/۸ | ۳۰/۲ | ۳۱/۱ | ۲۱/۷ | ۲۱/۵ | ۱۴/۲ | ۱۴/۳ | ۰/۰۴۰ | ۰/۰۳۹ | متوسط |
| ۱۳۸/۲ | ۱۳۹/۲ | ۱۸۱/۴ | ۱۸۶/۵ | ۱۹۵/۰ | ۱۹۳/۲ | ۲۵۵/۸ | ۲۵۷/۴ | ----- | ----- | کل NO ₂ جذب شده |

میلیون خواهد بود.

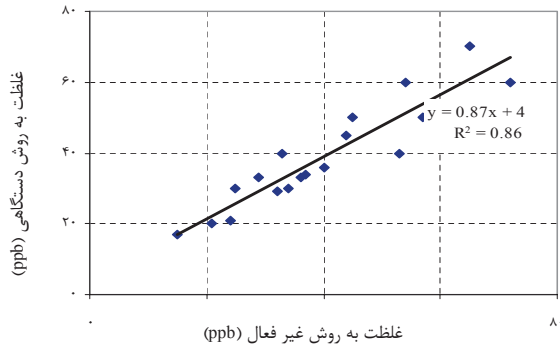
بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از سنجش دی‌اکسید نیتروژن در دوره‌های زمانی ۴ تا ۱ هفته‌ای همزمان با سنجش این گاز به روش دستگاهی

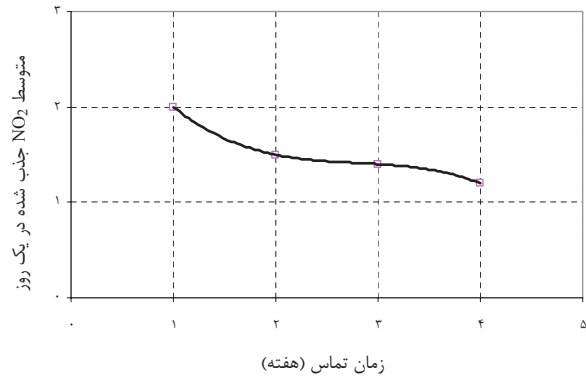
برابر است با:

$$\Delta C = c_2 = \frac{J \cdot \Delta x}{D_{NO_2\text{-air}}} = 3.49 \times 10^{-5} \mu\text{g NO}_2/\text{cm}^3$$

که معادل با ۳۴/۹ μg/m³ است. این غلظت در شرایط نمونه‌برداری (دمای ۲۳ درجه سانتیگراد و فشار ۶۸۰ mmHg) برابر ۰/۰۲۱ جزء در



شکل شماره ۳- مقایسه نتایج حاصل از صفحه‌ها جاذب با روش دستگاهی



شکل شماره ۲- تأثیر مدت زمان نمونه‌برداری بر میزان جذب دی‌اکسید نیتروژن در صفحات جاذب

- 2- Grab Sampling
- 3- Integrated Sampling
- 4- Ambient NOx Analyzer
- 5- Catalytic Converter
- 6- Active sampling
- 7- Passive sampling
- 8- Background pollution
- 9- Permeation Type
- 10- Diffusion Type
- 11- Fick's Law
- 12- Whatman ash less filter paper No. 42
- 13- Jacobs- Hochheiser

منابع مورد استفاده

. Blaker, J.H. 1973. "Triethanolamine for Collecting Nitrogen Dioxide in the TLV Range", American Industrial Hygiene Association Journal, Vol. 34, pp. 390-395.

. Committee on indoor pollutant, 1981. "Indoor Pollutants", National Academy Press, Washington D.C., Chapter VI.

. Glasius, M.B., et al. 1999. "Regional Transport of Nitrogenous Air Pollutants", Atmospheric Environment, Vol. 33, pp. 1177-1185.

در (جدول شماره ۱) ارائه شده است. چنانچه مشخص است نتایج حاصل از سنجش همزمان دو نمونه‌بردار بسیار نزدیک به هم بوده و تکرارپذیری آزمایشات را تأیید می‌کند. به طوری که انحراف معیار استاندارد متوسط نمونه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ هفته‌ای به ترتیب ۰/۶، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۶ شده است. نتایج نشان می‌دهد که با زیاد شدن زمان، کارایی صفحه‌های جاذب در جذب دی‌اکسید نیتروژن کاهش یافته به طوری که در دوره ۴ هفته‌ای به حداقل مقدار خود رسیده است.

این موضوع با رسم متوسط روزانه NO_2 جذب شده بر روی هر صفحه در کل مدت نمونه‌برداری برحسب زمان بهتر مشخص می‌شود (شکل شماره ۲). با توجه به تأثیر منفی طولانی شدن زمان در معرض بودن صفحات جاذب مورد استفاده در این تحقیق، از نتایج سنجش یک هفته‌ای جهت مقایسه با نتایج دستگاهی استفاده شد. در جدول شماره ۱ متوسط یک هفته‌ای غلظت دستگاهی برحسب جزء در میلیون در کنار غلظت‌های تبدیل یافته یک هفته‌ای نمونه‌های غیر فعال نیز ارائه شده است. در (شکل شماره ۳) ارتباط بین این دو با رسم بهترین خط، با استفاده از روش حداقل مربعات خط نشان داده شده است.

(۲) $4 + [\text{غلظت به روش غیر فعال (ppb)}] \times 0.87 = \text{غلظت به روش دستگاهی (ppb)}$
 براساس رابطه ۲ مشخص است که اختلاف قابل توجهی بین دو روش سنجش وجود ندارد. مطابق رابطه فوق در صورتی که با نمونه‌بردار غیر فعال غلظت اندازه‌گیری شده صفر باشد، با روش دستگاهی غلظتی حدود ۴ bpp اندازه‌گیری خواهد شد. این اختلاف احتمالاً می‌تواند ناشی از خطای مثبت هیدروکربن‌های پلی‌آروماتیک و HNO_3 بر روش دستگاهی باشد (Glasiuse, 1999).

یادداشت‌ها

- 1- Continuous Sampling

. Palmes, E.D., et al. 1976. "Personal Sampler for Nitrogen Dioxide", American Industrial Hygiene Association Journal, pp. 570-577.

. Treybal, R.E. 1980. "Mass Transfer Operation", McGraw-Hill, 2nd ed.

. U.S. Environmental Protection Agency. 1980. Environmental Monitoring Systems Laboratory of Designated Reference and Equivalent Methods, Research Triangle Park: U.S. EPA, February 3, p. 22.