تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۵
تاریخ پذیرش مقاله: : ۱۳۹۵/۱۲/۲

استفاده از الاستومرها برای تخمین غلظت گاز ازون در محیط موزه[۱]

منیژه هادیان دهکردی[۲]، رسول وطن‌دوست[۳]، کریستف هرم[۴]، استفان سایمون[۵]

چکیده

خطرات ناشی از گاز ازون برای آثار تاریخی و هنری، همچنین محدودیت‌های دسترسی و غیر قابل استفاده بودن دستگاه‌های سنجش گاز ازون در کلیهٔ محیط‌های موزه‌ای، نیاز به ابزار پایش ساده، مقرون به صرفه، و قابل استفاده در موزه برای سنجش این گاز را دوچندان کرده است. از سوی دیگر الاستومرها موادی پلیمری با واکنش‌پذیری بالا نسبت به گاز ازون هستند و در این میان لاتکس که از الاستومرهای طبیعی محسوب می‌شود، بیش‌ترین حساسیت را نسبت به این آلایندهٔ گازی دارد. همین امر موجب شده است که این ماده به عنوان دُزی‌متر گاز ازون مورد توجه قرار گیرد.

در این تحقیق به منظور دستیابی به دزی‌متر ازون، اثر این گاز بر روی نوارهای لاتکسِ تهیه‌شده در شرایط مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار از یک محفظهٔ کهنگیِ مجهز به ژنراتور گاز ازون استفاده شد. از آنجا که اکسایش نوارهای لاتکس در محیط می‌تواند تحت اثر پرتوهای UV نیز اتفاق بیفتد، برای بررسی این فرایند و در مقایسه با گاز ازون نمونه‌های آزمایشی با استفاده از لامپ UV با طول موج ۲۵۴ و ۳۶۶ (nm) نیز کهنه شدند. کلیهٔ بررسی‌های فوق در درجهٔ حرارت ^{o}C ۲۴ و ۴۰٪ رطوبت نسبی انجام شد. نوارهای لاتکسِ دست‌نخورده و کهنه‌شده با استفاده از روش طیف‌سنجی ATR-FT-IR و میکروسکوپ دیجیتال مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که اثر اکسیدکنندگی گاز ازون و اکسایش پرتوهای UV بر روی نوارهای لاتکس متفاوت و قابل تمیز هستند. از سوی دیگر با انجام کالیبراسیون نوارهای لاتکس می‌توان غلظت گاز ازون را در محیط تخمین زد. برای راستی‌آزمایی غلظت گاز ازونِ حاصل از نوارهای لاتکس در محیط موزه از دستگاه سنجش گاز ازون استفاده شد و نتایج مورد تأیید قرار گرفت.

کلیدواژه‌ها: الاستومر، ازون، موزه، پرتوهای ماوراء بنفش، لاتکس.

---

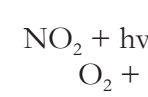
۱. این مقاله بر گرفته از پایان‌نامهٔ ذیل است:
Hadian Dehkordi, M. (2015). *Air Quality in the Museum Environment Exemplary Investigations on Air Pollutants in Berlin, Tehran and Mumbai Museums* (Thesis). Dresden: Academy of Fine Arts, Dresden.

۲. کارشناس پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت آثار تاریخی ـ فرهنگی، تهران، m_hadian@yahoo.com
۳. استادیار گروه مرمت آثار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، تهران، arv@ysc-restauro.com
۴. استاد گروه تکنولوژی هنر و حفاظت و مرمت آثار دانشگاه هنرهای زیبای درزدن، herm@serv1.hfbk-dresden.de
۵. استاد دانشگاه ییل، نیو هاون، stefan.simon@yale.edu

مقدمه

گاز ازون اثرات اکسیدکنندگی قوی روی مواد آلی و از جمله آثار موجود در موزه‌ها دارد که از طریق شکستن پیوندهای کربنی دوگانه می‌تواند باعث ترک و تغییر رنگ در بافته‌ها، نقاشی‌ها، آثار کاغذی، لاستیک‌ها (ایزوپرن‌ها، کلروپرن‌ها)، و بعضی از پلاستیک‌ها (پلی‌اورتان‌ها) شود. همچنین اثرات هم‌افزایی این گاز با گازهای دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن نیز روی خوردگی آثار فلزی و سنگ‌های آهکی اثبات شده است (Kucera & Fitz, 1995; Pretzel, 2003; Jaffe, 1967).

این آلایندهٔ گازی در لایهٔ استراتوسفر کرهٔ زمین با جذب پرتوهای ماوراء بنفش، نقش حفاظتی برای آن دارد که برای امکان و تداوم زندگی روی کرهٔ زمین حیاتی است. از سوی دیگر این گاز به عنوان آلایندهٔ ثانویه حاصل از ترافیک در اثر تولید گازهای دی‌اکسید نیتروژن و تابش پرتوهای UV در جو کرهٔ زمین (تروپوسفر) نیز تشکیل می‌شود (واکنش ذیل) (ARB, 2005: 3-6). علاوه بر این دستگاه‌های الکترونیکی مثل فتوکپی‌ها، اسکنرها، دستگاه‌های ضد عفونی‌کننده با پرتوهای UV از دیگر منابع تولید کنندهٔ این گاز در محیط‌های داخلی هستند.



$$NO_2 + hv \rightarrow NO + O$$
$$O_2 + O \rightarrow O_3$$

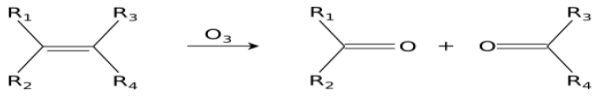
روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری غلظت این گاز در محیط وجود دارد. این روش‌ها به وسیلهٔ دستگاه با نمونه‌گیری فعال با استفاده از پمپ و یا نمونه‌گیری غیر فعال (پسیو) با استفاده از تیوب‌های مخصوص و مواد جاذب صورت می‌گیرند (Adon et al., 2010). با توجه به شرایط محیطی خاص در موزه‌ها هر کدام از این روش‌ها محدودیت‌هایی برای اندازه‌گیری خواهند داشت که گاه انجام آن را غیر ممکن می‌سازند. از سوی دیگر در دسترس نبودن دستگاه‌های مورد نیاز و متخصص مربوطه برای همهٔ موزه‌ها و هزینه‌های سرسام‌آور آنها، مسئولان موزه‌ها را از انجام چنین مطالعاتی منصرف می‌کند.

به همین علت امروزه استفاده از دزی‌مترهای ساده و مقرون به صرفه برای بررسی شرایطِ محیطی موزه‌ها در اولویت قرار گرفته است. مقالهٔ حاضر حاصل تحقیقات انجام‌شده برای دستیابی به روشی برای تخمین غلظت گاز ازون و در عین حال قابل به کار بستن در بخش‌های مختلف در موزه‌ها اعم از سالن‌های نمایش، مخازن و ویترین‌هاست (Hadian Dehkordi, 2015).

پیشینهٔ تحقیق

مطالعات نشان داده است که ترکیبات آلی غیر اشباع مانند الاستومرها نسبت به ازون بسیار حساس هستند و سرعت واکنش ازون با این مواد به ترتیب ذیل است: پلی ایزوپرن> پلی بوتادی‌ان> پلی کلروپرن (Huntink, 2003: 18).

اثر گاز ازون بر روی الاستومرها از طریق حمله به پیوندهای دوگانه آغاز می‌شود (تصویر ۱).



تصویر ۱. واکنش ازون و الاستومرها (Huntink, 2003)

از آنجا که اکسیداسیون الاستومرها به وسیلهٔ گاز ازون به طور خاص با ایجاد ترک‌های موازی و عمود بر جهت کشش آنها اتفاق می‌افتد و از سوی دیگر لاتکس (لاستیک طبیعی) با ترکیب شیمیایی پلی ایزوپرن به عنوان یکی از حساس‌ترین الاستومرها نسبت به گاز ازون است، استفاده از این ماده به عنوان دزی‌متر برای اندازه‌گیری غلظت گاز ازون مورد توجه قرار گرفته است (Niyogi, 2007, Huntink, 2003: 19-20).

لازم به ذکر است که اکسیداسیون لاتکس می‌تواند از طریق اکسیژن و پرتوهای ماوراء بنفش نیز صورت گیرد. برخی تحقیقات نشان داده است این واکنش برخلاف اکسیداسیون ازون از طریق شکستن پیوندهای

متیل در این نوع مواد صورت می‌گیرد (Niyogi, 2007: 21-22). در این تحقیق به منظور ارزیابی دقیق‌تر لاتکس و محدودیت‌های استفاده از آن به عنوان دزی-متر در محیط موزه، اثرات اکسیدکنندگی ازون و فتواکسیداسیون بر روی آن مقایسه شده است.

روش تحقیق

برای انجام این تحقیق از نوارهای لاتکس (سیس پلی‌ایزوپرن) استفاده شد. این نوارها با عرض ۲/۵ سانتی‌متر و طول ۵ و ۷ و ۱۰ سانتی‌متری بر روی قاب پلکسی‌گلاس به عرض ۱۰ سانتی‌متر به کمک کلیپس‌های فلزی تثبیت شدند (تصویر ۲). به هنگام نصب نوارها هر یک از دو نوار اولیه ترتیب کششی معادل ۱۰۰ درصد، ۴۰ درصد به همراه دارند در حالی که نوار سوم و بدون کشش و در حالت عادی است. نیروی کشش ذخیره‌شده در هر یک از این نوارها، حساسیت آنها را نسبت به گاز ازون و سرعت ترک خوردن تغییر می‌دهد.

تصویر ۲. دزی‌مترهای ساخته‌شده از نوارهای لاتکس (Hadian, 2015:63).

مطالعات نوارها در دو شرایط کهنگی با گاز ازون و پرتوهای ماوراء بنفش صورت گرفتند (ASTM D1149, 2012; ASTM D1148-13, n.d.; Ryhl-Svendsen, 2009; dos Santos et al., 2005). به این منظور نوارهای آماده-شده در محفظهٔ کهنگی مصنوعی (TIRA environment simulation climate chamber) تحت اثر گاز ازون با غلظت ۷۰ ppb و درجهٔ حرارت ۲۴ °C و رطوبت نسبی ۴۰٪ قرار داده شدند. برای بررسی اثر فتواکسیداسیون بر روی نوارهای لاتکس نیز از دستگاه DESAGA Min UVIS پرتوهای ماوراء بنفش با دو طول موج ۲۵۴ و ۳۶۶ نانومتر در همان شرایط دما و رطوبت نسبی بالا استفاده شد.

بررسی تغییرات ساختاری نوارها به وسیلهٔ میکروسکوپ دیجیتالVHX-500FDKEYENCE و تغییرات شیمیایی آنها به وسیلهٔ دستگاه طیف‌سنجی ATR-FT-IR (Perkin Elmer Spectrum 100 spectroscopy) در ناحیهٔ cm^{-1} ۴۰۰۰-۵۷۰ و رزولوشن cm^{-1} ۴ صورت گرفت.

برای راستی آزمایی نتایج حاصل از نوارهای لاتکس برای تخمین گاز ازون، از دستگاه سنسور ازون (FY 9600-O3) نیز برای اندازگیری غلظت این گاز در محیط موزه استفاده شد. شدت پرتوهای ماوراء بنفش محیط موزه نیز به وسیلهٔ حس‌گر ALMEMOUVA Radiation Probe Head FLA 613 UVA اندازه‌گیری شدند.

نتایج و بحث

کهنگی مصنوعی نوارهای لاتکس

همزمان با قرار دادن نوارهای لاتکس در چند محیط موزه‌ای، به منظور بررسی چگونگی و شدت اثرگذاری هر یک از عوامل گاز ازون و پرتوهای ماوراء بنفش روی آنها نمونه‌هایی نیز تحت شرایط ذکرشده در فوق (روش تحقیق) به طور مصنوعی کهنه شده و با روش‌های میکروسکوپی و طیف‌سنجی مادون قرمز مورد بررسی قرار گرفتند که در ذیل نتایج آن مقایسه شده و مورد بحث قرار گرفته است.

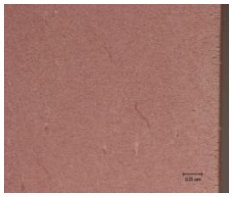
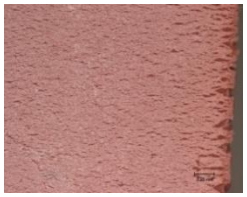
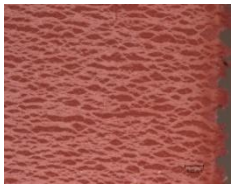
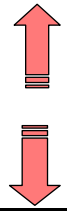
ویژگی‌های ظاهری

همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است اثر گاز ازون روی لاتکس به طور ظاهری با سفید شدن سطح آن آغاز می‌شود. یکی از دلایل این سفیدشدگی، وجود مواد پروتئینی در لاتکس ذکر شده است که با کهنگی و ترک‌خوردگی ساختار لاتکس این مواد آزاد و

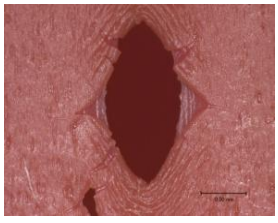
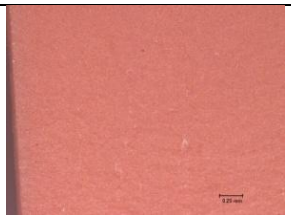
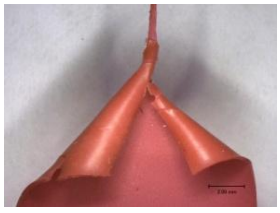
در معرض محیط قرار می‌گیرند (Andries & Diem, 1974). با افزایش اثر ازون ترک‌های ریز در سطح آن ظاهر می‌شود و به‌تدریج ضمن برگشت رنگ اصلی لاتکس، بر عمق و پیشروی ترک‌ها اضافه می‌شود تا نهایتاً به پارگی منجر شود. نوارهای لاتکس بدون کشش یا در حالت عادی فقط دچار تغییر رنگ (سفیدشدگی) در سطح شدند و نوارهای با کشیدگی ۱۰۰٪ زودتر تحت اثر ازون قرار گرفتند.

تصاویر جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر پرتوهای ماوراء بنفش بر روی لاتکس با اثر ازون بر آن تفاوت دارد. به این ترتیب که بسته به طول موج این پرتوها، کهنگی لاتکس همراه با تغییر فرم و رنگ در سطح خواهد بود. با افزایش کهنگی، نوارهای لاتکس انعطاف خود را از دست داده و در اثر سوراخ‌های ریز و یا ترک‌های بدون جهت نهایتاً پاره خواهند شد.

جدول ۱. تغییرات ایجادشده در لاتکس تحت اثر گاز ازون (Hadian, 2015: 141).

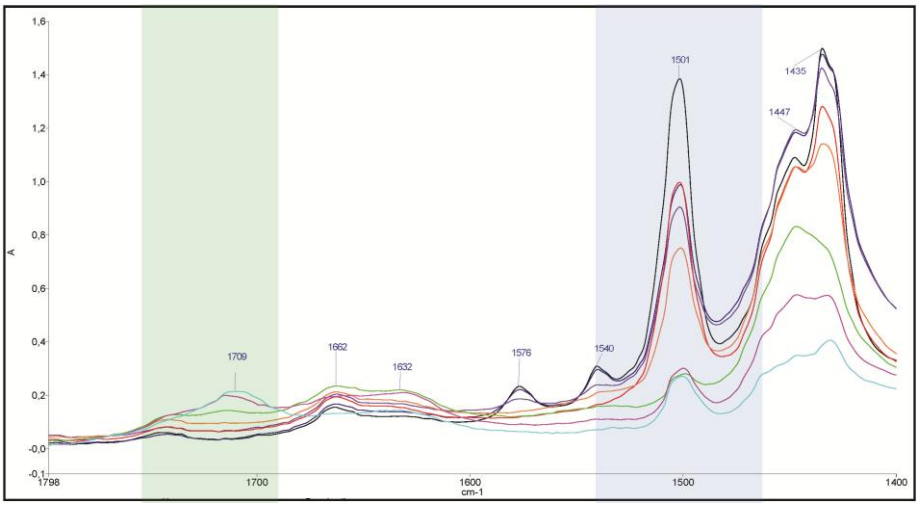
میزان ازون (ppb ×day)	۷۰	۴۹۰	۹۸۰	۱۷۴۰
تغییرات ناشی از ازون				
	سفیدک، ترک‌های بسیار ریز	سفیدک و ترک‌های درشت	بازگشت به رنگ اصلی، پیشرفت ترک‌ها	پارگی

جدول ۲. تغییرات ایجادشده در لاتکس تحت اثر پرتوهای ماوراء بنفش (Hadian, 2015:142).

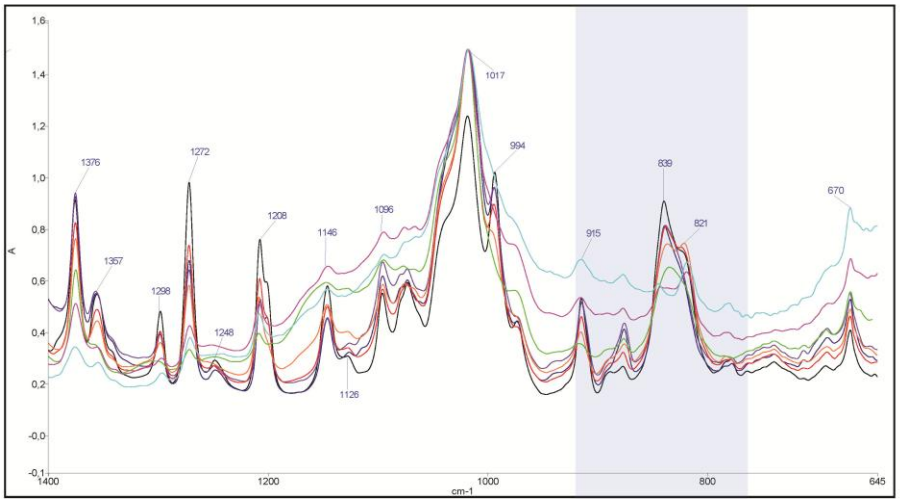
میزان تابش UV (μW/cm²×hour)	۱۲۴۸	۲۴۹۶	۳۱۲۰
تغییرات ناشی از ۲۵۴UV μW/cm²)۲۶(			
	تغییر فرم و رنگ در سطح ()	پوست فیلی، ترک و سوراخ	تقریباً پاره‌شده
میزان تابشUV (μW/cm²×hours)	۳۰۹۶۰	۱۲۳۸۴۰ (۱۲۳ mW/cm²)	۱۳۸۴۶۰ (۱۳۸ mW/cm²)
تغییرات ناشی از UV۳۶۶ (۴۳۰μW/cm²)			
	تغییر فرم در سطح	تغییر رنگ، سوراخ های ریز و ترک‌های بدون جهت	غیر قابل انعطاف و تقریباً پاره‌شده

طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز

ساختار مولکولی هر یک از نوارهای لاتکس پس از کهنگی مصنوعی با گاز O_3 و پرتوهای UV با روش ATR-FT-IR نیز بررسی و مقایسه شد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود یک تغییر قابل توجه در ناحیهٔ (cm^{-1}) ۱۵۰۲ و ۱۷۲۲ دیده می‌شود. این تغییرات که به ترتیب به صورت ناپدید شدن پیک در ناحیهٔ اول و به وجود آمدن پیک در ناحیهٔ دوم با افزایش غلظت گاز ازون هستند. این در حالی است که تغییرات فوق در نوارهای لاتکس کهنه‌شده با پرتوهای UV متفاوت با ازون است. البته در ناحیهٔ (cm^{-1}) ۱۵۴۰ نیز یک تفاوت قابل توجه بین اثرات ازون و پرتوهای UV دیده می‌شود که به ترکیبات پروتئینی موجود در لاتکس نسبت داده می‌شود (Eng et al., 1998). در بخش ویژگی‌های ظاهری نیز به این ترکیبات به صورت سفیدک در سطح نوارهای لاتکس در اثر کهنگی ازون اشاره شد.



تصویر ۳. مقایسهٔ طیف ATR-FT-IR نوارهای لاتکس پس از کهنگی مصنوعی با گاز ازون (بالا) و پرتوهای UV (پایین) در ناحیهٔ ۱۴۰۰ تا ۱۷۲۰ (cm^{-1})، رنگ سیاه مربوط به طیف لاتکس اصلی است (Hadian, 2015: 145-149).



تصویر ۴. مقایسهٔ طیف ATR-FT-IR نوارهای لاتکس پس از کهنگی مصنوعی با گاز ازون (بالا) و پرتوهای UV (پایین) در ناحیهٔ ۶۴۰ تا ۱۳۰۰(cm^{-1}) (Hadian, 2015: 145-149).

در طیف ATR-FT-IR نوارهای لاتکس در ناحیهٔ (cm^{-1}) ۶۴۰ تا ۱۳۰۰ نیز یک تفاوت اساسی دیده می‌شود که مربوط به گروه‌های متیل در ناحیهٔ (cm^{-1}) ۸۴۱ است. همان‌طور که مقایسهٔ دو طیف نشان می‌دهد گروه‌های متیل تحت اثر پرتوهای UV قرار می‌گیرند. به طوری که با افزایش این اثر نهایتاً پیک این ناحیه حذف می‌شود (dos Santos et al., 2005: 37). از آنجا که ازون روی این گروه‌ها اثر کمی دارد یا این گروه‌ها مورد حمله‌ی ازون قرار نمی‌گیرند، لذا همچنان پیک آنها باقی می‌ماند (Ryhl-Svendsen, 2009).

کهنگی طبیعی نوارهای لاتکس و غلظت گاز ازون در محیط‌های موزه‌ای

نوارهای قرار داده‌شده در محیط‌های سه موزه در شهر برلین به نام موزهٔ بده (Bode Museum)، موزهٔ آسیا و موزهٔ هنرهای اسلامی در پرگامون (Pergamon Museum) بر اساس مدت زمان لازم برای پاره شدن آنها و تا سقف یک سال مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بررسی میکروسکوپی و طیف‌سنجی ATR-FT-IR این نوارها در مقایسه با نمونه‌های کالیبره‌شده در شرایط مصنوعی، غلظت این گاز را در مکان‌های مورد نظر به شرح جدول شمارهٔ ۳ نشان می‌دهد. غلظت گاز O_3 در این مکان‌ها نیز به وسیلهٔ حس‌گر FY 9600-O3 نیز اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست‌آمده نیز در جدول ۳ خلاصه شده است.

غلظت گاز ازون در محیط شهری

میانگین غلظت گاز ازون طبق گزارش هواشناسی (Stülpnagel et al., 2013) ایستگاه‌های حوالی موزه‌های فوق در جدول ۴ خلاصه شده است. تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که معمولاً غلظت گاز ازون در محیط‌های داخلی ۳۰ درصدِ غلظت آن در محیط بیرون است اما گاه در محیط موزه این مقدار به ۸۰٪ نیز می‌رسد (Ryhl-Svendsen, 2009). لذا نتایج به‌دست‌آمده در مقایسه با غلظت گاز ازون در خیابان‌های اطراف موزه نیز قابل قبول است.

شدت پرتوهای UV منابع نوری طبیعی و مصنوعی در موزه

شدت پرتوهای UV در مکان‌های مطالعه‌شده ـ که دارای منابع روشنایی طبیعی و مصنوعی فیلترشده بودند ـ نیز با استفاده از حس‌گر ALMEMO UVA Radiation Probe Head FLA 613 UVA اندازه‌گیری شد. شدت این پرتوها در مکان‌های مورد نظر در محیط موزه کم‌تر از $\mu W/cm^2$ ۵ بود. پرتوهایی با چنین شدت، اثر بسیار کمی روی نوارهای لاتکس و میزان ازون اندازگیری‌شده دارند (Ryhl-Svendsen, 2009). لازم به ذکر است که لامپ‌های فلورسنت بدون پوشش، میزان شدت $\mu W/cm^2$ ۳۰–۲۰ را برای پرتوی ماوراء بنفش نشان دادند.

نتیجه‌گیری

طبق نتایج به‌دست‌آمده می‌توان موارد ذیل را به عنوان نتیجهٔ کلی این پژوهش ذکر کرد.

- اثر گاز ازون و پرتوهای UV بر روی لاتکس از طریق دو مکانیسم متفاوت شیمیایی انجام می‌شود. همچنین ویژگی‌های ظاهری و فیزیکی لاتکس تحت اثر این عوامل متفاوت و قابل تشخیص هستند.
- با کالیبره کردن نوارهای لاتکس در غلظت‌های مختلف ازون می‌توان به خوبی میزان گاز ازون در محیط را تخمین زد.
- این روش قابلیت بررسی غلظت گاز ازون در تمامی محیط‌های موزه‌ای اعم از سالن‌های نمایش، ویترین و مخازن را دارد.
- این روش بدون نیاز به ابزارهای تخصصی و الکتریکی، مقرون به صرفه و امکان مقایسهٔ همزمان چندین محل را به لحاظ آلایندهٔ گاز ازون فراهم می‌کند.

جدول ۳. نتایج اندازگیری غلظت گاز O_3(ppb) با نوار لاتکس و حس‌گر ازون (Hadian, 2015: 162)

مکان مورد مطالعه	تخمین غلظت ازون با نوارهای لاتکس	میانگین غلظت گاز ازون با حس‌گر FY 9600-O3	ماکزیمم غلظت گاز ازون با حس‌گر FY 9600-O3
موزهٔ بده، گالری ایتالیا، رونسانس ـ هنر باروک	≤۲۲	۱۹	۳۸
موزهٔ بده، گالری آلمان و هلند ـ هنر باروک	۱۲	۹	۱۴
موزهٔ پرگامون، گالری یافته‌های باستان‌شناختی آشور	≤۳۸	۲۰	۶۰
موزهٔ پرگامون، گالری دروازهٔ ایشتار	≤۱۶	۲	۳۸
موزهٔ پرگامون، اطاق حلب ۱	≤۲۲	۱۰	۴۰
موزهٔ پرگامون، اطاق حلب ۲	۶	۲	۸

جدول ۴. میانگین غلظت گاز ازون در مرکز شهر برلین و حوالی موزه‌های مطالعه‌شده.

ماه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	ماکزیمم
O3 (ppb)	۳۱	۱۸	۹	۲۱/۵	۶۰

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از همکاری آزمایشگاه تحقیقاتی راتگن، موزهٔ هنر و مجسمه‌سازی بیزانس (Bode Museum) و موزهٔ پرگامون (Pergamon Museum) و همچنین موسسهٔ فدرال تحقیقات و آزمایشات مواد (BAM) در برلین برای انجام مطالعات لازم و از موسسهٔ تبادلات دانشگاهی آلمان (DAAD) برای حمایت مالی پروژه تشکر و قدردانی می‌کنیم.

منابع

Adon, M. et al., (2010). "Long term measurements of sulfur dioxide, nitrogen dioxide, ammonia, nitric acid and ozone in Africa using passive samplers". in *Atmospheric chemistry and physics,* Volume 10, pp. 7467-7487.

Andries, o. C. & H. E. Diem. (1974). "A study of ozone attack on eleastomer surfaces by attenuated total reflectance spectroscopy". in *Polymer Science,* Volume 12, pp. 281-286.

Air Resources Board (ARB), California Environmental Protection Agency, (2005). *Review of the California Ambient Air Quality Standard For Ozone*, Volume II of IV, Chapters 3-8

ASTM D1148, n. d. Standard Test Method for Rubber Deterioration—Discoloration from Ultraviolet (UV) or UV/Visible Radiation and Heat Exposure of Light-Colored Surfaces, Conchohoken, PA, USA: American Society for Testing Materials.

ASTM D1149. (2012). Standard Test Methods for Rubber Deterioration—Cracking in an Ozone Controlled Environment, Conchohoken, PA, USA: American Society for Testing Materials.

Chen, R. A. (1995). *Elastomeric bridge bearings: Ozone protection, leachate analysis and a national survey on movement* (Thesis), Texas: The university of Texas at Austin.

Dos Santos, K & P. Suarez, & Rubim, J. (2005). "Photo-degradation of synthetic and natural polyisoprenes at specific UV radiations". in *Polymer Degradation and Stability*, Volume 90, pp. 34-43.

Eng, A & S. Kodama & K. Nagata & H. Kawasaki. (1998). "Reaction of moist ozone with natural rubber: A study by Attenuated total reflectance spectroscopy". in *Journal of Rubber Research*, Volume 1, pp. 133-145.

Hadian Dehkordi, M. (2015). *Air Quality in the Museum Environment Exemplary Investigations on Air Pollutants in Berlin, Tehran and Mumbai Museums* (Thesis), Dresden: Academy of Fine Arts, Dresden.

Huntink, N. M. (2003). *Durability of rubber development of new antidegradants for long-term protection* (Thesis), Enschede, The Netherlands: Twente University Press.

Jaffe, Louis S. (1967). "The Effects of Photochemical Oxidants on Materials". *Journal of the Air Pollution Control Association*, 17:6, 375-378

Kucera, V. & S. Fitz. (1995). "Direct and indirect air pollution effects on materials includind cultural monuments". in *Water, Air and Soil pollution*, Volume 85, pp. 153-165.

Niyogi, U. K. (2007). "Polymer Additives and Compounding, Additives for Rubbers". Dehli, Shri Ram Institute for Industrial Research, nsdl.

natural rubber dosimeter: Quantitative measurement using light microscopy and attenuated total reflectance spectroscopy". in *Zeitschrift fuer kunsttechnologie und konservierung*, Volume 21, pp. 240-249.

niscair. res. in/jspui/.../2/revised%20additives%20for%20rubber. pdf.

Pretzel, B. (2003). "Materials and their interaction with museum objects". in *V&A conservation journal*, Volume 44, pp. 9-13.

Ryhl-Svendsen, M. (2009). "Ozone detection using