



پایش محیطی ویتترین‌های نمایش آثار موجود در موزه‌ها به منظور بررسی تأثیر ویژگی‌های فنی ویتترین‌ها بر کیفیت هوای محیط داخل آنها

منیژه هادیان دهکردی* رسول وطن دوست** کریستف هرم***

استفان سایمون****

چکیده

مشخصات فنی همچون مواد و مصالح مورد استفاده در ساخت ویتترین‌های نمایش و ابعاد و اندازه آنها ضمن آنکه اهمیت زیادی به لحاظ کیفیت نمایش و معرفی آثار و همچنین جذب مخاطب دارند، می‌توانند کیفیت هوای داخل ویتترین و شرایط حفاظت و نگهداری آثار موجود در آن را نیز تحت تأثیر قرار دهند. این مقاله درصدد است با استفاده از نتایج سنجش و پایش‌های محیطی لازم، تأثیر مشخصات فنی ویتترین‌های موزه‌ای در ۶ موزه در شهرهای تهران، برلین و بمبئی را بر روی کیفیت هوای درون آنها به لحاظ ترکیب شیمیایی و پتانسیل خوردگی بررسی نماید.

طی طرح تحقیقاتی مربوطه، ضمن بررسی مواد و مصالح به کاررفته در ویتترین‌ها، سرعت تبادل هوا با روش ردیابی گاز دی‌اکسید کربن، غلظت گازهای آلاینده داخلی و خارجی (گازهای ناشی از مواد و مصالح ویتترین) با نمونه‌گیری غیرفعال، با استفاده از تیوب‌های پالمس و آنالیز نمونه‌ها با روش‌های کروماتوگرافی HPLC، IC، اسپکتروفتومتری ماورای بنفش انجام شد. همچنین، پتانسیل خوردگی فضای داخل ویتترین‌ها با بررسی کوپن‌های فلزی مس، نقره و سرب، مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از برخی مواد مصنوعی یا طبیعی در ساخت ویتترین‌های نمایش حتی با انتشار کم گازهای اسیدی استیک و اسید فرمیک، و فرمالدئید هم می‌تواند در ویتترین‌های کاملاً بسته با سرعت تبادل هوای پایین در طول زمان، موجب افزایش غلظت آلاینده‌ها و آسیب به آثار شود. از سوی دیگر، ابعاد ویتترین نیز ارتباط عکس با غلظت آلاینده‌های گازی دارند؛ به این ترتیب که در شرایط مشابه، ویتترین‌های با ابعاد بزرگ‌تر، غلظت کمتری از آلاینده‌ها را نشان می‌دهند. لذا انتخاب مواد، سرعت تبادل هوای مناسب ویتترین و همچنین شرایط ریزاقلیم مجموعاً با هم، نقش مهمی در کیفیت شرایط محیطی داخل ویتترین دارند که به تبع آن، کیفیت حفاظت و نگهداری از آثار به نمایش درآمده را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند.

کلیدواژه‌ها: موزه، ویتترین نمایش، پایش محیطی، آلاینده‌های گازی، پتانسیل خوردگی

m_hadian@yahoo.com

arv@ysc-restauro.com

herm@hfbk-dresden.de

stefan.simon@yale.edu

* استادیار، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری (نویسنده مسئول).

** استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی.

*** استاد دانشگاه هنرهای زیبای درسدن - آلمان.

**** استاد دانشگاه ییل - آمریکا، نیوهاون.

مقدمه

تحقیقات انجام‌شده در سال‌های اخیر نشان داده که علاوه بر آلاینده‌های خارجی مثل گازهای NO_2 ، SO_2 ، O_3 حاصل از فعالیت‌های انسانی و طبیعی چون صنایع، ترافیک، کشاورزی، آتشفشان‌ها و غیره که می‌توانند کیفیت هوای داخل موزه‌ها را تحت تأثیر قرار دهند (Ford & Gysels et al, 2004; Adams, 1999; Worobiec et al, 2010; Kontozova et al, 2005)، آلاینده‌هایی مثل VOC ، H_2S ، O_3 نیز ناشی از تجزیه و فرسایش خود آثار، مواد و مصالح ساخت بنای موزه، تجهیزات، مبلمان و مواد و مصالح ویتترین‌ها و کابینت‌های نگهداری و نمایش، و مواد مورد استفاده در حفاظت و مرمت آثار (Schieweck & Salthammer, 2009; Schieweck et al, 2007; Reddy et al, 2005; Larkin et al, 2000) و همچنین حضور کارکنان و بازدیدکنندگان (Mouratidou & Samara, 2004) در فضاهای موزه‌ای می‌توانند وجود داشته باشند. از سوی دیگر، طبق تحقیقات صورت گرفته، هر گروه از مواد، بسته به ترکیبات شیمیایی آنها، نوع خاصی از آلاینده‌ها را از خود متصاعد می‌کنند؛ به عنوان مثال، محصولات چوبی مصنوعی و طبیعی هر یک از گازهای اسید استیک، اسید فرمیک و فرمالدئید (Thickett, 2010; Salthammer et al, 1998) و یا الیاف پشمی و لاستیک‌ها، منتشرکننده گازهای گوگردی هستند (Podany, 2006).

بنابراین مشخصات فنی همچون مواد و مصالح مورد استفاده در ساخت ویتترین‌های نمایش و ابعاد و اندازه آنها ضمن آنکه اهمیت زیادی به لحاظ کیفیت نمایش و معرفی آثار و همچنین جذب مخاطب دارند، می‌توانند کیفیت هوای داخل ویتترین و شرایط حفاظت و نگهداری آثار موجود در آن را نیز تحت تأثیر قرار دهند.

وقتی صحبت از کیفیت هوا در محیط‌های داخلی می‌شود، ترکیبی از سه گروه مؤلفه‌های ریزاقلیم (دما و رطوبت نسبی)، آلاینده‌ها و سرعت تبادل هوا است که توأمان با هم آن را می‌سازند. این کیفیت می‌تواند تحت تأثیر عوامل بسیار زیاد داخلی و خارجی قرار گیرد. از جمله عوامل مهم تأثیرگذار بر کیفیت هوای داخل ویتترین‌های نمایش، مشخصه‌های فیزیکی آنها شامل؛ مواد و مصالح، ابعاد و میزان باز یا بسته بودن آنها هستند. مطالعاتی که تا کنون در این ارتباط صورت گرفته‌اند و به برخی از آنها در بالا اشاره شده، عمدتاً شناسایی و اندازه‌گیری غلظت گازهای آلاینده منتشره از مواد و مصالح مورد استفاده در ساخت ویتترین‌ها در شرایط آزمایشگاهی بوده‌اند. لذا سؤال این تحقیق آن است که سه مشخصه فیزیکی

ویتترین‌های موزه‌ای در شرایط واقعی، با هم چه تأثیری بر کیفیت هوای داخلی آنها می‌گذارند؟

پیشینه پژوهش

آسیب‌های جدی همچون؛ رنگ‌پریدگی و تغییر رنگ در آثار نقاشی و بافته‌ها (Whitmore & Cass, 1989)، خوردگی فلزات (Cao et al, 2009)، کاهش استحکام الیاف (Martin & Blades, 1994) ناشی از گازهای آلاینده در محیط‌های موزه‌ای باعث شده‌اند 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 (Trois et al, 2011; Kucera, 2002; Worobiec et al, 2010).

موضوع کیفیت هوا در محیط‌های موزه‌ای، نخستین بار در سال 1850 از طریق گزارش تحقیقاتی در خصوص اثر آلودگی هوا و نقاشی‌های رنگ روغن در گالری ملی در شهر لندن توسط ایستلیک و فارادی مطرح شد (Ryhl-Svendson, 2006; Brommelle, 1956). بعدها در سال 1899، گزارشی در خصوص نوعی آسیب در صدف‌های دریایی موجود در مخزن آثار منتشر شد (Byne, 1899). تحقیقات نشان دادند که این آسیب، ناشی از تأثیر گازهای آلاینده اسیدی منتشرشده از جعبه‌های چوبی نگهداری صدف‌ها بوده است. از آن زمان به بعد و به تدریج موضوع آلاینده‌های گازی و اثرات آنها روی آثار تاریخی، توجه بیشتری را به خود جلب کرد تا اینکه در سال 1972، اندرو اودی در موزه بریتانیا روشی را برای ارزیابی کیفیت مواد مورد استفاده برای نگهداری یا نمایش آثار در مخازن و ویتترین‌های نمایش در موزه‌ها با استفاده از کوپن‌های فلزی نقره، سرب و مس پایه‌گذاری کرد و در سال 1975، این روش اصلاح و تحت عنوان ایشان یعنی تست اودی^۱ شناخته شد. در این روش، اثر خوردگی گازهای آلاینده متصاعدشده از مواد در شرایط مصنوعی با دما و رطوبت نسبی معین، مورد بررسی قرار می‌گیرد. با روی کار آمدن روش‌های نمونه‌گیری غیرفعال گازهای آلاینده مثل تیوب‌های پالمس^۲ از سال 1976 در محیط‌های موزه‌ای (Ashenden & Bell, 1991)، امکان مطالعات دقیق‌تر و گسترده‌تر در خصوص اندازه‌گیری غلظت گازهای آلاینده و ارزیابی کیفیت هوا در این مکان‌ها افزایش یافت.

روش پژوهش

به منظور بررسی تأثیر مشخصه‌های فنی ویتترین‌های موزه‌ای بر کیفیت هوای داخل آنها، تعدادی از ویتترین‌های نمایش در شرایط واقعی در موزه‌های دوران اسلامی و دوران

دسترسی به ویتترین‌ها و موقعیت مکانی آنها در موزه که بیشترین ویژگی‌های فنی به لحاظ تنوع مواد و مصالح و کیفیت ساخت را پوشش می‌دهند، تعداد ۸ ویتترین برای این مطالعه انتخاب شدند (جداول ۱ و ۲). نام این ویتترین‌ها، بر اساس مخفف نام

باستان آسیا در پرگامون و موزه بده در برلین، موزه‌های رضا عباسی و کتابخانه و موزه ملی ملک در تهران و موزه پرنس ویلز در بمبئی با امکانات و تجهیزات معمول و پیشرفته، مورد مطالعه و پایش محیطی قرار گرفتند. بر اساس امکان

جدول ۱. موقعیت مکانی موزه‌ها و ویتترین‌های نمایش مورد مطالعه

ردیف	موزه	موقعیت موزه در بافت شهری	نام ویتترین	موقعیت مکانی ویتترین در موزه
۱	موزه بده برلین	سه موزه در مرکز شهر در یک منطقه در مجاورت یکدیگر و	BM-R131-V	سالن نمایش در ضلع جنوبی طبقه همکف موزه و بدون پنجره رو به بیرون، دور از درب ورودی موزه
۲			BM-R240-V	سالن نمایش در ضلع جنوبی طبقه دوم موزه با پنجره بسته رو به بیرون، دور از درب ورودی موزه
۳	موزه دوران باستان آسیا، پرگامون، برلین	موزه در مرکز شهر در نزدیکی به خیابان اصلی با سطح آلودگی هوای پایین	VAM-R10-V	سالن نمایش در ضلع جنوبی طبقه اول موزه با پنجره نیمه‌باز رو به خیابان، دور از درب ورودی موزه
۴	موزه دوران اسلامی، پرگامون، برلین		MIK-R1-V	سالن نمایش در ضلع شرقی طبقه اول موزه نزدیک به پنجره بزرگ نیمه‌باز رو به بیرون و دور از درب ورودی موزه
۵	کتابخانه و موزه ملی ملک، تهران	موزه در مرکز شهر در نزدیکی خیابان اصلی پرتردد و سطح آلودگی هوای بالا	MNM-R2-V	سالن نمایش در ضلع جنوبی طبقه همکف و بدون پنجره رو به بیرون موزه، با فاصله از درب ورودی موزه
۶	موزه رضا عباسی، تهران	موزه در شمال شهر در مجاورت خیابان پرتردد و سطح آلودگی هوای بالا	RAM-R1-V	سالن نمایش در ضلع غربی طبقه دوم با پنجره‌های نیمه‌بسته رو به بیرون موزه، دور از درب ورودی موزه
۷	موزه پرنس ویلز، بمبئی	موزه در مرکز شهر با فضای سبز پیرامون و نزدیک به خیابان پرتردد با سطح آلودگی متوسط	CSMVS-G8-V2	سالن نمایش در ضلع شرقی طبقه اول بدون پنجره، دور از درب ورودی موزه
۸			CSMVS-G8-V1	سالن نمایش در ضلع شرقی طبقه اول بدون پنجره، دور از درب ورودی موزه

(نگارندگان)

جدول ۲. مشخصه‌های فنی ویتترین‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ویتترین	مواد و مصالح	ابعاد (cm)	حجم (m ³)	مساحت کف ویتترین (m ²)
۱	BM-R131-V	شیشه، واشر سیلیکونی، ام دی اف با پوشش ملامینه	۱۴۲×۹۴/۵×۸۴	۱/۱	۱/۳
۲	BM-R240-V	شیشه، کوریان ^۲ ، واشر سیلیکونی	۲۲۱×۵۱×۸۴	۱/۰	۱/۱
۳	VAM-R10-V	شیشه، فلز، نئوپان، واشر، پارچه نخی (کتان)	۱۴۹×۵۹×۲۵	۰/۲	۰/۹
۴	MIK-R1-V	شیشه، ام دی اف با پوشش ملامینه، واشر سیلیکونی	۴۹×۴۹×۱۱۰	۰/۳	۰/۹
۵	MNM-R2-V	شیشه، فلز، پارچه مخملی (پنبه) بر روی ام دی اف معمولی، تخته سه لا و واشر	۱۴۰×۶۹×۱۰۰	۱/۱	۱/۰
۶	RAM-R1-V	شیشه، فلز، پارچه مخملی (پشم) بر روی نئوپان و نوارهای درزگیر اسفنجی	۱۵۹×۵۹×۱۲۵	۱/۲	۰/۹
۷	CSMVS-G8-V2	شیشه، فلز، پارچه نخی (کتان) بر روی توری پلاستیکی نتلون ^۴	۱۲۹×۵۷/۵×۱۰	۰/۱	۰/۸
۸	CSMVS-G8-V1	شیشه، چوب ساج، واشر سیلیکونی	۱۱۷/۵×۵۷/۵×۸۵	۰/۶	۰/۷

(نگارندگان)

قابل مشاهده شدن اثرات خوردگی روی این کوپن‌ها، آنها به مدت یک سال در ویتترین‌ها قرار داده شدند. سپس، تغییر رنگ کوپن‌هایی که با چشم غیرمسلح قابل تشخیص نبودند، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر کونیکا مینولتا CM-2600D و بر اساس $L^* a^* b^*$ مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. ثبت دما و رطوبت نسبی با فواصل زمانی ۱۵ دقیقه نیز به وسیله دیتالاگرهای VOLT CRAFT DL-121 TH USB و 171 testostor صورت گرفت. این اندازه‌گیری‌ها در دو فصل سرما و گرما انجام شدند.

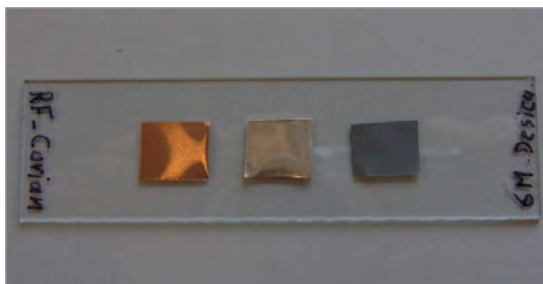
با توجه به برخی محدودیت‌ها در موزه‌های مورد مطالعه مثل CSMVS که تنها دو فصل در سال دارد، پایش و بعضی



تصویر ۱. قرارگیری تیوب‌های نمونه‌گیری پالمس در ویتترین نمایش آثار (نگارندگان)



تصویر ۲. اندازه‌گیری سرعت تبادل هوا با روش ردیابی گاز CO₂ (نگارندگان)



تصویر ۳. کوپن‌های فلزی به ترتیب از راست به چپ سرب، نقره و مس (نگارندگان)

موزه و کد سالن نمایش قرارگیری آنها تعیین شده است. ضمن در نظر گرفتن مواد و مصالح به کاررفته در ویتترین‌ها، و ابعاد و اندازه آنها، به منظور تجزیه و تحلیل دقیق‌تر داده‌های حاصل، ویتترین‌ها به گونه‌ای انتخاب شدند که مساحت کف آنها مشابه باشد و آثار موجود در آنها به لحاظ ماهیت شیمیایی مانند فلز یا سفال، خود منتشرکننده آلاینده‌های گازی نباشند و کیفیت هوای داخل ویتترین را تحت تأثیر قرار ندهند.

جهت نمونه‌برداری از گازهای آلاینده داخلی اسید استیک، اسید فرمیک و فرمالدئید و همچنین گازهای خارجی دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد، از تیوب‌های غیرفعال پالمس با ابعاد ۷۱×۱۱ mm استفاده شد (هادیان دهکردی و دیگران، ۱۳۹۵). این روش به صورت دیفیوژن یا عبور آلاینده‌های گازی با غلظت بالا از میان مولکول‌های هوا به طرف غلظت پایین (فیلتر جاذب در تیوب) کار می‌کند. مدت زمان نمونه‌گیری با تیوب‌های فوق، ۲۸ روز و در دو نوبت فصل تابستان و زمستان بود. تعداد تیوب‌ها برای هر نمونه از هر نوع آلاینده، سه عدد بود که یکی از آنها به عنوان تیوب شاهد کاملاً بسته نگه‌داشته شد (Gibson & Watt, 2010; Gibson & Brokerhof, 2001; Byanju et al, 2012; Lopez-Aparicia et al, 2010) (تصویر ۱).

اندازه‌گیری غلظت گازهای اسیدی اسید استیک، اسید فرمیک و دی‌اکسید گوگرد پس از استخراج نمونه‌ها از فیلترهای مربوطه با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی یونی مدل Metrohm, 690 Ion Chromatograph و ستون PRP-X300 با ابعاد ۲۵۰×۴/۰ mm و غلظت گاز فرمالدئید با استفاده از دستگاه HPLC مدل MERCK HITACHI، L-4500, Diode Array Detector and L-6200A و ستون Eurosphere 100-5 C18 با ابعاد ۱۵۰×۴/۰ mm و غلظت گاز دی‌اکسید نیتروژن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Visible مدل P6-550 PYE UNICAM و در طول موج ۵۴۲ nm انجام شد (Ibid).

برای تعیین سرعت تبادل هوای درون ویتترین‌ها با تکنیک ردیابی گاز CO₂ از دستگاه قابل حمل Vaisala, GM70, GMP222 برای اندازه‌گیری غلظت این گاز در داخل ویتترین و سنسور ALMEMO CO2, FYA600-CO2 برای میزان گاز CO₂ محیط سالن نمایش موزه، استفاده شد (Calver et al, 2005) (تصویر ۲).

پتانسیل خوردگی هوای داخل ویتترین‌ها مشابه با تست اودی (Oddy, 1973)، با استفاده از کوپن‌های فلزی سرب، نقره و مس با درجه خلوص بالا (۹۹/۹۵٪) به ابعاد (cm²) ۱×۱ ارزیابی شد (Grzywacz, 2006) (تصویر ۳). به منظور

نتایج و بحث

مشخصات فنی ویتترین‌های نمایش مورد مطالعه شامل جنسیت مواد به کار رفته در این ویتترین‌ها و همچنین ابعاد، حجم و سطح مقطع آنها، در جدول ۲ خلاصه شده‌اند. مساحت کف ویتترین‌های ذکر شده در جدول، در واقع مربوط به مصالح کف یا پایه داخلی ویتترین‌ها با جنس نئوپان، ام دی اف، کوربان و نتلون همراه با پوشش پارچه نخی با الیاف کتان یا مخملی با الیاف پنبه و پشم است. اندازه این سطح تقریباً در بیشتر ویتترین‌ها نزدیک به هم است. همچنین در یک مورد، تخته سه‌لا در سقف ویتترین نیز به کار رفته است.

دما و رطوبت نسبی

میانگین دما و رطوبت نسبی اندازه‌گیری شده در ویتترین‌ها، در جدول ۳ خلاصه شده است. کلیه ویتترین‌ها به جز VAM-R10-V در فضاهایی قرار داشتند که مجهز به سیستم هواساز مرکزی یا فن کویل بودند. گرمایش فضای قرارگیری ویتترین VAM-R10-V به وسیله شوفاژ و سرمایش آن با تهویه طبیعی تأمین می‌شد. از آنجا که موزه‌های مربوط به ویتترین‌های ردیف ۱ تا ۴ به لحاظ موقعیت جغرافیایی و مکانی در بافت شهری نزدیک و در مجاورت یکدیگر هستند و همچنین شرایط ریزاقلیم داخل آنها تحت کنترل است، لذا در مواردی که میانگین داده‌های مربوط به برخی فصول آنها در جدول ۳ ذکر نشده، قابل پیش‌بینی است و در نتیجه‌گیری تأثیری نخواهد داشت. به‌عنوان مثال، در سه فصل بهار، تابستان و پاییز رطوبت نسبی ویتترین MIK-R1-V کم و بیش ۴۰٪ و

از سنجش‌های لازم تنها در یک فصل که به لحاظ دمایی قابل مقایسه با سایر ویتترین‌ها بود، انجام شد.

اگرچه ابعاد مقطع ویتترین MIK-R1-V، مربع با ابعاد (۴۹ × ۴۹ cm) است، اما پایه‌ای روی کف این ویتترین به شکل هرم ناقص به‌عنوان پایه شیء طراحی شده است (تصویر ۴). سطح این هرم، حدود ۰/۹ متر مربع است.



تصویر ۴. پایه چوبی ام دی اف موجود در ویتترین MIK-R1-V (نگارندگان)

جدول ۳. میانگین دما و رطوبت نسبی در ویتترین‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ویتترین	میانگین دما (°C)				میانگین رطوبت نسبی (%)			
		بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
۱	BM-R131-V	۲۳	۲۱	۲۲	۲۴	۴۸	۴۹	۴۷	
۲	BM-R240-V	۲۳	۲۲	۲۲	۲۴	۴۸	۴۵	۴۵	
۳	VAM-R10-V	-	۲۴	۲۱	-	-	۴۶	-	
۴	MIK-R1-V	۲۵	۲۶	۲۴	-	۳۶	۳۸	-	
۵	MNM-R2-V	۲۴	۲۵	۱۹	۲۰	۲۷	۳۱	۲۴	
۶	RAM-R1-V	۲۷	۲۷	۲۳	۲۵	۲۲	۲۵	۱۷	
۷	CSMVS-G8-V1	-	-	-	۲۴	-	-	۵۹	
۸	CSMVS-G8-V2	-	-	-	۲۴	-	-	۵۷	

(نگارندگان)

سرعت تبادل هوا

همان‌طور که نتایج اندازه‌گیری سرعت تبادل هوا در جدول ۴ نشان می‌دهند، ویتترین‌های ستون ۱، ۲ و ۴ کاملاً بسته (سرعت تبادل هوا ≥ 1)، ویتترین‌های ۳، ۵ و ۶ نیمه‌بسته (سرعت تبادل هوا = $1-10$) و ویتترین‌های ۷ و ۸ باز (سرعت تبادل هوا ≤ 10) محسوب می‌شوند (Tetreault, 2003).

غلظت گازهای آلاینده داخلی و خارجی

غلظت گازهای آلاینده داخلی ویتترین‌های مورد مطالعه، در جدول ۵ خلاصه شده است. در اولین نگاه در تمامی موارد، بالاترین غلظت گازها در فصل گرم یعنی تابستان اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده ویتترین BM-R240-V که در ساخت آن به جز شیشه از کوریان استفاده شده بود، بالاترین غلظت بخارات اسید استیک در این ویتترین

نسبت به سه ویتترین هم‌منطقه کمتر است؛ به همین ترتیب، احتمالاً رطوبت نسبی در این ویتترین در فصل زمستان هم حدود ۴۰٪ - ۳۵٪ خواهد بود.

از آنجا که انتشار گازهای آلاینده ناشی از واکنش‌های شیمیایی مواد و مصالح در درجه حرارت‌های بالاتر از حد متعارف اتفاق می‌افتد و از سوی دیگر، در اینجا به دلیل نزدیک بودن دمای محیطی ویتترین‌ها به یکدیگر که تقریباً بین ۲۵-۲۰ درجه سانتیگراد (شرایط متعارف در موزه‌ها) است، می‌توان دمای محیط را به‌عنوان مؤلفه ثابت و بدون تأثیر در واکنش‌ها در نظر گرفت. این در حالی است که رطوبت نسبی در چهار ویتترین اول دارای شرایط متعادل، دو ویتترین ردیف ۵ و ۶ نسبتاً خشک و دو ویتترین ۷ و ۸ مرطوب‌تر است. این مؤلفه، نقش مهمی در پتانسیل خوردگی محیط دارد که در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

جدول ۴. نتایج اندازه‌گیری سرعت تبادل هوا در ویتترین‌های مورد مطالعه

۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
CSMVS-G8-V1	CSMVS-G8-V2	RAM-R1-V	MNM-R2-V	MIK-R1-V	VAM-R10-V	BM-R240-V	BM-R131-V
<۲۳	۲۳	۷/۳	۳/۴	۰/۲	۳/۹	۰/۱	۰/۱

(نگارندگان)

جدول ۵. غلظت گازهای آلاینده داخلی در ویتترین‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ویتترین	اسید فرمیک ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		اسید استیک ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		فرمالدئید ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		تابستان	زمستان	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان
۱	BM-R131-V	ND	ND	۶۵۳	۱۵۱۰	ND	ND
۲	BM-R240-V	۱۲۸	۲۷۱	۱۴۳۶	۲۳۳۲	ND	ND
۳	VAM-R10-V	۴۷۵	۱۲۱۴	۱۹۴	۷۵۳	ND	ND
۴	MIK-R1-V	۱۴۰	۲۷۸	۴۴۳	۹۴۰	ND	ND
۵	MNM-R2-V	-	۱۸۱	-	۵۴	ND	ND
۶	RAM-R1-V	-	۲۹۹	-	۱۳۷	ND	ND
۷	CSMVS-G8-V1	۸۵	-	۱۶۵۹	-	۳	-
۸	CSMVS-G8-V2	۷۳	-	ND	-	ND	-

ND: not detectable (غیرقابل تشخیص)

- عدم دسترسی -

(نگارندگان)

این امر، کیفیت‌ها و فرآیندهای تولید متفاوت این محصولات چوبی در بازار است.

دو ویتترین MNM-R2-V و RAM-R1-V که در ساخت آنها از مواد و مصالح منتشرکننده گازهای آلاینده مثل نئوپان، تخته سه‌لا، و اشرف و اسفنج استفاده شده، در مقایسه با ویتترین‌های مشابه مانند BM-R131-V به لحاظ حجم و اندازه به نسبت غلظت این آلاینده‌ها را کم نشان می‌دهند. اگرچه به دلیل محدودیت‌های موزه‌ها امکان سنجش غلظت گازهای اسید استیک و اسید فرمیک در این دو ویتترین در فصل زمستان فراهم نشد، اما می‌توان مطمئن بود که این مقادیر از غلظت گازهای فوق در فصل تابستان کمتر خواهند بود ($299 \mu\text{g}/\text{m}^3 < 181$ برای اسید فرمیک و $137 \mu\text{g}/\text{m}^3 < 54$ برای اسید استیک). این دو ویتترین، جزء ویتترین‌های نیمه‌بسته هستند و تبادل هوا با محیط بیرون، موجب کاهش غلظت گازهای آلاینده در آنها شده است. از سوی دیگر، پایین بودن غلظت این آلاینده‌ها در مقایسه با مورد مشابه VAM-R10-V به لحاظ مواد و مصالح، ابعاد کف چوبی ویتترین و سرعت تبادل هوا، آنچه موجب تفاوت چشمگیر آنها شده، حجم ویتترین‌ها است که ویتترین VAM-R10-V حدود ۱ متر مکعب کوچک‌تر از دو ویتترین مشابه است.

ویتترین CSMVS-G8-V2 هم که اساساً از شیشه و فلز ساخته شده و پوشش کف آن از نتلون است، کمترین غلظت آلاینده‌ها را نشان می‌دهد. نتلون، نام تجاری نوعی بافته پلاستیکی از موادی مثل پلی اتیلن با حداقل انتشار آلودگی است. این ویتترین به‌طور نسبی، ابعاد کوچکی نیز دارد. صرف نظر از جنس مواد و مصالح، آنچه که مانع از انباشت آلاینده‌های داخلی در آنها شده، سرعت تبادل هوای زیاد در آن است. این ویتترین، جزء گروه ویتترین‌های باز است.

همان‌طور که نتایج آنالیز (جدول ۶) نشان می‌دهند، بیشترین آلاینده‌های خارجی خصوصاً گازهای SO_2 در فصل زمستان و NO_2 در فصل تابستان، در ویتترین‌های ردیف ۵ و ۶ هستند. این آلاینده‌ها در ویتترین‌های ردیف ۱ و ۲ که بسته هستند، کمترین مقدار را دارند. این نتایج، نشان‌دهنده شدت آلودگی محیط بیرون موزه‌ها ناشی از موقعیت آنها در بافت شهری و تأثیر سرعت تبادل هوا در ورود گازهای آلاینده به ویتترین‌های مورد مطالعه هستند. یک مورد استثنا یعنی ویتترین MIK-R1-V نیز وجود دارد که علی‌رغم بسته بودن و تبادل هوای کم ویتترین، اما به نسبت غلظت گاز NO_2 در آن زیاد است. علت این امر می‌تواند سرعت تبادل هوای بیشتر این ویتترین (۰/۲) نسبت به ویتترین‌های ردیف ۱ و ۲ (۰/۱) و

اندازه‌گیری شد ($2332 \mu\text{g}/\text{m}^3$). کوریان کامپوزیت آکرلیک و آلومینیم تری هیدراته است که حداقل انتشار آلاینده گازی را دارد (Šenitková & Tomčík, 2013). پس از آن نیز ویتترین‌های CSMVS-G8-V1 و BM-R131-V غلظت این گاز را بالاتر (1510 و 1659) از بقیه ویتترین‌ها نشان دادند. ویتترین CSMVS-G8-V1 با وجودی که دارای تبادل هوای زیادی است و باز محسوب می‌شود، به دلیل جنسیت آن یعنی چوب ساج در میان چوب‌های طبیعی، دارای انتشار گاز اسید استیک زیادی است (Gibson & Watt, 2010). در ویتترین دوم یعنی BM-R131-V نیز از ام دی اف با پوشش ملامینه کیفیت بالا که حداقل آلودگی را به همراه دارد، استفاده شده است. دو ویتترین BM-R240-V و BM-R131-V دارای سرعت تبادل هوای کمتر از ۱ هستند که در گروه ویتترین‌های بسته قرار دارند. اگرچه غلظت گازهای آلاینده منتشره از مواد مورد استفاده در ساخت این ویتترین‌ها (کوریان و ام دی اف با پوشش ملامینه) ناچیز است، اما به دلیل بسته بودن کامل ویتترین‌ها و عدم تبادل هوا، طی چند ماه این غلظت افزایش چشمگیری یافته است (Schieweck & Salthammer, 2011).

بالاترین غلظت گاز اسید فرمیک ($1214 \mu\text{g}/\text{m}^3$)، مربوط به ویتترین VAM-R10-V و در فصل تابستان است. در این ویتترین به جز فلز و شیشه، از نئوپان در ساخت کف آن استفاده شده است. نئوپان، یکی از مصالح با بیشترین انتشار گاز فرمالدئید است (Dudzinska et al, 2009). از آنجا که این گاز در اثر اکسیداسیون به اسید فرمیک تبدیل می‌شود، به همین دلیل فرمالدئید به جز یک مورد در ویتترین‌ها شناسایی نشد. این ویتترین به لحاظ سرعت تبادل هوا، جزء ویتترین‌های نیمه‌بسته محسوب می‌شود. نشستی کم این ویتترین، مانع از افزایش بیشتر غلظت این گاز در آن شده است. ویتترین MIK-R1-V که حجم یکسان با ویتترین فوق را دارد، اما با وجود تبادل هوای خیلی کم و بسته بودن کامل غلظت آلاینده‌های آن کمتر است. علت این امر، به مصالح مورد استفاده یعنی ام دی اف برمی‌گردد که انتشار گاز فرمالدئید یا اسید فرمیک آن خیلی کمتر از نئوپان است. افزایش غلظت گاز اسید استیک منتشرشده از این ماده مانند دو ویتترین BM-R240-V و BM-R131-V نیز به دلیل بسته بودن و تبادل هوای کم ویتترین است.

نکته قابل توجه دیگر، در خصوص غلظت گازهای اسیدی موجود در دو ویتترین MIK-R1-V و BM-R131-V است که با وجود یکسان بودن نوع مصالح مورد استفاده در آنها یعنی چوب ام دی اف، مقادیر متفاوتی را نشان می‌دهند. علت

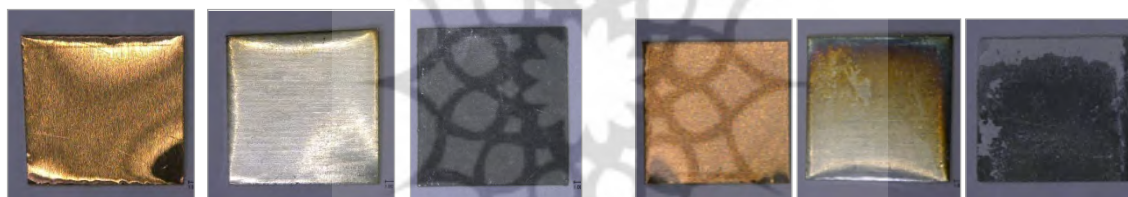
همچنین، نزدیکی این ویتترین به یک پنجره بزرگ نیمه‌باز رو به بیرون در فصل تابستان باشد. جزئیات بیشتر این آلاینده‌ها، خارج از موضوع مقاله هستند.

پتانسیل خوردگی

ارزیابی پتانسیل خوردگی محیط داخلی ویتترین‌های مورد مطالعه و تأثیر غلظت گازهای اندازه‌گیری شده روی آثار، از طریق کوپن‌های فلزی مس، سرب و نقره و همچنین تغییر رنگ آنها صورت گرفت (تصاویر ۵ و ۶). همان‌طور که نتایج جدول ۷ نشان می‌دهند، بیشترین تغییر رنگ ظاهری در کوپن‌های نقره و سپس کوپن‌های سرب مشاهده می‌شود. کوپن‌های مسی تقریباً در تمام موارد بدون تغییر ظاهری هستند.

کوپن‌های نقره در ویتترین‌های نیمه‌بسته و باز، بیشترین تارشدگی را نشان می‌دهند. یکی از دلایل اصلی تارشدگی نقره، وجود گازهای سولفور (H₂S) در محیط با منابع داخلی همچون پلاستیک‌ها و الیاف پشمی و عوامل

انسانی (Dubus et al, 2007) و خارجی چون؛ صنایع، سیستم فاضلاب و فعالیت‌های آتشفشانی (Ankersmit et al, 2005) است. دو عامل عدم وجود منابع داخلی و سرعت تبادل هوای کم ویتترین مانند MIK-R1-V و BM-R131-V موجب می‌شود تأثیر این آلودگی روی آثار نقره به حداقل برسد. نکته قابل توجه در خصوص ویتترین BM-R240-V آن است که با وجود یکسان بودن سرعت تبادل هوا با ویتترین BM-R131-V و قرارگیری در یک موزه، اما در این ویتترین آثار تارشدگی در نقره دیده می‌شوند که نشان‌دهنده وجود یک عامل داخلی هستند (تصویر ۷). با توجه به مواد و مصالح به کاررفته در این ویتترین (فلز، شیشه، کوریان و واشر) و نوع آثار موجود در آن (یعنی فلز)، تنها احتمال عامل انتشار این گاز، مواد درزگیر ویتترین است که حتی با انتشار مقادیر ناچیز این گاز (در حد ppt) در محیط کاملاً بسته نیز می‌توانند انباشت شده و افزایش یافته و موجب تغییر رنگ زیاد در نقره شوند. اگرچه نوع درزگیر به کاررفته در ویتترین MIK-R1-V و BM-R131-V نیز از نوع سیلیکونی ذکر شده است، اما اثرات



تصویر ۶. تغییرات ظاهری کوپن‌های سرب (راست)، نقره (وسط) و مس (چپ) در ویتترین MIK-R1-V (نگارندگان)

تصویر ۵. تغییرات ظاهری کوپن‌های سرب (راست)، نقره (وسط) و مس (چپ) در ویتترین VAM-R10-V (نگارندگان)

جدول ۶. غلظت گازهای آلاینده خارجی در ویتترین‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ویتترین	NO ₂ (µg/m ³)		SO ₂ (µg/m ³)	
		تابستان	زمستان	تابستان	زمستان
۱	BM-R131-V	۵	۶	ND	ND
۲	BM-R240-V	۸	ND	۲	۲
۳	VAM-R10-V	۸	ND	ND	۸
۴	MIK-R1-V	۳۰	۱۷	ND	۴
۵	MNM-R2-V	۳۱	۲۳	۲۷	۲
۶	RAM-R1-V	۲۱	۷	۴۶	۳
۷	CSMVS-G8-V1	-	۱۵	ND	-
۸	CSMVS-G8-V2	-	۵	۳	-

ND: not detectable (غیر قابل تشخیص)
عدم دسترسی: -

(نگارندگان)

استیک را نشان داده بودند مانند MIK-R1-V دیده می شود. بخارات اسید استیک به تنهایی حتی در غلظت های زیاد مانند BM-R240-V تأثیر کمتری در خوردگی کوپن های سربی دارند (Tetreault, et al, 2003). در سایر موارد که غلظت گازهای اسیدی کمتر از $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است، کوپن ها خوردگی بسیار ناچیز یا عدم خوردگی را با چشم غیر مسلح نشان می دهند.

در خصوص کوپن های مسی، به جز یک مورد خیلی ضعیف، تغییری مشاهده نشد. با توجه به غلظت آلاینده های شناسایی شده و همچنین میزان رطوبت لازم برای تأثیر گازهایی مثل دی اکسید

تارشدگی نقره در این ویتترین ها مشاهده نشدند. علت این امر می تواند به کیفیت تولید مواد و ناخالصی های آنها مربوط شود که همگی با نام تجاری یکسان به فروش می رسند.

با توجه به نیمه بسته بودن یا باز بودن سایر ویتترین ها و تبادل هوا با محیط بیرون آنها، عامل اصلی آلاینده های سولفور (H_2S) می تواند خارجی و اساساً ناشی از تنفس های انسانی کارکنان موزه و بازدیدکنندگان (Mouratidou & Samara, 2004) و عوامل خارجی بیرون از محیط موزه باشد. شدت تغییر رنگ یا تارشدگی کوپن های نقره که به منظور ارزیابی کیفیت هوای سالن های نمایش سه موزه با یک موقعیت مکانی در شهر با حضور بازدیدکنندگان متفاوت قرار داده شده بود، این فرضیه را ثابت می کند (تصویر ۸). نتایج مربوط به این تحقیقات نیز به زودی منتشر می شوند. در خصوص این نوع ویتترین ها باید گفت که علاوه بر عوامل خارجی، احتمال عوامل داخلی تولید گاز سولفور مانند پارچه مخمل با الباف پشمی مورد استفاده در کف ویتترین (MNM-R2-V و RAM-R1-V) و واشرهای درزگیر در آنها نیز می تواند در این تارشدگی نقش داشته باشد. البته با توجه به سرعت تبادل هوا و حجم مواد مورد استفاده، نقش واشرها در این میان کم رنگ تر خواهد بود.

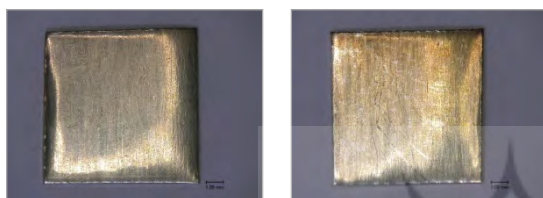
طبق تست اودی، پتانسیل خوردگی گازهای اسیدی نیز از روی کوپن های سربی قابل بررسی است. همان طور که نتایج مربوطه در جدول ۷ نشان می دهند، بیشترین تغییر یا خوردگی در ویتترین VAM-R10-V با بالاترین غلظت گاز اسید فرمیک رخ داده است. پس از آن، این خوردگی در ویتترین هایی که غلظت بالاتری از این گاز همراه با گاز اسید

جدول ۷. شدت خوردگی کوپن های فلزی با چشم غیر مسلح

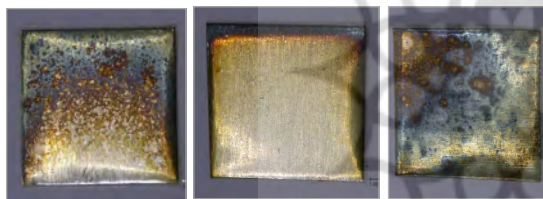
ردیف	نام ویتترین	نقره	سرب	مس
۱	BM-R131-V	+	++	-
۲	BM-R240-V	++	++	+
۳	VAM-R10-V	+++	++++	-
۴	MIK-R1-V	-	+++	-
۵	MNM-R2-V	+++	-	-
۶	RAM-R1-V	++++	+	-
۷	CSMVS-G8-V1	++	-	-
۸	CSMVS-G8-V2	کوپن های مربوطه مفقود شدند		

خیلی زیاد: +++++، زیاد: +++، متوسط: ++، کم: +، بدون تغییر: -

(نگارندگان)



تصویر ۷. کوپن های نقره ای در دو ویتترین BM-R240-V (راست) و BM-R131-V (چپ) (نگارندگان)

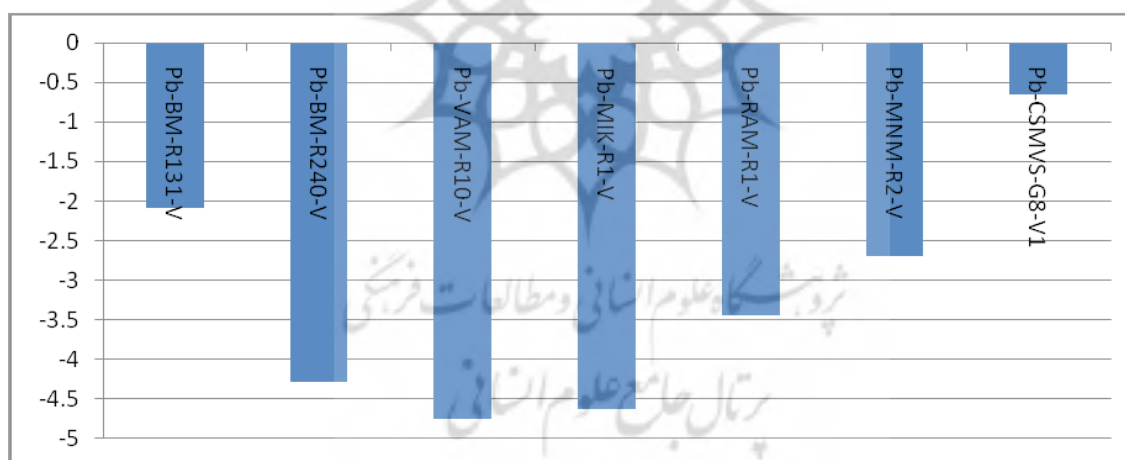


تصویر ۸. تغییرات ظاهری کوپن نقره در خارج از ویتترین های سه موزه MIK (راست)، VAM (وسط) و BM (چپ) در مجاورت یکدیگر، دو موزه راست و وسط، آمار بازدیدکنندگان زیاد بوده و سمت چپ، بازدیدکننده کم دارد (نگارندگان).

نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد، کم بودن میزان رطوبت نسبی در ویتربین‌های RAM-R1-V و MNM-R2-V (جدول ۳) و کم بودن غلظت آلاینده‌ها (عمدتاً کمتر از $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ یعنی زیر حد بالای پیشنهادی برای این آلاینده‌ها در موزه، Pavlogeorgatos (2003) در سایر ویتربین‌ها (جدول ۶)، مانع از اثرات خوردگی محسوس در این کوپن‌ها شده است. تغییر رنگ جزئی در کوپن مسی مربوط به ویتربین BM-R240-V می‌تواند ناشی از تأثیر گاز گوگردی و یا گاز اسید استیک زیاد موجود در آن باشد. وجود این آلاینده‌ها قبلاً به وسیله کوپن نقره‌ای و اندازه‌گیری غلظت گازهای آلاینده در آن اثبات شده است (تصویر ۷ و جدول ۵). ناچیز بودن سرعت تبادل هوا در این ویتربین، نقش مهمی در اثربخشی بیشتر این گازها روی سطح کوپن داشته است. اثبات این فرضیات، نیازمند انجام تست اودی به‌طور مجزا بر روی هر یک از مواد به‌کاررفته در ویتربین‌ها است. از آنجا که امکان نمونه‌برداری از ویتربین‌های موجود در موزه همیشه امکان‌پذیر نیست، لذا این آزمایش باید بر روی نمونه‌های یکسان یا مشابه گردآوری شده از مراکز ساخت ویتربین‌ها انجام شود. لازم به ذکر است که اگرچه کوپن‌های فلزی قرار داده شده در ویتربین CSMVS-G8-V2 مفقود شدند، اما از آنجا که

نتایج اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها در این ویتربین‌ها مقادیر بسیار کمی را نشان دادند، لذا تغییر قابل‌مشاهده‌ای در این کوپن‌ها نمی‌توانست ایجاد شود و در نتیجه‌گیری نهایی تأثیری نخواهد داشت.

به منظور بررسی دقیق‌تر کوپن‌های سربی که گاه تغییر رنگ آنها با چشم غیرمسلح قابل مشاهده نبوده یا همراه با خطا است، این تغییرات با دستگاه رنگ‌سنج و بر اساس متغیرهای $L^* a^* b^*$ نیز مورد مطالعه قرار گرفتند. بر این اساس، L^* مربوط به میزان روشنایی رنگ، a^* مربوط به محور رنگ سبز-قرمز و b^* محور زرد-آبی است (Ryer, 1998). بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده، بیشترین تغییر قابل‌بررسی در کوپن‌های سرب در متغیر b^* مشاهده شد (Thickett et al, 2008). به این ترتیب که رنگ کوپن‌های سربی خورده شده خصوصاً VAM-R10-V و MIK-R1-V به سمت اعداد منفی یا رنگ آبی متمایل شد (تصویر ۹). با توجه به شناسایی گازهای آلاینده اسیدی که کم و بیش تقریباً در کلیه ویتربین‌ها مشاهده شده، این تغییر رنگ در کوپن‌های سربی دور از انتظار نیست.



تصویر ۹. نمودار تغییرات b^* در کوپن‌های سربی به طرف اعداد منفی یا رنگ آبی (نگارندگان)

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق را می‌توان در دو زمینه کاربردی و پژوهشی به شرح ذیل خلاصه کرد؛ با توجه به تنوع موادی که شرکت‌های مختلف تولید کرده و یا جهت ساخت ویتربین‌ها و کابینت‌های موزه‌ها مورد مصرف قرار می‌دهند اعم از مصالح ساختاری، تزئینی، درزگیرها، پایه‌های نمایش آثار و غیره و اینکه هر کدام بسته به نوع مواد و فرآیند تولید کیفیت‌های مختلفی داشته باشند، می‌توانند آلاینده‌هایی را به همراه داشته باشند. آگاهی از ترکیب شیمیایی و حصول اطمینان از کیفیت آنها قبل از سفارش ساخت یا خرید، به‌عنوان یک ضرورت باید در دستور کار موزه‌ها قرار گیرد. در حد امکان، تعویض و جایگزینی مواد و مصالح نامناسب همچون؛ نئوپان، ام دی اف و وایت‌های پلاستیکی یا سیلیکونی حاوی ترکیبات گوگردی، با مصالح باکیفیت‌تر در ویتربین‌های قدیمی نیز اکیداً توصیه

می شود. همچنین در حد امکان، باید از استفاده از چوب‌های طبیعی مثل ساج در ساخت ویتترین یا محفظه‌های نگهداری آثار اجتناب کرد.

نکته دیگر، بسته بودن کامل ویتترین و عدم تبادل هوا در آن حتی در صورت استفاده از مصالحی با کمترین آلودگی همچون کوربان نیز گاه می‌تواند عامل تهدیدی برای آثار محسوب شود؛ به این ترتیب که در ویتترین‌های بسته اگرچه از ورود آلاینده‌های خارجی جلوگیری می‌شود، اما غلظت گازهای آلاینده داخلی موجود در آن را می‌تواند افزایش دهد. در این صورت، باز کردن گاه‌به‌گاه چنین ویتترین‌هایی برای تبادل هوا، کمک زیادی به کاهش غلظت آلودگی در آنها می‌کند. در ارتباط با ویتترین‌های نیمه‌بسته که به نسبت درصد بالاتری از ویتترین‌های موزه‌ها را شامل می‌شوند، باید گفت آثار موجود در آنها می‌توانند بیشتر در معرض خطر آلاینده‌های خارجی و همچنین نوسانات دما و رطوبت قرار گیرند که در این صورت، باید تا حد امکان محیط موزه در مقابل ورود این آلاینده‌ها به فضاها داخلی بسته و تغییرات ریزاقليمی تحت کنترل باشد.

با توجه به حساسیت بالای نقره نسبت به گازهای گوگردی و تارشدگی آنها، قرار دادن این نوع اشیا در ویتترین یا محفظه‌های بسته (حداقل تبادل هوایی) مانع از این آسیب می‌شود. در این صورت، باید از عدم وجود منابع داخلی آلودگی در محیط مورد نظر نیز اطمینان حاصل کرد. طبق منابع موجود، استفاده از مواد جاذب آلودگی مثل ذغال فعال و حتی سیلیکاژل در محفظه یا ویتترین آثار، راهکار مؤثری در کاهش آلاینده‌های گازی در آنها است. ناگفته نماند که ابعاد و اندازه ویتترین علاوه بر مسائل زیبایی‌شناسانه و کیفیت نمایش آثار، فاکتور مهمی دیگری است که می‌تواند بر کیفیت هوای درون آن به لحاظ غلظت آلاینده‌های گازی نیز اثرگذار باشد. آثار موجود در ویتترین‌های با ابعاد کوچک‌تر و تبادل هوای کم، بیشتر در معرض خطر آلاینده‌های داخلی هستند.

قرار دادن کوپن‌های فلزی و مشابه با تست اودی اما در شرایط واقعی در محیط موزه می‌تواند کیفیت هوا که ترکیبی از متغیرهای مختلف ریزاقليم، آلاینده‌ها و سرعت تبادل هوا است را به خوبی نشان دهد. آلاینده‌های آلی فرار مثل اسید استیک و اسید فرمیک بسته به ترکیب و ساختار شیمیایی مواد به نسبت‌های مختلف از آنها منتشر می‌شوند. نتایج بررسی کوپن‌های سرب مورد مطالعه نشان دادند که تأثیر این آلاینده‌ها در غلظت‌های کمتر از $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ روی آثار سربی با چشم غیر مسلح محسوس نیست. از سوی دیگر، پایین بودن میزان رطوبت نسبی حتی در شرایطی با غلظت بالای آلاینده‌های گازی خورنده مثل دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن، مانع از خوردگی آثار فلزی مثل مس می‌شود. البته برای دستیابی به اطلاعات دقیق‌تر، نیاز به انجام تحقیقات بیشتری است. همچنین با توجه به بافت‌های مختلفی که در اثر خوردگی روی کوپن‌های نقره در داخل و خارج از ویتترین‌ها ایجاد شدند، آنالیز شیمیایی و مطالعات ساختاری آنها می‌تواند کمک زیادی به بررسی فرآیند تارشدگی نقره نماید که در مقالات بعدی به آن نیز پرداخته خواهد شد.

لازم به توضیح است که اگرچه کیفیت هوا از طریق سه نوع فلز مس، نقره و سرب صورت می‌گیرد، اما به این معنی نیست که تنها کیفیت نگهداری آثار با چنین جنسیت‌هایی ارزیابی شود، بلکه این سه فلز نقش سنسور برای کیفیت هوا و آلاینده‌هایی هستند که می‌توانند سایر آثار همچون بافته‌ها، اسناد کاغذی و نقاشی‌ها را نیز تحت تأثیر قرار دهند. بنابراین بر اساس نتایج خوردگی کوپن‌های فلزی، می‌توان در خصوص شرایط نگهداری سایر آثار نیز پیش‌بینی لازم را به عمل آورد.

در نهایت نیز می‌توان نتیجه گرفت استفاده از روش رنگ‌سنجی در تشخیص زود هنگام خطر تهدیدکننده آثار از طریق تغییر رنگ کوپن‌های فلزی خصوصاً کوپن‌های سربی ناشی از تأثیر گازهای آلاینده اسیدی با دوز کم، بسیار مفید و کارآمد باشد.

شناخت مواد و مصالح موجود در بازار کشور و مورد استفاده در ساخت کابینت‌ها، ویتترین‌ها و مبلمان موزه‌ای و همچنین ارزیابی کیفی آنها از طریق تست اودی، بخش بعدی این پژوهش خواهد بود. در حال حاضر تست اودی، بهترین راهکار عملی برای آگاهی از انتشار آلاینده‌های گازی مضر مواد و شدت تأثیرگذاری آنها بر روی آثار است

که در انتخاب مواد و مصالح موجود در بازار با نام های تجاری یکسان اما کیفیت تولید متفاوت، کمک می نماید.

سپاسگزاری

در اینجا شایسته است از همکاری کلیه کسانی که ما را در انجام این پروژه یاری نمودند تشکر و قدردانی شود؛ همکاران آزمایشگاه تحقیقاتی راتگن و مسئولین حفاظت و مرمت موزه های پرگامون و بده در برلین، همکاران بخش حفاظت و مرمت موزه پرنس ویلز بمبئی، سرکار خانم لیلا سوداگر مسئول بخش حفاظت و مرمت و خانم پریسا کردبگلی امین اموال موزه رضا عباسی، همچنین سرکار خانم سمیرا حسینیان و جناب آقای مهدی کلیایی از بخش حفاظت و مرمت، و آقای نوشاد رکنی معاون پژوهشی کتابخانه و موزه ملی ملک. لازم به ذکر است که این پروژه با حمایت های مالی مؤسسه تبادلات دانشگاهی آلمان (DAAD) انجام شده است.

پی نوشت

1. Oddy test
2. Palmes
3. Corian
4. Netlon

منابع و مآخذ

- هادیان دهکردی، منبیه؛ وطن دوست، رسول؛ هرم، کریستف و سایمون، استفان (۱۳۹۵). اندازه گیری غلظت آلاینده های گازی NO_2 و SO_2 در محیط های موزه های تهران به روش غیرفعال. فصلنامه علوم محیطی، ۱۴ (۴)، ۱۷۴-۱۶۵.
- Ankersmit, H. A.; Tennenth, N. H. & Wattsc, S. F. (2005). Hydrogensulfide and carbonyl sulfide in the museum environment-Part 1. *Atmospheric Environment*, 39, 695- 707.
 - Ashenden, T. W. & Bell, S. A. (1991). Measuring field concentrations of nitrogen dioxide using diffusion tubes (Report). Bangor: Institute of Terrestrial Ecology.
 - Brommelle, N. (1956). Material for a History of Conservation. The 1850 and 1853 Reports on the National Gallery. *Studies in Conservation*, 2 (4), 176-188.
 - Byanju, R. M.; Gewali, M. B. & Manandhar, K. (2012). Passive sampling of ambient nitrogen dioxide using local tubes. *Environmental Protection*, 3, 177-186.
 - Byne, L. G. (1899). The corrosion of shells in cabinets. *Journal of Conchology*, 9 (6), 172- 176.
 - Calver, A.; Holbrook, A.; Thickett, D. & Weintraub, S. (2005). Simple methods to measure air exchange rates and detect leaks in display and storage enclosures in The Hague. **ICOM committee for conservation- 14th triennial meeting**. London: James & James: Earthscan. 597- 609.
 - Cao, X.; Wang, N. & Liu, N. (2009). Synergistic effect of chloride and NO_2 on the atmospheric corrosion of bronze. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, Volume 56 (6), 299-305.
 - Dubus, M.; Le-Ho, A.-S. & Moulherat, C. (2007). Impact of the textiles used to decorate museum showcases on the corrosion of silver collections. *Zeitschrift fuer kunsttechnologie und konservierung*, 21, 256-- 259
 - Dudzinska, M. R.; Staszowska, A. & Polednik, B. (2009). Preliminary study of effect of furniture and finishing materials on formaldehyde concentration in office rooms. *Environment Protection Engineering*, 35, 225- 233.



- Ford, D. & Adams, S. (1999). Deposition rates of particulate matter in the internal environment of two London museums. *Atmospheric Environment*, 33, 4901-4907.
- Gibson, L. & Brokerhof, A. (2001). A passive tube-type sampler for the deterioration of formaldehyde vapours in museum enclosures. *Studies in Conservation*, 46, 289- 303.
- Gibson, L. & Watt, C. (2010). Acetic and formic acids emitted from wood samples and their effect on selected materials in museum environments. *Corrosion Science*, 52, 172- 178.
- Grzywacz, C. M. (2006). **Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environment**. Los Angeles, USA: the Getty conservation institute.
- Gysels, K. & et al. (2004). Indoor environment and conservation in the Royal Museum of Fine Arts, Antwerp, Belgium. *Journal of Cultural Heritage*, 5, 221-230.
- Kontozova, V. & et al. (2005). Assessment of air pollution levels in some European museums and churches. **Cultural heritage conservation and environmental impact assessment by non-destructive testing and micro-analysis**. Van Grieken, R. & Janssens, K. (Eds.). Leiden, Netherlands: A.A. Balkema publishers, 245-263.
- 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**. Poland: Institute of Catalysis and Surface Chemistry. 23-29.
- Larkin, N.; Blades, N. & Makidou, E. (2000). Investigation of volatile organic ompounds associated with polyethylene and polypropylene container used for conservation storage. *The Conservator*, 24, 41- 51.
- Lopez-Aparicia, S. & et al. (2010). Measurement of organic and inorganic pollutants in micro climate frames for paintings. *e- preservation science*, 7, 59-70.
- Martin, G. & Blades, N. (1994). Cultural property environmental monitoring, Preprints of the contributions to IIC 1994 Ottawa Congress. **Preventive conservation: practice, theory and research**. London: Archetype Publications. 159-163.
- Mouratidou, T. & Samara, C. (2004). PM2.5 and associated ionic component concentrations inside the archaeological museum of Thessaloniki, N. Greece. *Atmospheric Environment*, 38, 4593-4598.
- Oddy, W. (1973). An unsuspected danger in display. *Museum journal*, 73, 27- 28.
- Pavlogeorgatos, G. (2003). Environmental parameters in museums. *Building and Environment*, 38, 1457- 1462.
- Podany, J. (2006). Corrosion of Metal Artifacts and Works of Art in Museum and Collection Environments. **ASM Handbook, Volume 13C: Corrosion: Environments and Industries**. In: Cramer, S. D. & Covino, B. S. J. (Eds.). Novelty Ohio: ASM International. 279- 288.
- Reddy, M.; Suneela, M.; Sumathi, M. & Reddy, R. (2005). Indoor air quality Salarjung Museum, Hyderabad, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 105, 359-367.
- Ryer, A. (1998). **Light Measurement Handbook**. Newburyport-USA: International Light Inc.
- Ryhl-Svensden, M. (2006). Indoor air pollution in museums: a review of prediction models and control strategies. *Reviews in Conservation*, 7, 27-41.
- Salthammer, T.; Mentese, S. & Marutzky, R. (2010). Formaldehyde in the Indoor Environment. *Chem. Rev.*, 110, 2536- 2572.

- Schieweck, A. & et al. (2007). Occurrence of organic and inorganic biocides in the museum environment. *Atmospheric Environment*, 41, 3266-3274.
- Schieweck, A. & Salthammer, T. (2009). Emissions from construction and decoration materials for museum showcases. *Studies in Conservation*, 54, 218- 235.
- Schieweck, A. & Salthammer, T. (2011). Indoor air quality in passive type museum showcases. *Journal of Cultural Heritage*, 12 (2), 205- 213.
- Šenitková, I. & Tomčík, T. (2013). Interior Materials Impact to Indoor Air Quality. *Advanced Science Letters*, 19 (3), 955- 959.
- Tetreault, J. (2003). **Airborne pollutants in museums, galleries and archives: Risk assessment, control strategies and preservation management**. Ottawa: Canadian Conservation Institute.
- Tetreault, J. & et al. (2003). Corrosion of copper and lead by formaldehyde, formic and acetic acid vapours. *Studies in conservation*, 48, 237- 250.
- Thickett, D. (1998). Sealing of MDF to prevent corrosive emissions. *Conservator*, 22, 4956-.
- Thickett, D.; Stanley, B. & Booth, K. (2008). Retrofitting old display cases. **ICOM committee for conservation- 15th triennial meeting**. New Delhi; Mumbai; Kolkata: Allied Publishers Pvt. Ltd. 775- 782.
- 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**. Germany, Hemsbach: Beltz Druckpartner GmbH & Co. KG. 62-69.
- Whitmore, P. M. & 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.





Received: 2018/10/08

Accepted: 2020/05/10

Environmental monitoring of display cases in museums to consider the impact of display cases characteristics on their inner air quality

Manijeh Hadian Dehkordi* **Rasool Watan Doost****
Christoph Pyramid*** **Stephen Simon******

Abstract

1

While technical characteristics, such as material used in the construction of display cases and their dimensions are important factors in terms of presentation quality as well as attracting the attention of the visitors, they can influence the inner air quality of the display case and preservation conditions of the exhibits too. This study intends to examine the effect of the technical characteristics of display cases in 6 museums located in the cities of Tehran, Berlin, and Bombay on the interior air quality in terms of chemical composition and corrosion potentials by adopting the results obtained from the analysis and examination of the environment.

In the course of the investigation, the manufacturing materials in the display cases were considered. Furthermore, the air exchange rate through the carbon dioxide tracer gas was measured, the concentration of gaseous pollutants (emitted from display case materials) via passive sampling by Palmes tubes and analysis of the samples by IC, HPLC and UV/visible spectrophotometer were carried out. Furthermore, the corrosive potential of the display cases was evaluated by copper, silver, and lead metal coupons. The results showed that the use of synthetic or natural materials in the construction of display cases even with low emission, acetic and formic acid, and formaldehyde might be increased in the airtight display cases with low air exchange rate over time because of accumulation of pollutants. These gaseous pollutants could damage the exhibits in the display cases. On the other hand, the dimensions of the display case are inversely proportional to the concentration of pollutants. In the same way, larger display cases show lower concentrations of pollutants. Therefore, the choice of materials and the air exchange rate of display cases play an important role in the air quality within the display case, which also affects the quality of the conservation and preservation of the exhibits.

Keywords: Museum, Display case, Environmental monitoring, Gaseous pollutants, Corrosion potential, Materials

* Assistant Professor, Cultural Heritage and Tourism Research Institute.

** Assistant Professor, Islamic Azad University.

*** Professor at the University of Fine Arts in Dresden, Germany.

**** Professor at Yale University - USA, New Haven.

m_hadian@yahoo.com

arv@ysc-restauro.com

herm@hfbk-dresden.de

stefan.simon@yale.edu