فصلنامه علوم محیطی، دوره چهاردهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵

۱۶۵-۱۷۴

اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌های گازی NO_2 و SO_2 در محیط‌های موزه‌ای تهران به روش غیرفعال

منیژه هادیان دهکردی*[۱]، رسول وطن‌دوست[۲]، کریستف هرم[۳] و استفان سایمون[۴]

[۱] گروه شناخت مواد و فناوری، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی، تهران، ایران

[۲] گروه مرمت آثار دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، تهران، ایران

[۳] گروه تکنولوژی هنر و حفاظت و مرمت آثار، دانشگاه هنرهای زیبای درسدن، درسدن، آلمان

[۴] گروه شیمی، دانشگاه ییل، نیوهاون، آمریکا

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۱۰

هادیان دهکردی، م.، ر. وطن دوست، ک. هرم، و ا. سایمون. ۱۳۹۵. اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌های گازی NO_2 و SO_2 در محیط‌های موزه‌ای تهران به روش غیرفعال. فصلنامه علوم محیطی. ۱۴ (۴): ۱۷۴-۱۶۵.

سابقه و هدف: افزایش آلودگی‌های محیطی ناشی از رشد صنایع، جمعیت، ساخت‌وسازهای شهری، افزایش استفاده از مواد مصنوعی و شیمیایی و همچنین تغییرات شرایط اقلیمی باعث شده که در سال‌های اخیر متخصصان علوم و حفاظت و مرمت در جهان بر اهمیت کیفیت هوا در حفاظت و نگهداری آثار در محیط موزه تاکید بیشتری کنند و پژوهش در این زمینه به یکی از محورهای اصلی و بنیادین موضوع حفاظت پیشگیرانه مجموعه‌های موزه‌ای تبدیل شود. از این‌رو با توجه به اثرات مخربی همچون خوردگی فلزات، کاهش استحکام الیاف و تغییر رنگ که آلاینده‌های گازی ناشی از ترافیک و صنایع می‌توانند بر آثار تاریخی داشته باشند، غلظت گازهای NO2 و SO2 در کتابخانه و موزه ملی ملک و موزه رضا عباسی در دو منطقه مرکز و شمال شهر تهران مورد سنجش و پایش قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها: نمونه‌برداری آلاینده‌های فوق با روش تیوب‌های غیرفعال پالمس در سالن‌ها و ویترین‌های نمایش این موزه‌ها در دو نوبت در تابستان و زمستان سال ۱۳۹۲ انجام شد. برای نمونه‌گیری از هر مکان سه تیوب استفاده می‌شود که یکی از آنها به عنوان تیوب شاهد کاملا بسته است. سپس غلظت گاز دی اکسید نیتروژن با استفاده از طیف‌سنجی فرابنفش و غلظت گاز دی‌اکسید گوگرد به کمک روش یون کروماتوگرافی اندازه‌گیری شدند. همزمان با این بررسی‌ها اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی داخل ویترین و سالن نمایش هم به وسیله دیتالاگر به مدت یک سال و در فواصل زمانی ۱۵ دقیقه انجام شد. اندازه‌گیری میزان سرعت تبادل هوا در ویترین‌های نمایش با روش ردیابی گاز دی‌اکسید کربن به وسیله دستگاه قابل‌حمل مدل *VAISALA, GM70, GMP222* به مدت ۲۴ ساعت صورت گرفت.

نتایج و بحث: نتایج آزمایشات و اندازه‌گیری‌های ریزاقلیمی دما و رطوبت در این دو موزه نوسانات زیادی به‌ویژه در رطوبت در آنها نشان می‌دهد که تحت تاثیر شرایط محیطی بیرون است و نشان‌دهنده تبادل هوای زیاد و عدم کارایی لازم سیستم‌های هواساز در این دو موزه است. مقایسه نتایج مربوط به گازهای آلاینده مورد اندازه‌گیری نیز نشان می‌دهد که غلظت آلاینده‌ها در موزه رضا عباسی بیشتر از موسسه

* Corresponding Author. *E-mail Address*: email@gmail.com

کتابخانه و موزه ملی ملک است. مجاورت مستقیم این موزه با خیابان اصلی و قرارگیری آن در نزدیکی دامنه کوه و عدم جابه‌جایی هوا در این منطقه نقش مهمی در افزایش غلظت آلاینده‌ها در موزه رضا عباسی دارد. همچنین غلظت گاز دی اکسید نیتروژن در فصل تابستان بیشتر از زمستان و بالعکس غلظت گاز دی‌اکسید گوگرد در زمستان بیشتر از تابستان است. با توجه به سرعت تبادل هوای ویترین‌های دو موزه و غلظت گازهای آلاینده در آنها مشاهده می‌شود که اگرچه نیمه‌بسته بودن ویترین‌ها و کاهش سرعت تبادل هوا تاثیر زیادی بر کاهش غلظت گاز دی‌اکسید نیتروژن دارد اما به‌طور شگفت‌انگیزی غلظت گاز دی‌اکسید گوگرد در داخل و خارج از ویترین‌ها تفاوت چشمگیری را نشان نمی‌دهد. لازم به ذکر است که با توجه به نوع آثار موجود و مصالح مورد استفاده در ساخت ویترین‌ها که اساسا شیشه و فلز هستند هیچ نوع منبع داخلی برای این آلاینده در ویترین‌ها شناسایی نشد.

نتیجه‌گیری: در مجموع بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد موقعیت مکانی موزه‌ها در بافت شهری، مجاورت یا عدم مجاورت آنها به خیابان‌های اصلی و پرتردد و سرعت تبادل هوا نقش مهمی در غلظت آلاینده‌های خارجی در محیط‌های داخلی موزه‌ها دارند. علاوه بر این نتایج نشان می‌دهد که غلظت گازهای آلاینده در محیط هر دو موزه بالاتر از حد مجاز برای حفاظت از آثار است. با توجه به اثرات مخرب این آلاینده بر آثار اجرای یک طرح حفاظت پیش‌گیرانه و دفع خطر برای موزه‌های مذکور توصیه می‌شود. این توصیه‌ها طی یک مقاله جداگانه و در همین ارتباط مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت.

واژه‌های کلیدی: NO_2، SO_2، آلاینده‌های گازی، محیط موزه، نمونه‌بردار غیرفعال.

مقدمه

آسیب‌های جدی همچون رنگ‌پریدگی و تغییر رنگ در آثار نقاشی و بافته‌ها (Whitmore and Cass, 1989)، خوردگی فلزات (Cao *et al.*, 2009) کاهش استحکام الیاف (Martin and Blades, 1994) ناشی از گازهای آلاینده در محیط‌های موزه‌ای باعث شده است که طی دهه‌های اخیر موضوع کیفیت هوا و آلاینده‌های داخلی و خارجی در محیط موزه یکی از دغدغه‌های مهم متخصصان حفاظت و مرمت آثار و موزه‌داران شود (Kucera, 2002; Troi *et al.*, 2011; Worobiec *et al.*, 2010). تا سال ۱۹۸۰ تعداد محدودی مقاله درباره آلودگی هوا در محیط های موزه‌ای توسط Thomson (1965)، Padfield (1966) و Walsh *et al.* (1977) چاپ و منتشر شد. طبق یک گزارش آماری توسط Muller, *et al.* (2006) طی سال‌های ۱۹۹۹-۱۹۹۰ کیفیت هوا در ۶۰ موزه اروپایی مورد ارزیابی قرار گرفته بود. سپس در سال‌های ۲۰۰۶-۲۰۰۰ این تحقیقات در ۷۴ موزه و آرشیو در ۱۹ کشور اروپایی، ۳۱ موزه در آمریکا، ۹ مکان در ۴ موزه آسیایی و ۱۴ مکان موزه‌ای در استرالیا صورت گرفت. اگرچه در زمینه بررسی‌های محیط‌های داخلی پژوهش محدودی در ایران (Shafie-Pour *et al.*, 2010) و سایر کشورهای آسیایی مثل امارات متحده عربی (Salem *et al.*, 2009)، چین (Hu *et al.*, 2010) و اردن (Alghazawi, 2010) صورت گرفته است اما هنوز بسیاری از متخصصان مرتبط در کشورهای آسیایی (خصوصا آسیای میانه و باختری) نسبت به اهمیت موضوع کیفیت هوا در محیط موزه و اثرات مخرب آلاینده‌های جوی، روش‌های اندازه‌گیری و کنترل یا دفع آنها بی‌اطلاع هستند. موقعیت و شرایط شهری تهران با غلظت بالای آلاینده‌های ناشی از سوخت‌های فسیلی در این شهر (IEPO, 2010) باعث شده که نگرانی و دغدغه‌های مربوط به حفاظت آثار تاریخی و هنری را دو چندان کند. بنابراین طی یک پروژه چهارساله اندازه‌گیری‌های لازم برای ارزیابی کیفیت هوا شامل دما، رطوبت، آلاینده‌های گازی داخلی و خارجی، ذرات معلق و سرعت تبادل هوا با استفاده از روش‌های قابل اجرا و مقرون به صرفه در چند محیط موزه‌ای در مناطق

مختلف اقلیمی انجام شد (Hadian, 2015). در این مقاله بخشی از نتایج به‌دست‌آمده از بررسی‌های انجام‌شده در دو موزه تهران ارایه شده است.

موزه‌های مورد بررسی در تهران شامل موسسه کتابخانه و موزه ملی ملک در مرکز شـــهر و در منطقه ۱۵ و موزه رضا عباسی در شمال و در منطقه ۳ واقع شده‌اند. اطلاعات به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های کیفیت هوا در شـــهر تهران بالا بودن غلظت آلاینده‌های گازی در بخش‌های مرکزی شـــهر را نشـــان می‌دهد (جدول ۱). هر دوی این موزه‌ها نیز در مناطق پرتردد و نزدیک به ترمینال‌های تاکســی و اتوبوس هســتند. کتابخانه و موزه ملی ملک در مجاورت موزه ملی ایران در بافت تاریخی میدان مشق و با اندکی فاصله از خیابان اصلی امام خمینی قرار گرفته اســـت. ســـاختمان این موزه مجهز به سیستم هواساز است. موزه رضا عباسی در مجاورت مســـتقیم خیابان شـــریعتی اســـت و عمدتا سیستم سرمایش و گرمایش آن فن‌کویل است و تنها مخزن موزه به سیستم هواساز مرکزی متصل است. وجود منافذ و درزهای موجود در بازشـــوهای متعدد (درب و پنجره) در ســـاختمان این دو موزه می‌تواند موجب تبادل هوای زیاد با محیط بیرون شـــده و آلاینده‌های خارجی به محیط موزه وارد شوند.

شکل ۱ – تیوب‌های نمونه‌برداری پالمس در ویترین نمایش موزه ملی ملک

Fig. 1- Palmes tube sampler in the display case at the Malek National Museum

در این مقاله غلظت آلاینده‌های خارجی NO_2 و SO_2 در دو موزه فوق در دو فصل سرد و گرم زمستان و تابســـتان و با توجه به موقعیت شـــهری و ســـیســـتم‌های کنترل هوا و سرمایش و گرمایش آنها مقایسه شدند.

جدول ۱- میانگین غلظت آلاینده‌های گازی ($\mu g/m^3$) در مرکز شهر تهران، ایستگاه امام خمینی، ۱۳۸۹ (IEPO, 2010)

Table 1: Monthly mean of gaseous pollutants concentration ($\mu g/m^3$) in Tehran in city Centre, Imam Khomeini station, 2010 (IEPO, 2010)

ماه Month	NO_2	SO_2	O_3
دی January	96	319	44
بهمن February	134	77	39
اسفند March	43815*	171	77
فروردین April	5615	186	99
اردیبهشت May	115	372	99
خرداد June	115	612	99
تیر July	153	133	79
مرداد August	153	133	79
شهریور September	172	186	39
مهر October	191	133	19
آبان November	267	619	19
آذر December	325	559	19

*غلظت گاز NO_2 در تهران حدود ppm ۳۰-۲۰ گزارش شده است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از گازهای NO_2 و SO_2 به‌وسیله روش تیوب‌هـــای نمونـــه‌برداری غیرفعـــال پـــالمس (Palmes passive sampler) انجام شـــد. این روش به‌صـــورت دیفیوژن یا عبور آلاینده‌های گازی با غلظت بالا از میان مولکول‌های هوا به طرف غلظت پایین (فیلتر جاذب در تیوب) کار می‌کند. طبق قانون فیک (Fick law) (معادله

۱) واحد جریان جرم (J) متناسب با غلظت (C) بر مسافت طی شده (x) آن است. D ضریب ثابت دیفیوژن جرم (آلاینده) است (Pfeffer *et al.*, 2010).

$$J = -D\frac{\Delta C}{\Delta x} \qquad (۱)$$

همچنین میزان آلاینده انباشته‌شده در تیوب نمونه‌برداری (M) از حاصل ضرب واحد جریان جرم (J) در سطح مقطع تیوب (a) و مدت زمان نمونه‌برداری (t) به‌دست می‌آید (معادله ۲).

$$\Delta M = Ja\Delta t \qquad (۲)$$

تیوب‌های پالمس به‌کار برده‌شده از جنس آکریلیک به طول ۷۱ میلی‌متر و قطر ۱۰ میلی‌متر با درپوش‌های پلاستیکی کاملا بسته و بدون نشت و فیلترهای فولادی آغشته به مواد جاذب بودند (Hodgkins *et al.*, 2011). این تیوب‌ها (سه تیوب برای هر نمونه) به مدت ۲۸ روز در محیط‌های مختلف باز مثل سالن نمایش و مخزن نگهداری آثار و همچنین محیط‌های بسته مثل ویترین نمایش آثار قرار داده شدند (شکل ۱). یکی از سه تیوب در طول مدت نمونه‌برداری به عنوان شاهد کاملا بسته نگه داشته می‌شود. فهرست و مشخصات محل‌های نمونه‌برداری در جدول ۱ خلاصه شده است.

به این منظور از محلول تری‌اتانول امین (TEA: Triethanolamine) برای جذب NO_2 (Byanju *et al.*, 2012) و محلول پتاس (پتاسیم هیدروکسید) یا KOH برای SO_2 (Lopez-Aparicia *et al.*, 2010) استفاده می‌شود. فیلترهای فلزی (فولادی) با قطر متناسب با قطر تیوب به این محلول‌ها آغشته شده و توسط یکی از درپوش‌ها در یک سوی تیوب نگه داشته می‌شوند.

اندازه‌گیری غلظت گازهای آلاینده

اندازه‌گیری غلظت گاز NO_2 با استفاده از روش کالیمتری به کمک دستگاه طیف‌سنجی فرابنفش مدل SP6-550 PYE UNICAM در طول موج ۵۴۲ نانومتر و گاز SO_2 با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی یونی مدل Metrohm, 690 Ion Chromatograph و ستون PRP-X100 با ابعاد ۱۲۵×۴/۰ mm سه بار برای هر نمونه در آزمایشگاه تحقیقاتی راتگن در برلین انجام شد.

دما و رطوبت

متغیرهای دما و رطوبت در اطاق و ویترین‌های دو موزه به مدت یک سال (۳۶۵ روز) با فواصل زمانی ۱۵ دقیقه به‌و سیله دیتالاگرهای مدل VOLTCRAFT DL-121TH USB اندازه‌گیری شدند.

سرعت تبادل هوا در ویترین

برای اندازه‌گیری سرعت تبادل هوا در ویترین‌های نمایش آثار از روش ردیابی گاز دی‌اکسید کربن توسط دستگاه قابل‌حمل مدل VAISALA, GM70, GMP222 به مدت ۲۴ ساعت استفاده شد (Calver *et al.*, 2005).

نتایج و بحث

اگر چه میانگین دما و رطوبت (جدول ۳) در دو موزه در تمامی فصول تفاوت چشمگیری را نشان نمی‌دهد و تقریبا مشابه هستند، اما افت‌وخیزهای زیاد رطوبتی (شکل ۱) هفتگی و ماهانه در هر دو موزه مشاهده می‌شود که تحت تاثیر شرایط محیطی بیرون هستند و نشان‌دهنده تبادل هوای زیاد و عدم کارایی لازم سیستم هواساز در موزه است.

از سوی دیگر اندازه‌گیری سرعت تبادل هوا در دو ویترین MNM-R2-V و RAM-R1-V که به ترتیب برابر با ۴/۳ و ۳/۷ ($n(day^{-1})$) است نیز نشان می‌دهد این ویترین‌ها نیمه‌بسته هستند (Tetreault, 2003) و امکان تبادل هوا با محیط خارج آنها نسبتا زیاد است. به همین دلیل افت‌وخیزهای زیاد رطوبتی در داخل ویترین‌ها نیز دیده می‌شود.

نتایج اندازه‌گیری غلظت گازهای آلاینده NO_2 و SO_2 در محیط این دو موزه و استاندارد تعریف‌شده برای حفاظت و نگهداری از مجموعه‌های موزه‌ای در جدول شماره ۴ خلاصه شده است.

جدول ۲- مکان‌های مورد بررسی در موزه‌ها

Table 2. Studied locations at the museums

موزه museum	اطاق Room	فضای مورد بررسی site	موقعیت مکانی در موزه situation at the museum	کد code
موزه ملی ملک Malek national Museum	گالری سکه Coins gallery	سالن نمایش exhibition Room	نزدیک به درب ورودی موزه با درب و پنجره‌های متعدد close to the entrance door with some openings	MNM-R1
	گالری عزت‌ملک خانم Ezzat Malek gallery	سالن نمایش exhibition room	محیط نسبتا بسته (بدون پنجره) دور از ورودی موزه relatively closed environment away from the entrance door	MNM-R2
	گالری عزت‌ملک خانم Lady Ezzat Malek gallery	ویترین display case	نزدیک به ورودی گالری مربوطه close to the entrance door of gallery	MNM-R2-V
موزه رضا عباسی Reza Abbasi Museum	گالری اسلامی ۲ Islamic II gallery	ویترین display case	تقریبا در میانه گالری، طبقه دوم موزه با پنجره‌های رو به خیابان almost at the center of gallery, second floor with windows to the street.	RAM-R1-V
	گالری نقاشی painting gallery	سالن نمایش exhibition room	طبقه اول موزه با پنجره‌های رو به خیابان first floor with windows to the street.	RAM-R2
	مخزن اشیاء repository	سالن مخزن storage room	زیر زمین موزه Basement	RAM-R3

جدول ۳- میانگین دما و رطوبت نسبی در محیط موزه ملی ملک و موزه رضا عباسی در یک دوره یک‌ساله ۱۳۹۲-۱۳۹۱

Table 3. Average of temperature and relative humidity at the Malek national Museum and Reza Abbasi Museum over one year (2012-2013)

دما (ºC) Temperature (ºC)				٪ رطوبت نسبی Relative humidity %				کد
بهار spring	تابستان summer	پاییز autumn	زمستان Winter	بهار spring	تابستان summer	پاییز autumn	زمستان winter	code
27	27	21	24	22	30	29	17	MNM-R1
24	25	19	20	27	33	31	24	MNM-R2-V
27	27	23	25	22	31	25	17	RAM-R1-V
24	24	22	23	25	34	25	18	RAM-R2

جدول ۴- غلظت گازهای آلاینده در موزه‌های مورد بررسی در دو فصل زمستان و تابستان

Table 4. Concentration of gaseous pollutants in the studied museums in the winter and summer

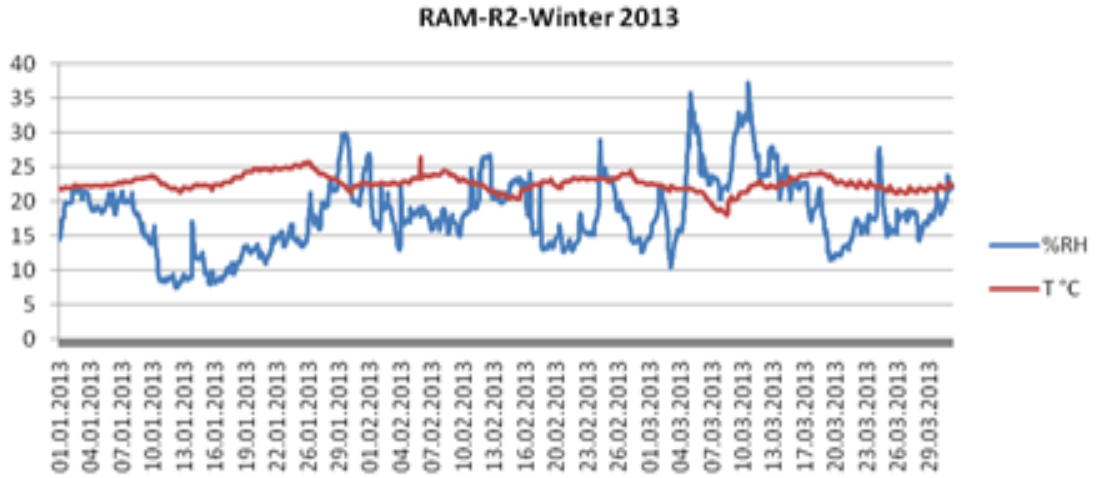
NO_2 ($\mu g/m^3$)		SO_2($\mu g/m^3$)		کد code
تابستان Summer	زمستان winter	تابستان summer	زمستان winter	
61	50	14	11	MNM-R1
60	42	2	22	MNM-R2
31	23	2	27	MNM-R2-V
21	7	3	46	RAM-R1-V
76	59	5	47	RAM-R2
77	68	Nd*	29	RAM-R3
<0.1-5		<0.1-1		استاندارد برای مواد حساس در موزه standards (sensitive material)
4-19		1.1-5.3		استاندارد برای سایر مواد در موزه standards (other material)

* غیرقابل تشخیص

همانطور که نتایج در جدول ۴ نشـــان می‌دهد، غلظت گاز دی‌اکســـید نیتروژن در هر دو موزه در فصـــل تابســـتان بیشـــتر از زمســـتان و بالعکس غلظت گاز دی‌اکســـید گوگرد در فصـــل زمســـتان به‌طور چشـــمگیر بیشتر از تابستان است. استفاده زیاد از سیستم‌های حرارتی با ســـوخت فســـیلی در فصـــل زمســـتان می‌تواند عامل افزایش غلظت این آلاینده در محیط باشد. علاوه بر این مقایســـه نتایج مربوط به دو موزه نشـــان می‌دهد که غلظت آلاینده‌ها در موزه رضا عباسی بالاتر از کتابخانه و موزه ملک اســـت. مجاورت مســـتقیم این موزه با خیابان

اصـــلی و قرارگیری آن در نزدیکی دامنه کوه و عدم جابه جایی هوا در این منطقه نقش مهمی در افزایش غلظت آلاینده‌ها خصوصاً در فصل زمستان در موزه رضا عباسی دارد.

با توجه به ســرعت تبادل هوای ویترین‌های دو مـوزه (MNM-R2-V و RAM-R1-V) و غـلـظـت گازهای آلاینده در آنها مشـاهده می‌شـود که اگرچه نیمه‌بسته بودن ویترین‌ها و کاهش سرعت تبادل هوا تاثیر زیادی بر کاهش غلظت گاز دی‌اکسـید نیتروژن دارد اما به‌طور شـگفت‌انگیزی غلظت گاز دی‌اکسـید گوگرد در داخـل و خـارج از ویترین‌هـا تفـاوت چشمگیری را نشان نمی‌دهد. لازم به ذکر است که با توجه به نوع آثار موجود و مصـالح مورد اسـتفاده در ساخت ویترین‌ها که اساسا شیشه و فلز هستند، هیچ نوع منبع داخلی برای این آلاینـده در ویترین‌هـا شناسایی نشده است.



شکل ۲- نمودار افت‌وخیزهای دما و رطوبت در گالری نقاشی، موزه رضا عباسی، ۱۳۹۲

Fig. 2- Temperature and %RH fluctuations at the painting gallery, Reza Abbasi Museum, 2013

نتیجه‌گیری

نتایج این بررســی‌ها نشــان می‌دهد که روش نمونه‌برداری غیرفعال روشی مناسب و مقرون به صرفه برای انـدازه‌گیری و پـایش آلاینـده‌هـای گـازی در محیط‌هـای موزه‌ای اســت. علاوه بر این طبق اندازه‌گیری‌های انجام‌شده غلظت آلاینده‌های دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد در موزه رضا عباسی بالاتر از موزه ملک اسـت. همچنین غلظت دی‌اکسـید گوگرد در زمســتان بیشــتر از تابســتان و بالعکس غلظت دی‌اکسید نیتروژن در تابستان بیشتر از زمستان است. نکته قابل‌توجه آن اســت که در غلظت گاز دی‌اکسـید گوگرد در محیط های بسـته مانند ویترین تفاوت قابل‌توجهی با محیط باز مثل ســالن‌های نمایش دیده نمی شود. در زمستان با بسته شدن بیشتر درب‌ها و پنجره ها انتقال این آلودگی بیشــتر از راه کانال های سـیسـتم هواسـاز می‌تواند صـورت گیرد. در مجموع بررسـی‌های انجام‌شـده نشـان می‌دهد موقعیت مکانی موزه‌ها در بافت شــهری، مجاورت یا عدم مجاورت آنها به خیابان‌های اصلی و پرتردد و سرعت تبادل هوا نقش حیاتی در غلظت آلاینده های خارجی در محیط های داخلی دارد. علاوه بر این نتایج نشان می‌دهد که غلظت گازهای آلاینده در محیط هر دو موزه بالاتر از حد مجاز برای حفاظت از آثار است. لذا اجرای یک برنامه حفاظت پیش‌گیرانه و دفع خطر برای موزه‌های مذکور توصـیه می‌شـود. این توصـیه‌ها طی یک مقاله جداگانه مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

سپاسگزاری

جا دارد از همکاری کلیه کسانی که ما را در انجام این پروژه یاری کردند تشکر و قدردانی شود؛ همکارانمان در موزه‌های مذکور و آزمایشگاه تحقیقاتی راتگن وابسته به موزه‌های ملی برلین[1]، خصوصاً جناب آقای دکتر شهرام حیدرآبادیان رییس موزه رضا عباسی، سرکار خانم لیلا سوداگر، مسئول بخش حفاظت و مرمت، و خانم پریسا کردبگلی، امین اموال موزه، همچنین جناب آقای سیدمجتبی حسینی، رییس کتابخانه و موزه ملی ملک، سرکار خانم سمیرا حسینیان، مسئول بخش حفاظت و مرمت، و آقای نوشاد رکنی، معاون پژوهشی این موزه. همچنین تشکر و قدردانی می‌شود از اداره کل محیط زیست شهر تهران و شرکت کنترل کیفیت هوای تهران برای در اختیار قرار دادن اطلاعات هواشناسی و آلاینده‌های هوای تهران. شایان ذکر است که این پروژه با حمایت‌های مالی موسسه تبادلات دانشگاهی آلمان (DAAD)[2] انجام شده است.

پی‌نوشت‌ها

[1] Rathgen Research Laboratory, Berlin state Museums
[2] DAAD (Deutsche Akademischer Austauschdienst)

منابع

Alghazawi, R., Havermans, J. and Willems, W., 2010. Indoor environment, Jordan museums Recent advances in museum environment studies, IAQ.

Byanju, R. M., Gewali, M. B. and Manandhar, K., 2012. Passive sampling of ambient nitrogen dioxide using local tubes. Environmental Protection. 3, 177-186.

Calver, A., Holbrook, A., Thickett, D. and Weintraub, S., 2005. Simple methods to measure air exchange rates and detect leaks in display and storage enclosures. The Hague, ICOM committee for conservation- 14th triennial meeting, 12-16 September, 597-609.

Cao, X., Wang, N. and Liu, N., 2009. Synergistic effect of chloride and NO_2 on the atmospheric corrosion of bronze. Anti-Corrosion Methods and Material. 56 (6), 299-305.

Hadian Dehkordi, M., 2015. Air Quality in the Museum Environment Exemplary Investigations on Air Pollutants in Berlin, Tehran and Mumbai Museums. Ph.D. Thesis. Academy of Fine Arts, Dresden. www.hfbk-dresden.de.

Hodgkins, R. E., Grzywacz, C. M. and Garrell, R. L., 2011. An improved ion chromatography method for analysis of acetic and formic acid vapours. e-Preservation Scienc. 8, 74-80.

Hu, T., Cao, J., Lee, Sh., Xuxiang Li, X., Shen, Zh., Rong, B., and An, Zh., 2010. Microanalysis of dust deposition inside Emperor Qin's terra- cotta warriors and Horses museum. Aerosol and Air quality Research. 10, 59-66.

IEPO, 2010. The annual report of air quality in Tehran, Tehran: Iran's Environment Protection Organisation (IEPO) (In persian language).

Kucera, V., 2002. changing pollution situation and its effect on material corrosion. Proceedings of the 5th EC Conference, Cultural Heritage Research: a Pan-European Challenge, May 16-18, Krakow, Poland. 23-29.

Lopez-Aparicia, S. *et al*., 2010. Measurement of organic and inorganic pollutants in micro climate frames for paintings. e- preservation science. 59-70.

Martin, G. and Blades, N., 1994. Cultural property environmental monitoring, Preprints of the contributions to IIC 1994 Ottawa Congress: Preventive conservation: practice, theory and research, 12-16 September. London, Archetype Publications. 159-163.

Muller, C., Corel, R. and van Dijke, R., 2006. Air qulaity monitoring in European museums: 2000 to present. 7th Indoor Air Quality 2006 Meeting (IAQ2006), November 15-16, Braunschweig-Germany. (iaq.dk/iap/iaq2006/Muller_IAQ2006.pdf).

Padfield, T., Erhardt, D. and Hopwood, W., 1982. Trouble in store. In: N. a. T. G. Brommelle, ed. Science and technology in the service of conservation. Washington D.C.: Congress of the international institute for conservation, 24-27.

Pfeffer, U., Zang, T., Rumpf, E. M. and Zang, S., 2010. Calibration of diffusive samplers for nitrogen dioxide using the reference method-Evaluation of measurement uncertainty. Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft. 70 (11/12), 500-506.

Salem, A. A., Soliman, A. A. and El-Haty, I. A., 2009. Determination of nitrogen dioxide, sulfur dioxide, ozone, and ammonia in ambient air using the passive sampling method associated with ion chromatographic and potentiometric analyses. Air Qual Atmos Health. 2, 133–145.

Shafie-Pour, M., Ashrafi, K. and Tavakoli, A., 2010. Indoor Air Quality Modelling for Tehran Museums by IMPACT. Journal of Environmental Studies. 36 (55), 22-24.

Tetreault, J., 2003. Airborne pollutants in museums, galleries and archives: Risk assessment, control strategies and preservation management. Ottawa: Canadian Conservation Institute.

Thomson, G., 1965. Air Pollution- Areview for conservation chemists. Studies in Conservation. 10, 147-166.

Troi, A. *et al*., 2011. Museum environment: Monitoring fully and partially conditioned rooms within SMooHS project, Markus Krueger, Proceedings of the European Workshop on Cultural Heritage Preservation, Berlin, September 26-28. Hemsbach, Beltz Druckpartner GmbH & Co. KG. 62-69.

Walsh, M., Black, A. and Morgan, A., 1977. Sorption of SO_2 by typical indoor surfaces including wool carpets, wallpaper and paints. Atmospheric Environment. 11, 1107- 1111.

Whitmore, P. M. and Cass, G. R., 1989. The fading of artists' colorants by exposure to atmospheric nitrogen dioxide. Studies in Conservation. 33, 85-97.

Worobiec, A. *et al*., 2010. Transport and deposition of airborne pollutants in exhibition areas located in historical buildings- study in Wawel Castle Museum in Cracow Poland. journal of Cultural Heritage. 11, 354-359.

Environmental Sciences Vol.14 / No.4 / Winter 2017

165-174

Measurement of gaseous pollutants NO_2 and SO_2 concentration in environments of Tehran museum using passive sampler tubes

Manijeh Hadian Dehkordi,[1*] Rasool Vatandoust,[2] Christoph Herm[3] and Stefan Simon[4]

[1] Material science and Old Technologies Research Group, Research Center for Conservation of Cultural Relics (RCCCR), Tehran, Iran
[2] Department of Conservation of Cultural Property, Faculty of Art and Architecture, Islamic Azad University of Tehran, Tehran, Iran
[3] Department of Art Technology and Conservation and Restoration of Art Works, Faculty II, University of Fine Arts, Dresden, Germany
[4] Department of chemistry, Yale University, New Haven, USA

Received: June 6, 2016 **Accepted:** October 31, 2016

Hadian Dehkordi, M., Vatandoust, R., Herm, Christoph and Simon, S., 2017. Measurement of Gaseous Pollutants NO_2 and SO_2 Concentration in Environments of Tehran Museum using Passive Sampler Tubes. Environmental Sciences. 14(4), 165-174.

Introduction: Increased environmental pollutants caused by industrial development, population, urban construction, the increased use of synthetic materials and chemicals as well as climate change have, in recent decades, led to air pollution becoming an important issue in the field of conservation of cultural property for scientists and conservation and restoration experts in the world. Furthermore, the role of air quality in the preservation of historical objects and art works in museums has been one of the fundamental topics of the preventive conservation of museum collections. However, considering adverse effects such as corrosion, reduced fibre strength and changing colour due to gaseous pollutants emitted by traffic and industry, NO_2 and SO_2 levels were monitored and assessed in the Library and Malek National Museum and in the Museum of Reza Abbasi in the centre and North of Tehran.

Materials and Methods: Sampling of the aforementioned pollutants using Palmes passive sampler tubes was carried out in exhibition halls, display cases and storage areas in the museums, twice in the summer and winter of 2012-2013. For this purpose, three tubes were used to take samples from each location. One of the tubes as a reference was completely closed. Nitrogen dioxide was absorbed by TEA:Triethanolamine and measured using ultraviolet spectrophotometry (Byanju *et al.* 2012). The concentration of sulphur dioxide was measured by using ion chromatography with KOH used as an adsorbent (Lopez-Aparicia *et al.* 2010). Simultaneously,

* Corresponding Author. *E-mail Address*: email@gmail.com

temperature and relative humidity inside the display cases and exhibition halls were measured by data loggers for a year and at intervals of 15 minutes. Air exchange rate (AER) of the enclosures can be measured via the tracer gas technique over 24-hour periods. In this project, CO_2 was used as the tracer gas and Vaisala, GM70, GMP222 as the detector inside the case.

Results and Discussion: The results of micro climate measurements show that temperature and relative humidity and their fluctuations in the museum, especially RH, are affected by the external environment. This indicates a much to high air exchange rate with the outside and the lack of an efficient mechanical ventilation and air conditioning system at the museums. Comparison of the results measurements shows that the concentration of pollutants in the Reza Abbasi Museum is more than in the Malek National Museum. The concentration of NO_2 is greater in summer than winter and, vice versa, the concentration of SO_2 is higher in winter than summer. Also, the concentration of pollutants in both museums is higher than museum standards. Considering the air exchange rate of the display cases and the concentration of gaseous pollutants at the museums, although the display cases are semi-airtight which reduces the concentration of nitrogen dioxide, surprisingly the concentration of sulphur dioxide outside them has no significant difference. It should be noted that, according to the type of objects and display case materials (glass and metal), there are no sources for these pollutants in the display cases.

Conclusion: This study shows the situation of the museums in the urban setting and vicinity to major and crowded streets as well as the air exchange rate play an important role in the concentration of air pollutants in these indoor environments. Furthermore the results show that the concentration of SO_2 and NO_2 in both museums is higher than standards for the conservation of museum collections. Due to adverse effects of the pollutants, implementing a preventive conservation program is recommended and specific recommendations in this regard will be discussed in a separate article.

Keywords: NO_2, SO_2, Gaseous pollutants, Museum environment, Passive sampler.