



مروری بر روش‌های شناخت و اندازه‌گیری آلاینده‌های نشر شده از چاپگرهای لیزری

نرگس مرتجی^۱، محمدابراهیم علیا^{۲*}، مریم عطائی فرد^۳

۱- دانشجوی دکتری، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، گروه پژوهشی رنگ و محیط زیست، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵۴-۶۵۴

۲- استادیار، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، گروه پژوهشی رنگ و محیط زیست، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵۴-۶۵۴

۳- استادیار، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، گروه علوم و فناوری چاپ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵۴-۶۵۴

تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۲۶ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۳/۱۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۸ در دسترس بصورت الکترونیک: ۹۳/۱۲/۱۹

چکیده

نظر به اهمیت کیفیت بالای هوا در محیط‌های بسته و از آنجایی که به‌طور متوسط روزانه ۸۰٪ از زمان افراد در این محیط‌های بسته داخلی سپری می‌شود، کیفیت هوا بر عملکرد و سلامت افراد تأثیر به‌سزایی دارد. تا کنون، منابع آلاینده متفاوتی برای محیط‌های بسته داخلی شناخته شده‌اند که یکی از اصلی‌ترین آن‌ها دستگاه‌های الکترونیکی و چاپگرها هستند. آلاینده‌های خطرناکی شامل انواع آلاینده‌های آلی و غیرآلی، ذرات ریز معلق، ذرات بسیار ریز معلق و ازن که هر یک به‌نوبه خود اثرات نامطلوبی بر سلامتی انسان دارند، از قسمت‌های مختلف چاپگرها منتشر می‌شوند. چاپگرها از قسمت‌های متفاوتی تشکیل شده‌اند و مطالعات نشان داده که امکان نشر آلاینده‌ها از تمامی این قسمت‌ها وجود دارد. به‌طور کلی باید در نظر داشت که عوامل مختلفی از قبیل نوع چاپگر، شرایط دمایی فیوزینگ و غیره بر آلاینده‌ها موثر می‌باشند. طبق تحقیقات انجام شده، چاپگرهای لیزری آلاینده‌های بیشتری نسبت به دیگر انواع چاپگرها و سایر دستگاه‌های الکترونیکی دارند. از آنجایی که چاپگرهای لیزری یکی از متداول‌ترین نوع چاپگرها، در تمامی محیط‌ها اعم از خانگی، اداری و غیره می‌باشند، از این‌رو در این بررسی چاپگرهای لیزری مدنظر قرار گرفتند. جهت سنجش آلاینده‌های نشر شده از چاپگرها، دو روش متداول و پذیرفته شده موجود است. اندازه‌گیری در محیط واقعی و اندازه‌گیری در محفظه‌ای که مطابق استاندارد ۹-ISO ۱۶۰۰۰ ساخته شده باشد. برای شناسایی آلاینده‌ها از دستگاه کروماتوگرافی گازی و طیف‌سنج جرمی GC/MS برای شناسایی آلاینده‌های آلی، دستگاه توزیع اندازه ذرات PSA برای شمارش و تعیین اندازه ذرات نشر شده، دستگاه سنجش ازن برای اندازه‌گیری میزان ازن نشر شده و دستگاه طیف‌سنج فلورسانس پرتو ایکس XRF برای شناسایی عناصر غیرآلی استفاده می‌شود.

واژه‌های کلیدی

چاپگر لیزری، کیفیت هوای محیط بسته داخلی، آلاینده‌های آلی، ذرات ریز معلق.

چکیده تصویری





A review of methods for identifying and measuring pollutant emission from laser printers

Narges Mortaji¹, Mohammad Ebrahim Olya^{1*}, Maryam Ataefard²

1- Department of environmental research, Institute for color science and technology, P. O. Box: 16765-654, Tehran, Iran.

2- Department of printing science and technology, Institute for color science and technology, P. O. Box: 16765-654, Tehran, Iran.

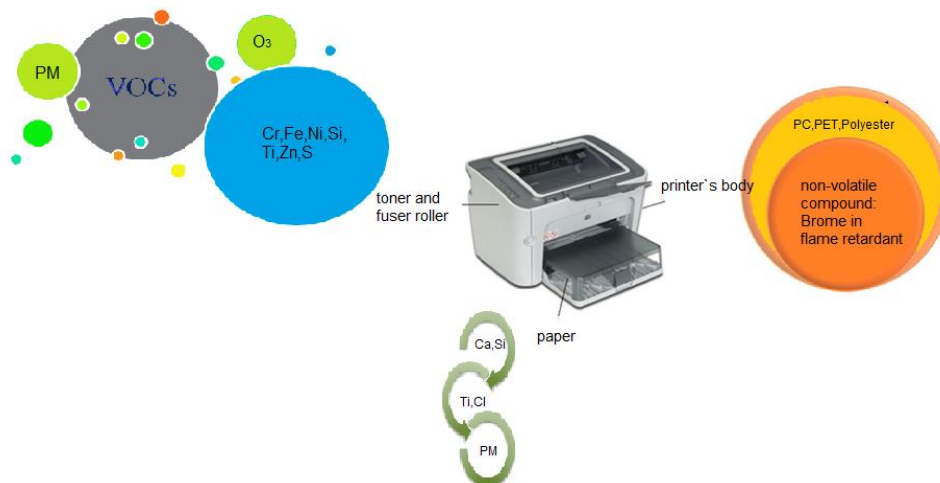
Abstract

Indoor air quality is one of the significant issues. Nowadays, people spend more than 80% of their time in an indoor environment, so the quality of air can have influential effects on people's health. Many pollution sources are known so far. One of the important is electronic devices and printers. Volatile organic compounds (VOCs), particulate matters, ultra-fine particulate matters and ozone are emitted from these devices. A printer is made of several parts that the pollutant can be emitted from them. Generally, there are some effective parameters on emitting such as temperature of fusing, kind of printers and etc. In this research, we focused on laser printers because this is one of the common printers in every environment such as home, school and etc whereas they are the biggest group of pollutant printers. Real room and chamber measurement are two types to measuring the amount of pollutants. ISO 16000 is the acceptable standard for measuring in the chamber. Gas chromatography and mass spectroscopy (GC/MS) to detect the volatile organic compounds, particle size analyzer to detect and count the particulate matters, and ozone analyzer to identify the ozone, X ray fluorescence to detect the inorganic compound were used.

Keyword

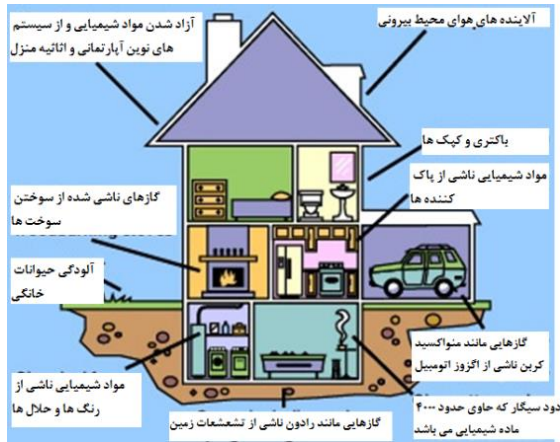
Laser printers, Indoor air quality, Volatile organic pollutants, Particulate matters.

Graphical Abstract



۱- مقدمه

از آن جا که هوا ضروری ترین ماده برای ادامه حیات موجودات زنده است و میزان روزانه مصرف آن توسط انسان حدود سه برابر آب و شانزده برابر غذاست، آلودگی هوا به مراتب خطرناک تر از آلودگی آب و غذا می باشد. علی رغم دانستن این مطالب، سالانه میلیون ها تن مواد آلاینده وارد هوای تنفسی انسان ها می شود. آلودگی هوا به معنی حضور اجزایی در جو زمین است که در نتیجه فعالیت های بشر و یا توسط فرآیندهای طبیعی تولید شده و اثرات زیان باری بر انسان و محیط زیست دارند [۱]. یکی از روش های دسته بندی آلاینده های هوا، تقسیم آن ها به دو دسته آلاینده محیط های بسته داخلی^۱ و آلاینده محیط های بیرونی می باشد. برخلاف تصور، آلاینده ها در محیط های بسته داخلی بسیار خطرناک تر از آلاینده های محیط بیرونی می باشند [۲]. محیط های بسته داخلی به محیط های غیر صنعتی مانند ادارات، مدارس، بیمارستان ها و مناطق مسکونی اطلاق می شود [۳]. در سال های اخیر، کیفیت هوا در خودروها، هواپیماها و قطارها نیز سبب افزایش نگرانی شده است [۴]. آمار نشان می دهد اکثر فعالیت های روزمره که حدود ۸۰٪ فعالیت های روزانه را در بر می گیرند، در محیط های بسته داخلی انجام می شوند. نتایج تحقیقات اثبات می کند که میزان آلاینده های داخلی در برخی موارد تا حتی صد برابر بیشتر از محیط های خارجی می باشد [۲] و سالانه میلیارد ها دلار صرف بهبود عواقب ناشی از این وضعیت می شود. نظر به اهمیت کیفیت هوا بر سلامتی و عملکرد افراد، امروزه کیفیت هوای محیط های بسته داخلی بیش از پیش مورد توجه است [۵، ۶]. اندازه گیری ها نشان داده است که آلاینده های محیط های بسته داخلی از نظر نوع و مقدار با آلاینده های محیط های خارجی متفاوت هستند. اکسیدهای نیتروژن (NOx) و دی اکسید گوگرد (SO₂) از آلاینده های معدنی [۳، ۵، ۷]، ذرات ریز معلق در هوا و اجزای فرار آلی، بنزن، استن، فرمالدهید و تولوئن [۶] از مهم ترین آلاینده های آلی هوا، در محیط های بسته داخلی به شمار می روند که توسط اثاثیه منزل، رنگ های ساختمانی، مواد شوینده، چسب ها، پخت و پز، دود سیگار و تجهیزات و لوازم اداری مانند چاپگرها و دستگاه های کپی و غیره تولید می شوند. مواد فرار آلی در فاز گاز در شرایط دمای محیط و فشار اتمسفر آزاد می شوند. برای مدت طولانی در معرض این آلاینده های فرار آلی بودن، حتی در غلظت های پایین هم سبب اثرات نامطلوب بر سلامتی انسان می شود. کیفیت نامطلوب هوای محیط های بسته داخلی سبب بیماری های ساختمانی می شود. سردرد و حالت تهوع، حساسیت های چشم و پوست، تنگی نفس، خستگی و یا حتی در مواردی که غلظت آلاینده ها بیشتر بوده و خطرناک تر باشند، سرطان، آسم، عقب ماندگی در کودکان و مرگ را به دنبال دارد، شکل ۱ برخی از منابع انتشار آلاینده های داخلی را نشان می دهد [۲، ۳، ۷].



شکل ۱- منابع انتشار آلاینده های داخلی [۸].

۲- انواع آلاینده ها

مطالعات انجام شده بر روی آلاینده های ناشی از چاپگرهای لیزری تا کنون، نشر عمده سه گروه از آلاینده ها شامل، مواد فرار آلی، ذرات ریز معلق و ازن را نشان می دهد. در ادامه ابتدا به تشریح مختصر این سه گروه آلاینده پرداخته و سپس مطالعاتی که بر روی چاپگرها انجام شده است، به طور مختصر مرور می کنیم.

۲-۱- مواد فرار آلی

مواد فرار آلی به آن دسته از مواد اطلاق می شود که در شرایط معمولی دما و فشار می توانند به شکل فاز مایع یا جامد موجود باشند و دمای جوش آنها در محدوده °C ۲۶۰-۵۰ قرار می گیرد. مهم ترین آن ها شامل هیدروکربن های آلیفاتیک و آروماتیک، آلدهیدها، تریپن ها، الکل ها، استرها و کتن ها می باشند که در جو محیط های شهری وجود دارند. معمولاً عبارت مواد فرار آلی به جز برای دی اکسید کربن، مونو اکسید کربن و عنصر کربن برای تمام موادی که شامل کربن بوده و در جو موجودند استفاده می شود. این آلاینده ها از منابع مختلفی مانند سوختن، پخت و پز و مواد ساختمانی و تجهیزات اداری تولید می شوند. جدول ۱ دسته بندی مواد فرار آلی و منابع احتمالی انتشار آنها را نشان می دهد [۳، ۹].

جدول ۱- دسته بندی مواد فرار آلی و منابع احتمالی انتشار آنها [۳].

محیط و منبع انتشار	طبقه بندی مواد فرار آلی
۱، ۲، ۴، ۵، ۷، ۹، ۱۰، ۱۱	هیدروکربن های آلیفاتیک و حلقوی
۱-۷، ۹، ۱۱، ۱۲	هیدروکربن های آروماتیک
۱-۱۲	آلدهیدها
۱-۴، ۷-۱۰	ترین ها
۱-۹، ۱۱	الکل ها
۱، ۲، ۴، ۷-۹	استرها

^۱ Indoor air pollutants

ادامه جدول ۱

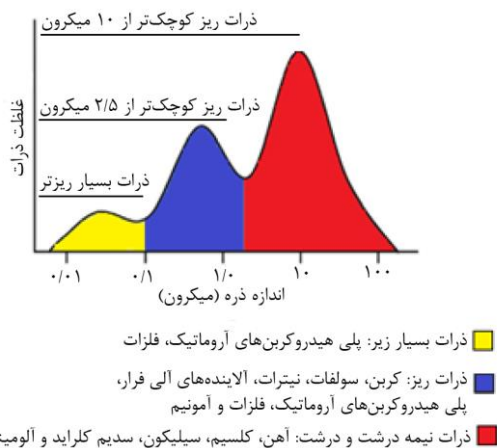
محبط و منبع انتشار	طبقه‌بندی مواد فرار آلی
۱، ۲، ۷، ۱۱	هالوکربن‌ها
۱-۴، ۷، ۹	گلیکول‌ها/ گلیکول‌اترها/ گلیکول‌استرها
۱-۴، ۶-۱۲	کتن‌ها
۱۱	سیکلوهگزان‌ها
۲، ۷	آلکن‌ها
۲، ۳، ۷-۹، ۱۱	اسیدهای آلی
۹	اترها
۱، ۲، ۴، ۷، ۱۱	دیگر مواد فرار آلی

۱. ساختمان‌های مسکونی، ۲. ساختمان‌های بازسازی شده و جدید، ۳. مدارس، ۴. داخل خودروهای صفر کیلومتر، ۵. فرش‌ها، ۶. مواد پوشش‌دهنده سقف‌ها، ۷ و ۸. صنعت چوب و میلمان، ۹. رنگ‌ها، ۱۰. مواد تمیزکننده، ۱۱، ۱۲. تجهیزات اداری و الکتریکی.

۲-۲- ذرات ریز معلق^۱

ذرات ریز معلق عبارتی عمومی برای تعریف مخلوطی از ذرات جامد و قطرات مایع ریز در هوا می‌باشد. به عبارت دیگر ذرات معلق مخلوطی از ذرات میکروسکوپی مایع و جامد به صورت سوسپانسیون در هوا بوده که بازه اندازه ذره، ترکیب شیمیایی و منشأ آن‌ها بسیار متفاوت است. مطابق تعریف $PM_{2.5}$ ذراتی با قطر کمتر از 2.5 میکرون و PM_{10} ذراتی با قطری بین 2.5 تا 10 میکرون هستند. بر اساس مطالعات صورت گرفته، ذرات معلق در مقایسه با اکسیدهای گوگرد و اکسیدهای ازت برای سلامتی خطرناک‌تر بوده و مقدار PM_{10} در تشدید بیماری‌های قلبی - ریوی، کاهش مقاومت سیستم ایمنی بدن در مقابل بیماری‌ها، از بین رفتن بافت ریه، آسم کودکان، مرگ و میر زودرس و سرطان نقش عمده‌ای دارند. ذرات معلق با قطر کمتر از 10 میکرون به راحتی وارد سیستم تنفسی می‌شوند. منشأ این ذرات از منابع طبیعی و منابع انسانی است. منابع طبیعی سهم بیشتری در تولید این نوع آلاینده دارند. عواملی از قبیل آتش‌سوزی در جنگل‌ها، وزش باد و پراکندن گرد و غبار و خاک که در مناطق بیابانی رخ می‌دهد، الگوی تغییرات فصلی نمک‌های دریایی که از اقیانوس‌ها به اتمسفر می‌رود و فوران آتشفشان‌ها - مثال - های از منابع طبیعی تولید این آلودگی هستند. از منابع انسانی می‌توان تولید سیمان، سوخت‌های فسیلی، که بیش‌تر برای تولید انرژی و موتورهای سنگین استفاده می‌شود، پسماندهای ناشی از سوزاندن آلاینده‌ها و حمل اشاره کرد [۱، ۳]. ذرات ریز معلق می‌توانند از نوع آلاینده‌های اولیه یا ثانویه باشند به این معنا که یا مستقیماً وارد هوا شده و یا در طول فرآیند دیگری مثل سوختن سوخت‌ها وارد جو شوند. در سال ۱۹۸۷ آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا استاندارد اولیه کیفیت هوا به نام مجموع ذرات معلق ریز^۲ TSP را با استاندارد ذرات معلق ریز PM_{10} تعویض کرد. این استاندارد جدید بر روی ذرات با اندازه کوچک‌تر متمرکز است که عمق نفوذ بیشتری در دستگاه تنفسی دارند. این استاندارد شامل ذرات با قطر 10 میکرون یا کمتر می‌شود که حدود یک هفتم قطر تار موی انسان است. استاندارد مقدار حضور

این ذرات در هوا بین 50 تا $150 \mu g/m^3$ است. یک ذره زمانی به عنوان ذره معلق بسیار ریز تعریف می‌شود که قطر آن کمتر از 0.1 میکرومتر باشد [۱۰]. شکل ۲ توزیع جرمی ذرات معلق ریز و بسیار ریز در اتمسفر، را نشان می‌دهد. قرار گرفتن در معرض این ذرات ریز و بسیار ریز منجر به بیماری‌های فراوانی می‌شود. گرچه تمام ذرات ریز معلق (با هر اندازه ذره‌ای) قادر به ورود به سیستم تنفسی انسان نیستند، اما ذرات کوچک‌تر از 30 میکرون عمدتاً این قابلیت را دارند و تحقیقات نشان می‌دهد که در عمیق‌ترین قسمت دستگاه تنفسی انسان ته نشین می‌شوند. در مناطق شهری و محیط‌های آزاد، ترافیک و در محیط‌های داخلی لوازم و تجهیزات اداری، مانند چاپگرها و دستگاه‌های کپی، عمده‌ترین سهم در تولید این ذرات را دارند. این ذرات همان‌گونه که اشاره شد می‌توانند مستقیماً به شکل دوده وارد هوا شوند و یا در طول یکسری واکنش‌های شیمیایی وارد محیط شوند [۱۱].



شکل ۲- توزیع جرمی ذرات موجود در اتمسفر [۱۳].

اصلی‌ترین نگرانی که در مورد حضور این ذرات در هوا وجود دارد تأثیری است که بر روی تنفس و سیستم دستگاه تنفسی دارند، از بین بردن بافت ریه، سرطان و مرگ زود هنگام از دیگر اثرات زیان آور این ذرات معلق است. افراد پیر و کودکان و سایر افراد مبتلا به بیماری‌های مزمن ریوی، آفتولانزا یا آسم حساسیت بیشتری نسبت به این آلاینده‌ها دارند [۱۳]. مطالعات نشان دادند که هرچه اندازه این ذرات کوچک‌تر باشد، اثرات زیان‌بارتری روی سلامتی انسان دارند [۱۴]. جدول ۲ تأثیر غلظت آلاینده‌ها بر سلامتی انسان را نشان می‌دهد.

۳-۲- ازن

ازن در اثر واکنش‌های فتوشیمیایی توسط هیدروکربن‌های خروجی از اتومبیل‌ها و ماشین‌ها و اکسیدهای نیتروژن در اتمسفر بوجود می‌آید و مطابق تعاریف زیر مجموعه آلاینده‌های ثانویه به‌شمار می‌رود. از اثرات مضر این آلاینده بر سلامتی انسان، سوزش چشم و ریه‌ها است. آمار نشان می‌دهد که حملات آسم در روزهایی که غلظت بالای از این آلاینده مشاهده شده، به‌طور مشخصی افزایش یافته است. ازن موجود در هوا آسیب‌های شدیدی به کودکان، سالمندان و افراد مبتلا به ناراحتی‌های تنفسی وارد

^۱ Particulate Matters

^۲ Total Suspended Particulate

۳- آلاینده‌های منتشر شده از چاپگرهای لیزری

در بخش گذشته به معرفی مختصر سه دسته از آلاینده‌ها، مواد فرار آلی، ذرات ریز و ازن، پرداخته شد. در ادامه به تحقیقاتی که به شناسایی و اندازه‌گیری این آلاینده‌های نشر شده از چاپگرهای لیزری پرداخته را مرور می‌کنیم. امروزه بخش عمده‌ای از محیط‌های اداری و مسکونی به تجهیزات اداری اختصاص داده شده است که با توجه به پیشرفت‌های روزافزون فناوری حجم بالایی از فضاهای اشغال شده کاری را در بر می‌گیرد. جدول ۴ برخی از مهم‌ترین آلاینده‌های فرار آلی، ذرات ریز معلق و ازن نشر شده از چاپگرهای لیزری، جوهرافشان و دستگاه‌های چند منظوره را در دو حالت آماده به کار و در حال چاپ نشان می‌دهد. همان‌طور که در اطلاعات جدول مشخص است، میزان آلاینده‌های چاپگرهای لیزری به‌مراتب بالاتر از چاپگرهای جوهرافشان و دستگاه‌های چند منظوره می‌باشد. مطالعات نشان می‌دهد که چاپگرهای لیزری از لحاظ تولید میزان آلاینده در سطح یکسانی قرار ندارند و خود به چهار گروه عمده تقسیم می‌شوند: گروه اول چاپگرهایی که آلاینده ساطع نمی‌کنند، دوم چاپگرهایی که مقدار کمی آلاینده ساطع می‌کنند، سوم آن‌هایی که میزان متوسط و دسته آخر چاپگرهایی که درصد بالایی از آلاینده‌ها را ساطع می‌کنند [۱۶]. جدول ۵ این تقسیم‌بندی را بر حسب نوع چاپگر نشان می‌دهد.

¹ Terpenes

² American Conference of Governmental Industrial Hygienists

³ Occupational Safety and Health administration

می‌کند. ازن همچنین موجب کاهش بازدهی محصولات کشاورزی و از بین رفتن جنگل‌ها و اکوسیستم گیاهی می‌شود [۱۳]. محققان در پژوهشی دریافتند افزایش هر ۱۰ ppb در غلظت متوسط ازن با چهار درصد افزایش در میزان مرگ ناشی از بیماری‌های تنفسی همراه است. ازن مولکولی متشکل از سه اتم اکسیژن است و قدرت اکسیدکنندگی زیادی دارد. اگر از فضا به کره زمین نگاه کنیم، خواهیم دید که نوار آبی رنگی این کره خاکی را فرا گرفته است. این پوشش حفاظتی لایه‌ای از ازن است که در ارتفاع ۲۰ تا ۳۰ کیلومتری از سطح زمین قرار دارد و باعث می‌شود پرتو فرابنفش موجود در پرتوهای خورشیدی جذب شود. همان‌طور که اشاره شد وجود آلاینده‌هایی از قبیل اکسیدهای نیتروژن در کنار نور خورشید و گرما باعث به‌وجود آمدن ازن می‌شود و از این جهت است که به ازن آلاینده ثانویه می‌گویند ولی اکسیدهای نیتروژن در زمره آلاینده‌های اولیه هستند. مشکل حاصل از این ازن نزدیک به زمین آن است که به‌دلیل قدرت اکسیدکنندگی بالای خود می‌تواند با بافت‌های حیاتی انسان، حیوان و گیاه واکنش کرده و آن‌ها را نابود سازد. این ماده می‌تواند قدرت سیستم تنفسی انسان را تحلیل ببرد و انسان را با تنگی نفس و آسم روبه رو سازد [۹]. بالاترین میزان مجاز ازن ۱۰۰ میکروگرم بر متر مکعب مطابق کنفرانس مدیریت صنعتی بهداشت آمریکا^۲ ACGIH گزارش شده است. در استاندارد^۳ OSHA میزان ازن ۲۰۰ میکروگرم بر لیتر، برابر با ۰/۱ ppm گزارش شده است [۷]. جدول ۳ ارتباط غلظت ازن و اثرات آن بر سلامتی انسان را نشان می‌دهد.

جدول ۲- تأثیر غلظت آلاینده‌ها بر سلامتی انسان [۱۱].

غلظت آلاینده (میکروگرم بر متر مکعب)	تأثیرات بر روی سلامتی
۱۰	افزایش به ترتیب ۱/۹٪ و ۳/۳٪ بیماران تنفسی و قلبی در بیمارستان‌ها
۲۰	افزایش ۸٪ بیماران تنفسی (کودکان)
۱۲۰	افزایش پذیرش در بیمارستان کودکان مبتلا به بیماری‌های تنفسی
۱۵۰	احتمال علائم تنفسی و تشدید بیماری ریه را افزایش داده
۲۰۰	افزایش در بیماری‌های تنفسی مانند ذات‌الریه، بیماری مزمن انسدادی ریه (COPD)، آسم
۴۰۰-۶۰۰	آسیب به ماکروفاژهای آلئولار، نوتروفیل‌ها و لنفوسیت‌های T

جدول ۳- ارتباط غلظت ازن و اثرات آن بر سلامتی انسان [۱۱].

غلظت ازن (ppm)	مدت زمان در معرض بودن و فعالیت‌ها	تأثیر روی سلامتی
۰/۰۸	نرمش معمولی ۶/۶ ساعت	اختلالات تنفسی، افزایش در میزان سلول‌های پلیمورفونوکلتر سرفه
۰/۱۲	ورزش سنگین ۱-۳ ساعت	مشاهده اختلال تنفسی در ۵۰٪ افراد در معرض
۰/۱۲	نرمش معمولی ۸ ساعت	عملکرد موقت ریه و مشاهده اختلال در ۲۰٪ افراد در معرض
۰/۱۲	نرمش معمولی ۸ ساعت	علائم تنفسی موقت تا شدید در ۱۰-۱۵٪ افراد در معرض
۰/۱۶-۰/۱۸	ورزش سنگین ۱-۳ ساعت	تنگی نفس و درد قفسه سینه در قسمت‌های تحتانی
۰/۱۸	ورزش سنگین ۱-۳ ساعت	نوعی آسم
۰/۴	استراحت ۱-۳ ساعت	نوعی آسم

جدول ۴- آلاینده‌های نشر شده از انواع چاپگرها و دستگاه‌های کپی [۱۴].

دستگاه چاپگر-کپی-اسکن غلظت محفظه (ppbv)		چاپگرهای جوهرافشان غلظت محفظه (ppbv)		چاپگرهای لیزری غلظت محفظه (ppbv)		ماده شیمیایی
در حال کار	آماده به کار	در حال کار	آماده به کار	در حال کار	آماده به کار	
۰/۴۵	۰/۳	۰/۴۳	۰/۳۶	۰/۶۱-۰/۶۶	۰/۴۸-۰/۵۲	فریون ۱۲
۰/۶۲	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۴۸	۰/۷۱-۰/۸۲	۰/۵۳-۰/۶	متیل کلراید
۰/۲۷	تشخیص داده نشده	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۲۵-۰/۲۸	۰/۲۴-۰/۲۹	فریون ۱۱
۰/۷۴	۰/۶۹	۰/۶۱	۰/۵۷	۰/۴۶-۰/۵۸	۰/۳۸-۰/۴۲	متیلن کلراید
۰/۹۶	۰/۷۴	۰/۹۴	۰/۸۱	۱/۱۷-۱/۳۱	۰/۹۶-۱/۰۷	کلروفرم
۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۷۷-۰/۸۴	۰/۵۲-۰/۵۷	بنزن
۸/۲	۷/۹	۶/۴۳	۶/۲۲	۱۵-۱۶	۱۴-۱۵	تولونن
۰/۴۳	۰/۵۲	۰/۲۱	۰/۲۳			تتراکلرواتان
۱/۶	۱/۵	۱/۲۶	۱/۲	۲-۳	۱/۴-۲/۱	انیل بنزن
۰/۹	۰/۹	۰/۹۲	۰/۸۶	۱/۶-۱/۷	۱/۲	متا و پارا زایلن
۱/۹	۱/۲	۱/۴۳	۱/۱۴	۳/۲-۵/۳	۲/۷-۴	استایرن
۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۶۸	۰/۶۹	۲-۲/۳	۰/۹-۱	اورتو زایلن
۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۴			۴و دی کلروبنزن
۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۴			۳و دی کلروبنزن
۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۲۱			۲و دی کلروبنزن
۰/۲	۰/۲۳	۰/۶۳	۰/۸۶			۴و ۲تری کلروبنزن
۰/۶۴	۰/۸۸	۰/۳۶	۰/۳۷			هگزاکلروپوتادیان
				۳۰۰-۴۰۰		مجموع آلاینده های آلی فرار
۶		۵-۶		۹-۱۰		ازن
۴۱		۲۰-۳۸		۶۵		ذرات ریزمعلق (PM ₁₀)

جدول ۵- تقسیم‌بندی چاپگرها از نظر نشر آلاینده [۱۶].

چاپگرهای لیزری با نشر بالا (نرخ >۱۰)	چاپگرهای لیزری با نشر متوسط (نرخ >۱۰-۵)	چاپگرهای لیزری با نشر کم (نرخ >۵-۱)	چاپگرهای لیزری بدون نشر ذرات (نرخ >۱)	
hp 4650dn	hp 1020	Canon IRC6800	hp 5000n	hp4550DN
hp 5550dtn	hp 4200dtn	hp 5M	hp 5100tn	hp8500DN
hp 8550N		9000dn	hp 5N	hp2200DN
hp 2420 dn		RICOH	hp 5si	hp2300dnt
hp 1320n		CL3000DN	hp 5si/NX	hp 4 plus
hp 4220dtn			hp8000DN	hp 4000N
hp 4250n			hp8150DN	hp 4000TN
hp 5(a)			Mita DC	hp 4050N
hp 8000DN			4060(photocopy)	
hp 8150N			RICOH Aficio	hp 4050TN
			2022	
			RICOH Aficio	hp 4si
			3045	
			RICOH Aficio	hp 5(b)
			3245C	
			TOSHIBA	
			STUDIO 350	RICOH Aficio CC3000 DN

جدول ۶ ذرات ساطع شده از قسمت‌های مختلف چاپگر را در زمان‌های متفاوت نمونه‌برداری در طول فرآیند چاپ نشان می‌دهد. کلسیم و تیتانیوم در کاغذ به عنوان رنگدانه سفید و کلسیم در ساختار کربنات کلسیم به عنوان پرکننده وجود دارند. در تونر اکسید آهن، پلیمر و رنگدانه موجود است و سیلیسیم به عنوان افزودنی جهت بهبود خواص جریان‌پذیری و فلزات دیگر نظیر منگنز، وانادیم، کرم و روی به عنوان کاتالیزور برای تسریع فرآیند پلیمریزاسیون رزین می‌باشند. نکته جالب توجه وجود برم است که فقط از بدنه چاپگر ساطع می‌شود. زیرا در هنگام ذوب تونر، فیوزر رولر دمای بالایی تولید می‌کند، لازم است بدنه چاپگر از مواد مقاوم در برابر حرارت ساخته شوند، رزین‌های پلی‌استر (پلی اتیلن ترفتالات و پلی‌بوتیلن ترفتالات) تقویت شده با الیاف شیشه، آکریلونیتریل-بوتادی‌ان‌استایرن یا پلی کربنات‌ها از جمله پلیمرهای مورد استفاده در ساختار بدنه چاپگرها هستند. همچنین برای افزایش مقاومت آن‌ها از مواد مقاوم در برابر حرارت نیز استفاده می‌کنند که اکثراً حاوی ترکیبات برم‌دار هستند [۲۰].

آلاینده‌های منتشر شده از چاپگرها از منابع مختلفی نشر می‌شوند، تونر، بدنه چاپگر و حتی کاغذ اجزایی هستند که احتمال نشر آلاینده‌ها از آن‌ها وجود دارد. شکل ۳ مکان‌های احتمالی نشر آلاینده از چاپگرها را نشان می‌دهد. آلاینده‌ها می‌توانند آلی و یا معدنی، مواد فرار و نیمه فرار آلی، ذرات ریز معلق و ذرات بسیار ریز و ازن باشند. از مواد فرار آلی شناسایی شده می‌توان به تولوئن، اتیل بنزن، متا پارا زایلن، اورتو زایلن، استایرن، ایزوپروپیل بنزن، نرمال پروپیل بنزن، بنزالدهید، آلفامتیل استایرن، ۱ و ۲ و ۴ تری متیل بنزن، بوتیل بنزن، استوفنون، متوکسی‌اتیل بنزن، نرمال دکان، ۲-اتیل ۱-هگزانول، لیمونن، نرمال نونانال، نرمال دودکان، فرمالدهید، استالدهید، استون، پروپیونالدهید، ۲-بوتانول، بوتیرالدهید و غیره اشاره کرد [۱۶]. علاوه بر مواد آلی، مواد غیرآلی نیز توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی^۱ SEM-EDX شناسایی شدند که از جمله آنها می‌توان به آلومینیم، کلر، کلسیم، کبالت، کرم، مس، آهن، پتاسیم، منیزیم، سدیم، نیکل، فسفر، سولفور، منگنز، سدیم، سیلیکون، تیتانیوم و روی اشاره کرد [۱۸]. از ذرات ساطع شده از بدنه چاپگرها سیلیسیم، گوگرد، کلر، کلسیم، تیتانیوم، کرم، آهن و برم توسط روش طیف‌سنج فلورسانس پرتو ایکس^۲ XRF شناسایی شدند [۱۹].

¹ Scanning Electron Microscopy with X-ray microanalysis
² X-ray fluorescence



شکل ۳- قسمت‌های مختلف چاپگر (اجزای تونر) که آلاینده از آن نشر می‌شود [۱۹].

جدول ۶- نتایج XRF برای ذرات منتشر شده از قسمت‌های مختلف چاپگرها [۲۰].

بدنه دستگاه چاپگر			تونر					کاغذ			منابع انتشار دهنده	
			زمان‌های متفاوت نمونه برداری								شماره چاپگر لیزری	
							Cr,Fe,Ni		Ca			۱
									Ca			۲
									Ca			۳
								Ca				۴
								Ca,Cl	Ca	Ca	Ca	۵
Br	Br	Br		Si,S,Zn	Si,S,Cr,Fe,Zn	Si,S		Ca	Ca,Cl	Ca		۷
			Si,Fe	Si	Si		Ca,Cl,Ti	Ca				۸
Br	Br	Br		Ti,Fe	Si,Ti,Fe	Fe		Ca	Ca,Cl	Ca		۹
								Ca	Ca	Ca		۱۰

که نشر بالای از ذرات را داشت، در دو فاصله یک و دو متری، بر حسب زمان را نشان می‌دهد. عامل دیگر مورد بررسی در این تحقیق، مقایسه میزان ذرات نشر شده در زمان اداری و زمان غیراداری بود. نتایج حاکی از آن است که ۷۲٪ چاپگرهای مورد آزمون در زمان اداری نشر بالاتری از ذرات معلق را از خود نشان دادند. چاپگرهای رنگی نشر بالاتری نسبت به چاپگرهای سیاه و سفید داشتند. اندازه ذرات ریز منتشر شده زیر ۱۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد [۲۱]. در سال ۲۰۱۳ مولینز و همکارانش^۳ بر روی آلاینده‌های پلی هیدروکربن‌های آروماتیک و آلاینده‌های آلی نشر شده از تونر و نوعی کربن بلک مورد استفاده در تونر چاپگرها، مطالعاتی انجام دادند. در ابتدا محفظه‌ای طراحی شد که در آن سازوکاری شبیه آن چه که در چاپگرها حین فرآیند چاپ رخ می‌دهد، انجام می‌گرفت و تنها تفاوت عدم وجود ورق کاغذ و انجام چاپ روی آن بود. تونر در محفظه گرم شده و کاهش وزن آن، قبل و پس از گرم شدن، اندازه‌گیری و مقایسه گردید.

نتایج تحقیقات هی و همکارانش^۱ در سال ۲۰۰۷ نشان می‌دهد که عمر کارتریج و میزانی از صفحه که با جوهر پوشیده می‌شود بر روی تعداد و اندازه ذرات نشر شده مؤثر است (جدول ۷) کارتریج قدیمی‌تر تعداد ذرات کم‌تر، و در عین حال اندازه ذرات بزرگ‌تری تولید می‌کند [۱۷]. مک‌گری و همکارانش^۲ در سال ۲۰۱۱ مطالعه‌ای را بر روی ۱۰۷ چاپگر لیزری انجام دادند. این مطالعه در فضای واقعی در پنج محیط اداری و در دو مقطع زمانی صورت گرفت. در زمان ساعت کاری، از ۸/۳۰ صبح تا ۱۶/۳۰ عصر و زمان ساعت غیر اداری. یکی از پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه تأثیر میزان فاصله از چاپگر و تعداد ذراتی که در آن فاصله از چاپگر وجود دارد، بود. نمونه‌برداری در فاصله یک متری از همه چاپگرها در فاصله ۱/۱۵ متری از سقف انجام گرفت. این فاصله میانگینی است که بینی و دهان یک فرد در حالت نشسته از سقف قرار دارد. نتایج نشان می‌دهد که در هر دو فاصله از چاپگر میزان ذرات اندازه‌گیری شده بیشتر از حالت پایه است اما هرچه از چاپگر فاصله بیشتر می‌شود، تعداد ذرات کمتر شده است. شکل ۴ نمودار غلظت ذرات نشر شده از یکی از چاپگرها

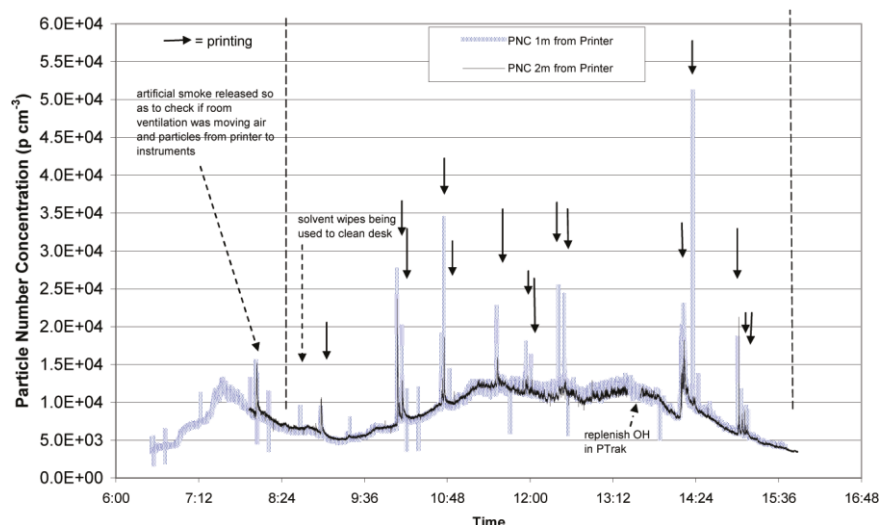
³ B.Mullins

¹ Congrong He

² P.McGarry

جدول ۷- تأثیر عمر کارتریج و درصد پوشش تونر بر روی کاغذ بر سرعت انتشار ذرات [۱۷].

نوع چاپگر	سن کارتریج	پوشش توسط تونر (%)	سرعت انتشار ذرات (تعداد ذره منتشر شده در هر دقیقه $\times 10^9$)	
			میانگین	SD
A	جدید	۵	۰/۰۴	۰/۰۱
B	قدیمی	۵	۴/۲۱	۳/۶۶
B	قدیمی	۵۰	۹/۵۴	۸/۲۳
C	قدیمی	۵	۴۱/۱	۱۲
C	قدیمی	۵۰	۹۲/۸	۰/۹۹
C	جدید	۵	۷۶/۳	۱۸/۸
C	جدید	٪۵۰	۱۵۹	



شکل ۴- نمودار غلظت ذرات نشر شده از دو چاپگر بر حسب زمان [۲۱].

تحقیقی بر روی ذرات ریز معلق و آلاینده‌های آلی نشر شده از چاپگرها انجام دادند. دو نوع چاپگر لیزری hp ۱۳۲۰ که در گروه چاپگرهای با آلاینده‌گی بالا، و hp ۲۲۰۰ که در گروه چاپگرهای کم‌آلاینده قرار می‌گیرد برای انجام آزمون‌ها انتخاب شدند. اندازه‌گیری‌ها نشان داد که دما عامل مؤثری بر نشر ذرات و آلاینده‌های آلی از چاپگرهاست و کمتر از دمای معینی، حدود 100°C آلاینده‌های آلی و 140°C ذرات ریز معلق، منتشر نمی‌شوند. شکل ۵ آستانه دمایی جهت میزان نشر ذرات ریز و آلاینده‌های آلی نشر شده از قسمت‌های مختلف چاپگر را نشان می‌دهد، به این مفهوم که مستطیل‌ها بیانگر دماهایی هستند که تا آن دما نشری مشاهده نمی‌شود [۲۳].

نتایج نشان می‌دهد که کاهش جرم در دمای بالای 250°C رخ می‌دهد. یک نمونه کربن بلک با نام تجاری Printex U و تونر چاپگر FujiXerox DocuCentre IV C 3375 برای این آزمایشات در نظر گرفته شد. کربن بلک حدود ۴/۷٪ از ترکیب درصد تونر را تشکیل می‌دهد و میزان آلاینده‌های فرار آلی موجود در این نمونه تنها حدود ۰/۱۵٪ جرمی ترکیب هستند. نوع آلاینده‌های فرار آلی شناخته شده در Printex U و پلی‌هیدروکربن‌های آروماتیک موجود در تونر در جدول‌های ۸ و ۹ نشان داده شده‌اند [۲۲]. موراوسکا و همکارانش^۱ در سال ۲۰۰۹

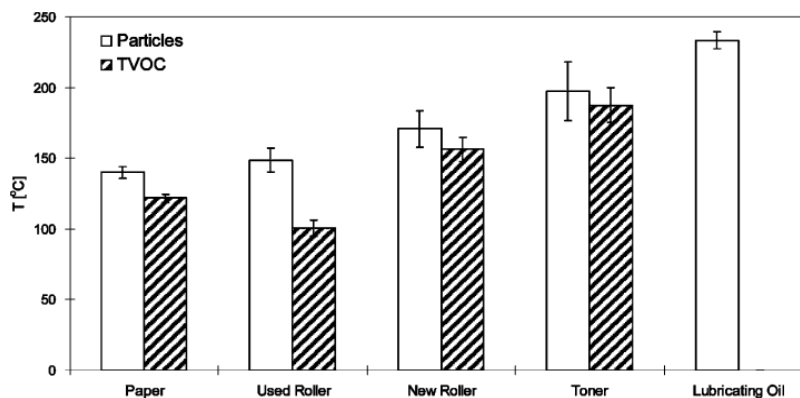
^۱ L.Morawska

جدول ۸- میزان اجزای آلی موجود در کربن بلک نوع Printex U [۲۲].

غلظت میانگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	اجزای آلی موجود در Printex U
۳۰	بنزن
۴/۴	استایرن
۹۵	تولون
۱۲	متا و پارا زایلن
۰/۷	اورتو زایلن
۰/۶	۱ و ۲ تری‌متیل بنزن
۰/۹	اتیل بنزن
۲/۸	کلروفرم
۱/۴	تتراکلرواتیلن
۲/۵	دی‌کلرومتان

جدول ۹- میزان پلی‌هیدروکربن‌های آروماتیک موجود در تونر [۲۲].

غلظت میانگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پلی‌هیدروکربن‌های آروماتیک در تونر
۵/۱	فنانترن
۵/۸	آنتراسن
۵/۹	فلورانتن
۲/۷	پیرن
۹/۱	بنزآنتراسن
۷/۱	کریسن
۳/۵	بنزو فلورانتن
۵	بنزوپیرن



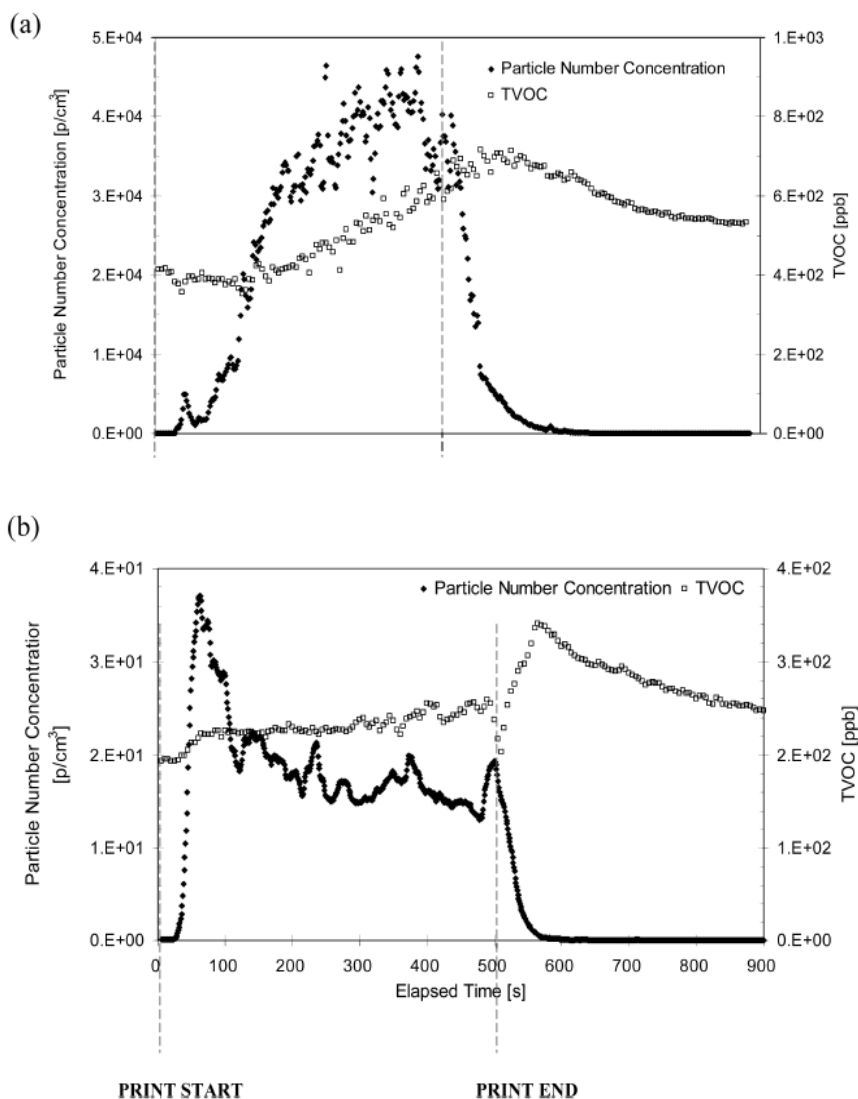
شکل ۵- آستانه دمایی نشر ذرات ریز و آلاینده‌های آلی نشر شده از قسمت‌های مختلف چاپگر بر حسب دما [۲۳].

می‌باشد، کیفیت هوای تنفسی یکی از مسائلی است که در چند دهه اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. مطابق مطالعات انجام شده، اکثر فعالیت‌های روزمره که شامل ۸۰٪ از فعالیت‌های روزانه می‌باشد، در محیط‌های بسته داخلی انجام می‌شود، از این رو کیفیت هوا در این محیط‌ها بر سلامتی و عملکرد روزانه افراد مؤثر است. یکی از این عوامل دستگاه‌ها، تجهیزات الکترونیکی و چاپگرها می‌باشند. مواد فرار آلی، ذرات ریز معلق و ازن از جمله آلاینده‌های شناخته شده توسط چاپگرها می‌باشند که میزان نشر آنها برای چاپگرهای لیزری بیشتر از دیگر چاپگرها اندازه‌گیری شده است. عوامل گوناگونی از جمله سن کارتریج، میزانی از صفحه که با جوهر پوشیده شده، دمای فیوزینگ و نوع چاپگر از عوامل مؤثر بر میزان آلاینده‌گی چاپگرها می‌باشند. با توجه به مطالب ارائه شده و نظر به اهمیت کیفیت هوای تنفسی در محیط‌های داخلی بر سلامت افراد، مطلوب‌ست راه‌کارها، روش‌ها و پیشنهاداتی جهت حذف و از بین بردن آلاینده‌های ناشی از چاپگرها ارائه شود.

از سوی دیگر میزان و زمان نشر آلاینده‌های آلی و ذرات ریز در طول فرآیند چاپ و پس از آن با هم متفاوت است. هر دو نوع چاپگر، کم‌آلاینده و پرآلاینده، در اولین لحظه شروع به کار یک افزایش ناگهانی در تولید ذرات نشان دادند اما این روند در ادامه برای هر نوعی متفاوت بود. در چاپگر hp 2200، کم‌آلاینده (b-5)، میزان نشر ذرات پس از انفجار اولیه، کاهش می‌یابد اما در چاپگر hp 1320، پرآلاینده (a-5)، در ادامه نیز همچنان نشر ذرات با همان رنج و یا حتی بالاتر پس از انفجار اولیه نیز دیده می‌شود. نکته مشترک در هر دو نوع چاپگر این است که با اتمام فرآیند چاپ، نشر ذرات ریز متوقف می‌شود اما آلاینده‌های آلی همچنان پس از اتمام فرآیند چاپ نیز نشر می‌شوند و نکته جالب توجه این‌که میزان نشر پس از عملیات چاپ به بیشترین مقدار خود می‌رسد. شکل ۶ مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد [۲۳].

۴- نتیجه‌گیری

از آن‌جا که هوای تنفسی یکی از عوامل مهم و تأثیر گذار بر سلامتی



شکل ۶- نمودار غلظت ذرات ریز و آلاینده‌های آلی نشر شده از چاپگر پرآلاینده ۱۳۲۰ (تصویر a) و کم‌آلاینده ۲۲۰۰ (تصویر b) بر حسب زمان [۲۳].

۵- مراجع

1. C. N. Hewitt and A. V. Jackson, "Handbook of atmospheric science : principles and applications", Blackwell Publishing: Oxford, **2003**.
2. N. Yao and K. Lun Yeung, "Investigation of the performance of TiO₂ photocatalytic coatings", Chem. Eng. J., 167, 1, 13-21, **2011**.
3. S. Wang, H. M. Ang, M. O. Tade, "Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation: State of the art", Environ. Int., 33, 5, 694-705, **2007**.
4. <http://www.hc-sc.gc.ca/index-eng.php>.
5. Q. L. Yu, H. J. H. Brouwers, "Indoor air purification using heterogeneous photocatalytic oxidation. Part I: Experimental study", Appl. Catal. B, 92, 454-461, **2009**.
6. J. Mo, Y. Zhang, Q. Xu, "Photocatalytic purification of volatile organic compounds in indoor air: A literature review", Atmos. Environ. Atmos. Environ., 43, 14, 2229-2246, **2009**.
7. H. Yu, K. Zhang, C. Rossi, "Theoretical study on photocatalytic oxidation of VOCs using nano-TiO₂ photocatalyst", J. Photochem. photobiol. A, Chemistry., 188, 1, 65, **2007**.
8. www.epa.gov/
9. V. Augugliaro, S. Coluccia, V. Loddo, "Photocatalytic oxidation of gaseous toluene on anatase TiO₂ catalyst mechanistic aspects and FT-IR investigation", Appl. Catal. B, 20, 1, 15-27, **1998**.
10. M. Wensing, T. Schripp, E. Uhde, T. Salthammer, "Ultra-fine particles release from hardcopy devices: Sources, real-room measurements and efficiency of filter accessories", Sci. Total Environ. 407, 418-427, **2008**.
11. K. Sabaliauskas, G. Evans, Ch-H. Jeong, "Source identification of traffic-related ultrafine particles data mining contest", Procedia Comput. Sci. 13, 99-107, **2012**.
12. Ki-H. Kim, S. Ara Jahan, E. Kabir, "A review on human health perspective of air pollution with respect to allergies and asthma", Environ. Int. 59, 41-52, **2013**.
13. <http://www.epa.gov/>
14. U. Franck, S. Odeh, A. Wiedensohler, B. Wehner, O. Herbarth, "The effect of particle size on cardiovascular disorders - The smaller the worse", Sci. Total Environ. 409, 4217-4221, **2011**.
15. H. Destailats, R. L. Maddalena, B. C. Singer Alfred, T. Hodgson, T. E. McKone, "Indoor pollutants emitted by office equipment: A review of reported data and information needs", Atmos. Environ. 42, 1371-1388, **2008**.
16. S. A. Larson, J. L. Falconer, "Initial reaction steps in photocatalytic oxidation of aromatics", Catal. Lett., 44, 1-2 1997/03/01, 57-65, **1997**.
17. C. He, L. Morawska, L. Taplin, "Particle emission characteristics of office printer", Environ. Sci. Technol., 41, 6039-6045, **2007**.
18. T. Salthammer, T. Schripp, E. Uhde, M. Wensing, "Aerosols generated by hardcopy devices and other electrical appliances", Environ. Pollut. 169, 167-174, **2012**.
19. M. Barthel, V. Pedan, O. Hahn, M. Rothhardt, H. Bresch, O. Jann, S. Seeger, "XRF-analysis of fine and ultrafine particles emitted from laser printing devices", Am. Chem. Soc., **2011**.
20. F. C. G. L. Guerrini, "White cement and photocatalysis e part 1: fundamentals", First Arab International Conference and Exhibition on The Uses of White Cement, Cairo, Egypt, 28-30 April **2008**.
21. P. McGarry, Q. Tran, L. Morawska, H. Wang Congrong He, R. Jayaratne, M. Falk, "Exposure to particles from laser printers operating within office workplaces", Environ. Sci. Technol., 45, 6444-6452, **2011**.
22. B. J. Mullins, D. Bertolatti, R. Mead-Hunter, Assessment of polyaromatic hydrocarbon emissions from laser printers, Atmos. Environ. 79, 428-432, **2013**.
23. L. Morawska, G. Johnson, R. Jayaratne, T. Salthammer, E. Uhde, R. Modini, P. McGarry, C. He, H. Wang, T. Bostrom, G. Ayoko, M. Wensing, "An investigation into the characteristics and formation mechanisms of particles originating from the operation of laser printers", Environ. Sci. Technol., 43, 1015-1022, **2009**.