Journal of Research in Environmental Health

Volume 8, Issue 1, Spring 2022

Evaluation of the Exposure Extent of Labors in Printing Industries With Emitted Pollutants in the Indoor Environment

Farshad Ahmadilar
Graduate student, Faculty of chemical and petroleum engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Leila Khazini
*Assisstant professor, Faculty of chemical and petroleum engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.(Corresponding Author): Email:khazini@tabrizu.ac.ir

Seyed shamsedin Alizadeh
Associate professor, Faculty of health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.

Received: 2021/12/14
Accepted: 2022/02/19

Document Type: Research article

ABSTRACT

Background and Aim: Emitted pollutants in the indoor environment of printing industries are the most serious risks to labor's health based on WHO. The health effects of these pollutants range from acute diseases like eye irritation to chronic effects, such as cancer and DNA damage.

Materials and Methods: To study air pollution in the indoor environment of printing industry, using EPA methodology and ranked set sampling, samples were collected, and then analyzed via gas chromatography.

Results: Based on the results, despite the concentration profile at the sampling sites, the total concentration of very volatile and volatile organic compounds at the nearest point to the dye tank, the location of operator at a distance of one and two meters from the heliogravure machine, and the general working space were 20.83%, 5.41%, 1.85%, and 1.46%, respectively . About 52% of observed pollutants were ink organic solvents, 38% were sulfur compounds, and 52% were nitrogen compounds. About 24% of pollutants have a complex structure of 12 carbons or more. The concentrations of pollutants observed not only exceed OSHA and NIOSH standards, but also very high compared to similar international research, so they are in the range of danger code announcements and have worrying health effects on employees.

Conclusion: The results indicate the requirement for urgent intervention to reduce pollution in the printing industry. The preferred method to manage the indoor air quality is to control or replace the source of pollution, proper air conditioning equipment use, and simultaneous use of filters and air conditioning systems to reduce emissions.

Keywords: Indoor air pollution, Volatile organic compounds, Inhalation exposure.

▶ **Citation:** Ahmadilar F, Khazini L, Alizadeh SS. Evaluation the exposure extent of labors in printing industries with emitted pollutants in indoor environment. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Spring 2022; 8(1): 21-32.

ارزیابی میزان مواجهه کارگران صنایع چاپ با آلاینده‌های منتشره در محیط‌های داخلی

فرشاد احمدیلر
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی- طراحی فرایند، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

لیلا خازینی
* استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. (نویسنده مسئول): پست الکترونیک:
khazini@tabrizu.ac.ir

سید شمس‌الدین علیزاده
دانشیار، گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: مطابق تحقیقات سازمان جهانی بهداشت، آلودگی‌های منتشره در صنایع چاپ به‌عنوان یکی از جدی‌ترین خطرات برای سلامتی کارکنان به‌شمار می‌رود. اثرات بهداشتی این آلاینده‌ها از بیماری‌های حاد مانند سوزش چشم تا اثرات مزمن مانند ابتلاء به سرطان و حتی آسیب به DNA است. مطالعه حاضر با هدف بررسی میزان انتشار آلاینده‌ها در یک کارخانه چاپ انجام شد.

مواد و روش‌ها: جهت مطالعه آلودگی هوا در محیط‌های داخلی صنعت چاپ، با استفاده از دستورالعمل آژانس حفاظت محیط زیست (EPA) و روش رتبه‌بندی مکانی، نمونه‌ها جمع‌آوری و سپس توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی آنالیز شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج کرماتوگرافی گازی، مجموع غلظت ترکیبات آلی بسیار فرار و ترکیبات آلی فرار در نزدیک‌ترین نقطه به مخزن رنگ، محل قرارگیری اپراتور در فاصله ۱ متری و ۲ متری از دستگاه هلیوگراور و فضای عمومی کارخانه به‌ترتیب برابر ۲۰/۸۳٪، ۵/۴۱٪، ۱/۸۵٪ و ۱/۴۶٪ به‌دست آمد. ۵۲٪ از آلاینده‌های مشاهده شده جزء حلال‌های آلی مرکب، ۳۸٪ از ترکیبات گوگرد دار و ۵۲٪ جزء ترکیبات نیتروژن‌دار بودند. حدود ۲۴٪ از آلاینده‌ها ساختار پیچیده‌ای متشکل از ۱۲ کربن و بالاتر داشتند. غلظت آلاینده‌های مشاهده شده نه‌تنها از استانداردهای سازمان بهداشت و ایمنی شغلی(OSHA) و مرکز تحقیقات ملی بهداشت و ایمنی شغلی (NIOSH) بسیار فراتر است؛ بلکه در مقایسه با پژوهش مشابه بین‌المللی نیز بسیار بالا می‌باشد؛ به‌طوری‌که در محدوده اعلان کد خطر بوده و اثرات بهداشتی نگران‌کننده‌ای بر کارکنان دارند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان‌دهنده نیاز به مداخله فوری برای کاهش آلایندگی محیط‌های صنعت چاپ می‌باشد. روش ارجح برای مدیریت کیفیت هوای داخلی، کنترل و جایگزینی منبع آلودگی، تهویه عمومی و موضعی مناسب با استفاده از تجهیزات تهویه مطبوع و یا استفاده همزمان از فیلترها و سیستم تهویه مطبوع جهت کاهش انتشار می‌باشد.

کلید واژه‌ها: آلودگی هوای داخلی، ترکیبات آلی فرار، مواجهه تنفسی

◀ **استناد:** احمدیلر ف، خازینی ل، علیزاده س ش. ارزیابی ارزیابی میزان مواجهه کارگران صنایع چاپ با آلاینده‌های منتشره در محیط‌های داخلی. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. بهار ۱۴۰۱؛۸(۱): ۲۱-۳۲.

مقدمه

بر اساس تحقیقات سازمان جهانی بهداشت (WHO) [1] در بیشتر محل‌های کار، آلودگی هوای داخلی به‌عنوان یکی از جدی‌ترین خطرات احتمالی محیط برای سلامتی انسان بیان شده است. بیماری سندرم ساختمان که شامل نشانه‌هایی از قبیل سوزش چشم، پوست و مجاری تنفسی فوقانی، سردرد، حالت تهوع، سرگیجه و خستگی می‌باشد، به‌دلیل کیفیت پایین هوا در محیط‌های داخلی ایجاد می‌شود و بر عملکردهای شغلی نیز تأثیر منفی می‌گذارد (۱). صنعت چاپ نیز بسته به نوع فعالیت‌ها و همچنین تجهیزات استفاده شده، می‌تواند آلودگی‌های متفاوتی در هوای داخلی محیط ایجاد کند. این آلاینده‌ها به‌صورت مستقیم و یا بر اثر واکنش غیرمستقیم بر کیفیت هوای داخلی تأثیر گذاشته و منجر به انتشار ترکیبات خطرناک به هوا می‌شود و با تهدید سلامت انسان، مشکلات بهداشتی زیادی برای کارکنان ایجاد می‌کند (۲). حدود ۷۰٪ از ترکیباتی که به‌عنوان آلاینده‌های هوا خطرناک طبقه‌بندی می‌شوند، جزء ترکیبات آلی فرار هستند که تحت عنوان VOC [2] شناخته می‌شوند؛ ترکیبات آلی فرار مانند بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و الکل ایزوپروپیل، جزء آلاینده‌های خطرناک هوا هستند که در صنعت چاپ به‌طور گسترده به‌عنوان حلال‌ها، محلول‌های اصلی یا مواد تمیز کننده مورد استفاده قرار می‌گیرند (۳). حلال‌های آلی، بخش مهمی برای انواع جوهر چاپ است که می‌تواند بسیاری از رزین‌های طبیعی یا مصنوعی را حل کند. تماس طولانی‌مدت با این حلال‌های آلی، باعث خشکی و آسیب دیدن پوست می‌شود. این حلال‌ها علاوه بر ورود از طریق دستگاه تنفسی، در صورت نفوذ به پوست یا رگ‌های خونی، سلول‌های خونی انسان را به خطر انداخته و عملکرد آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اگر ترکیبات حلال به ریه یا سایر اندام‌ها و روی عروق و غدد لنفاوی وارد شود، می‌تواند باعث مسمومیت مزمن در بدن شود. علاوه بر این، جوهرهای عمومی مورد استفاده در چاپ بسته‌های مواد غذایی، دارویی و اسباب‌بازی‌ها نیز حاوی فلزات سنگین و برخی از مواد مضر دیگر هستند که سلامتی انسان و کیفیت محیط زیست را به خطر می‌اندازند (۴). مواد رنگ‌زا از جمله ترکیبات دیگری هستند که به‌طور گسترده در صنعت چاپ مورد استفاده قرار می‌گیرند. ورود مواد رنگ‌زا به طبیعت موجب اثرات منفی بر اکوسیستم و انسان شده و نگرانی‌های زیست محیطی فراوانی را ایجاد می‌کنند (۵-۷). این ترکیبات با جذب از طریق پوست، موجب سوزش در بافت‌های بدن، ایجاد واکنش‌های حساسیت‌زا، جهش‌زایی و سمیت تنفسی می‌شوند؛ و در ادامه توسط واکنش با آلبومین خون، ترکیبات سرطان‌زا تولید می‌کنند (۸، ۹).

آلاینده‌های منتشره از صنعت چاپ شامل: ازن، فرمالدئید، ذرات حاوی ترکیبات سمی (۱۰-۱۶)، ترکیبات آلی فرار شامل: ایزوپروپیل الکل، استون، بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، زایلن (۱۷)، ذرات ریز و بسیار ریز (۱۸)، فلزات سنگین نظیر کادمیوم، سلنیوم، آرسنیک، روی (۱۹، ۲۰)، ذرات گرانول‌های فلزی و گرافیت با اندازه‌های کمتر از ۳۰۰ نانومتر (۲۱)، دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید آهن است (۲۲). از بین این آلاینده‌ها، ازن و ترکیبات آلی فرار به‌دلیل غلظت و پایداری بالا (۲۳) و همچنین اثرات متقابل این دو، اهمیت ویژه‌ای دارند (۲۴، ۲۵).

مطالعات نشان می‌دهد سطح آلاینده‌های تولیدی صنایع چاپ به‌طور معمول از مقدار استانداردهای سازمان بهداشت و ایمنی شغلی (OSHA) [3] و مرکز تحقیقات ملی بهداشت و ایمنی شغلی (NIOSH) [4] فراتر بوده (۲۶) و حتی استفاده از مواد شیمیایی مرغوب نیز موجب کاهش غلظت نمی‌شود (۲). اثرات بهداشتی این آلاینده‌ها شامل بیماری‌های حاد مانند سوزش چشم، سردرد، سرگیجه و مسمومیت و خشکی پوست، حساسیت‌های پوستی (۲۷، ۲۸)، وزوز گوش، لرزش، کمردرد، کرختی، تنگی نفس و یا بیماری‌های مزمن از قبیل سرفه مزمن، علائم التهابی پوست، ابتلاء به سرطان (۲۹) و حتی آسیب به DNA است (۳۰). با این وجود

1. World Health Organization
2. Volatile Organic Compound
3. Occupational Safety and Health Administration
4. The National Institute for Occupational Safety and Health

کارگران درک صحیحی از آلاینده‌های محیطی ندارند و اصول بهداشتی را رعایت نمی‌کنند (۳۱). از این رو باید اقدامات لازم صورت گیرد تا کارگران صنعت چاپ در معرض خطر کمتری قرار بگیرند (۱). برخی مطالعات برای کاهش اثرات بهداشتی، راهکار استفاده از حلال‌های جایگزین (۳۲) و یا جوهرهای زیستی (۳۳) را توصیه کرده‌اند؛ اما حلال‌های جایگزین غالباً بوی کمی دارند؛ بنابراین ممکن است علی‌رغم وجود آلودگی، شرایط در محیط‌های چاپ برای کارگران قابل قبول به‌نظر برسد که این امر می‌تواند بر ارزیابی ذهنی میزان آلودگی تأثیر بگذارد (۳).

تیومی و همکاران و کاگی و همکاران در مورد انتشار ازن و ترکیبات آلی فرار از مجموعه چاپگرهای لیزری و فتوکپی تحقیقاتی انجام داده و نتیجه گرفتند که پرینترهای لیزری، مقادیر قابل توجهی ازن و فرمالدئید و مقادیر کمتری از ترکیبات آلی فرار را منتشر می‌کنند (۱۱، ۱۴). بر اساس مطالعات ایورز و نووا و کوویستو و همکاران، علی‌رغم سمیت پایین ذرات منتشر شده از چاپگرهای لیزری، به‌دلیل انتشار قابل توجه ذرات یاد شده، در صورت استنشاق طولانی‌مدت باعث التهاب مزمن ریه می‌شود (۱۰، ۱۲). مطالعه شین و همکاران که با استفاده از دستگاه نمونه‌برداری، ذرات میکروسکوپی موجود در هوا را جمع‌آوری کرده و سپس مورد آنالیز قرار دادند، نشان داد که فرآیند چاپ باعث انتشار میزان قابل توجهی از ذرات با اندازه‌های کمتر از ۳۰۰ نانومتر شده است (۲۱). گروه پژوهشی کیورسکی و همکاران در صربستان، مطالعات متعددی در خصوص صنایع چاپ انجام داده‌اند که در اکثر این مطالعات، نمونه‌گیری از محیط داخلی صنایع چاپ انجام گرفته است. در یک پژوهش، شناسایی و تعیین مقدار ازن در فضای صنعت چاپ انجام گرفته است. علی‌رغم استفاده از مواد شیمیایی مرغوب، نتایج به‌وضوح نشان داده است که غلظت ازن بستگی به نوع فرآیند چاپ (خودکار و دستی) داشته و با حجم تولید افزایش می‌یابد و همچنین، غلظت ازن منتشره در محیط با افزایش فاصله از دستگاه‌ها، کاهش می‌یابد. در پژوهش دیگری که تأثیر عوامل آلودگی محیط زیست و سلامت کارگران در صنعت چاپ را مورد بررسی قرار دادند، به این نتیجه رسیدند که غلظت ازن محیط با افزایش غلظت ترکیبات آلی فرار کل افزایش می‌یابد. در پژوهش دیگری، به مواد خطرناک تولید شده در صنایع چاپ پرداختند و بر این اساس، مواد منتشر شده از صنایع چاپ را مورد تجزیه و تحلیل کمی قرار دادند. این گروه در پژوهش دیگری به بررسی غلظت ترکیبات آلی فرار، فرمالدئید، استون و ازن با استفاده از کروماتوگراف گازی پرداختند. تحقیقات انجام شده در این پژوهش نشان داد غلظت آلاینده‌ها از مقادیر استاندارد فراتر است. مجدداً در پژوهش دیگری در محیط چاپ فلکسوگرافی تحقیقاتی به عمل آوردند. نتایج تجربی نشان داده است که غلظت ایزوپروپیل الکل، استون، کل ترکیبات آلی فرار و ازن بالا است (۲، ۳، ۲۳-۲۶). در پژوهش عبدالله و همکاران در کشور کویت که در زمینه قرار گرفتن در معرض استنشاق در برابر مواد آلی فرار در صنعت چاپ و کاهش میزان آن‌ها انجام شد نیز حضور ترکیبات آلی فرار به‌ویژه بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن نشان داده شد (۱۷).

بر اساس مطالعات پیشین، نوع و میزان انتشار آلاینده‌ها از صنعت چاپ بسیار متنوع بوده و وابسته به نوع فرآیند چاپ، مواد شیمیایی مورد استفاده، بازده عملکرد تجهیزات و همچنین نیروی انسانی می‌باشد. مطالعه حاضر با هدف بررسی دقیق آلایندگی صنایع چاپ به لحاظ تولید و انتشار ترکیبات آلی فرار انجام شد. در راستای نیل به هدف پژوهش، یک کارخانه چاپ انتخاب و آلایندگی آن برای اولین بار در سطح کشور مورد بررسی تجربی دقیق قرار گرفت.

روش کار

پژوهش حاضر در یک کارخانه چاپ با روش چاپ هلیوگراوری که از ۷ رنگ برای چاپ استفاده می‌شود، در شهر تبریز استان آذربایجان شرقی انجام شد. در این کارخانه ۷ نفر در قسمت تولید در شیفت کاری ۱۲ ساعته از ۸ صبح تا ۸ شب مشغول به کار هستند. نمونه‌برداری مطابق روش پیشنهادی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) [1] و انتخاب مکان‌های نمونه‌برداری،

1. US Environmental Protection Agency

جدول ۱. میانگین غلظت آلاینده‌های موجود در هوای محیطی کارخانه چاپ

آلاینده	متوسط غلظت (٪)	مکان مشاهده شده	حلقوی/ خطی	دسته	فراریت
CH_4S	۱/۵۲	یک	خطی	مرکاپتان	بسیار فرار
	۱/۶۱	دو			
	۱/۵۵	سه			
	۱/۴۶	چهار			
C_2H_5NO	۰/۷۲	یک	خطی	آمید	فرار
$C_3H_7NO_4S$	۰/۳۲	یک	خطی	آمینو اسید	–
	۰/۱۶	دو			
	۰/۹۹	سه			
$C_3H_7NO_5S$	۰/۲۵	دو	خطی	آمینو اسید	–
$C_5H_4O_2$	۸/۱۳	یک	حلقوی	آلدهید	فرار
$C_5H_9NO_3$	۲/۵۱	یک	خطی	آمینو اسید	نیمه فرار
$C_5H_8N_2O_3S_2$	۳/۸	دو	حلقوی	–	فرار
	۰/۳	سه			
$C_6H_6N_2O$	۸/۶۶	یک	حلقوی	آمید	فرار
$C_6H_7NO_2S$	۲/۴	یک	حلقوی	آمید	–
	۴/۸۲	دو			
	۴/۸۸	سه			
	۴/۱۵	چهار			
$C_6H_{14}S_2$	۰/۱۹	یک	خطی	سولفید	–
	۰/۶۷	دو			
	۲/۰۵	سه			
	۰/۳۲	چهار			
$C_6H_{13}Si$	۲/۱۵	سه	خطی	–	–
$C_7H_8N_2O$	۱/۲۵	دو	حلقوی		نیمه فرار
	۱/۱۶	سه			
	۰/۳۰	چهار			
$C_7H_5N_3$	۰/۸۷	یک	حلقوی		–
$C_7H_{16}S$	۰/۳۸	یک	خطی	مرکاپتان	–
$C_8H_7N_3O_4$	۱/۴۴	یک	حلقوی	آمید	–
	۱/۵۸	دو			
$C_8H_8O_2$	۲/۲۶	یک	حلقوی	اسید آلی	نیمه فرار
$C_{12}H_{22}Si_2$	۱/۸	یک	حلقوی	–	بسیار فرار
$C_{21}H_{14}N_2O_7S$	۱/۷۱	چهار	حلقوی	اسید آلی	–
$C_{22}H_{44}O_2$	۰/۴۶	یک	خطی	اسید آلی	نیمه فرار
$C_{24}H_{72}O_{10}Si_{11}$	۴/۶۲	یک	خطی	–	نیمه فرار
$C_{30}H_{40}O$	۱/۱۲	یک	حلقوی	اتر	–

بر اساس رتبه‌بندی مکانی انجام گرفت. در این روش مکان‌ها به‌طور مستقل با استفاده از قضاوت حرفه‌ای انتخاب می‌شوند. با توجه به عدم یکنواخت بودن محیط داخلی صنعت چاپ، در تعیین مکان‌های اندازه‌گیری با در نظر گرفتن میزان آلایندگی محیط، تلاش شد از آلوده‌ترین نقطه تا مکان واقعی نمونه‌گیری شود (۳). نمونه‌برداری در یک روز عادی به لحاظ فرآیندی و از ۴ مکان متفاوت و از ارتفاع تقریباً ۱۶۰ سانتی‌متری (ناحیه تنفسی) انجام شد. برای دقت بیشتر، نمونه‌گیری ۳ بار با فاصله ۴۰ دقیقه تکرار شد. مکان شماره ۱، نزدیک‌ترین نقطه به مخزن رنگ‌ها و در فاصله ۰/۵ متری از مخازن رنگ، مکان شماره ۲ محل قرارگیری اپراتور در فاصله ۱ متری از دستگاه چاپ هلیوگراور، مکان شماره ۳ کمی دورتر از دستگاه چاپ و در فاصله ۲ متری از دستگاه و همچنین مکان شماره ۴ از فاصله چند متری از دستگاه و به‌عنوان فضای عمومی جهت نمونه‌برداری انتخاب شد. برای نمونه‌برداری آلاینده‌های هوا از پمپ خلأ با ولتاژ ۱۲ ولت و فشار منفی ۶۰ کیلوپاسکال، با جریان عبوری ۲/۴ لیتر بر دقیقه استفاده شد. پمپ دارای ابعاد کوچک و قابل حمل بوده و صدایی در حدود ۶۵ دسی‌بل ایجاد می‌کند. بالن‌های استفاده شده جهت ذخیره‌سازی هوا از جنس لاتکس بوده و حجمی در حدود ۳۰-۵۰ میلی‌لیتر دارند. این بالن‌ها دارای سر سوزن دوطرفه جهت ذخیره‌سازی هوا هستند. بلافاصله پس از اتمام نمونه‌برداری، نمونه‌ها جهت آنالیز به آزمایشگاه انتقال داده شدند. آنالیز نمونه‌ها با دستگاه کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنج جرمی ساخت شرکت آمریکایی اجیلنت (Agilent) انجام شد. گاز هلیوم ۹۹/۹۹۹٪ به‌عنوان گاز حامل با سرعت ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد. قبل از تزریق نمونه‌ها برای به‌دست آوردن نتایج دقیق‌تر، دستگاه در دمای بالا آلوده‌زدایی شد. برای تزریق نمونه‌ها، با استفاده از سرنگ مخصوص کروماتوگراف گازی- طیف‌سنج جرمی ۱۰۰ میکرولیتر از بالن نمونه اخذ و مقدار ۵۰ میکرولیتر از محل انژکتور به دستگاه تزریق شد. دمای اولیه دستگاه ۵۰ درجه سانتی‌گراد بود که ۵ دقیقه در این دما آنالیز انجام گرفت. سپس با سرعت ۸ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه، دما تا ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. در نهایت با افزایش دما تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و نگهداشت ۳ دقیقه‌ای آن در این دما، آنالیز انجام گرفت. کل زمان آنالیز هر نمونه ۳۷ دقیقه طول کشید. خطای اندازه‌گیری دستگاه مورد نظر ۵٪ بود.

نتایج آنالیز در جدول ۱ ارائه شده است. مطابق تقسیم‌بندی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA)، ترکیبات آلی فرار با نقطه جوش پایین‌تر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد با مشخصه ترکیبات آلی بسیار فرار تحت عنوان (VVOC) [1]، ترکیبات با نقطه بالاتر از محدوده اول تا نقطه جوش زیر ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد تحت عنوان ترکیبات آلی فرار (VOC) و ترکیبات با نقاط جوش بالاتر تا حدود ۳۸۰-۴۰۰ درجه سانتی‌گراد در محدوده ترکیبات نیمه‌فرار، تحت عنوان (SVOC) [2] قرار می‌گیرند.

یافته‌ها

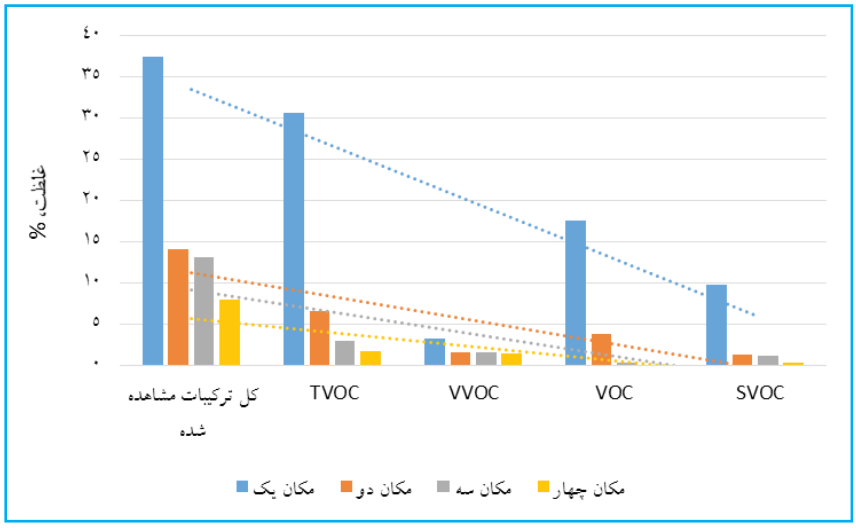
جدول ۱ نشان‌دهنده تمام ترکیباتی است که در محیط کارخانه مشاهده شد؛ بخشی از این ترکیبات جزء آلی فرار قرار می‌گیرند. جدول ۲ آلاینده‌ها را به تفکیک میزان فراریت و مکان آلاینده‌های مشاهده شده نشان می‌دهد. مجموع ترکیبات آلی بسیار فرار، فرار و نیمه‌فرار تحت عنوان کل ترکیبات آلی فرار (TVOC) [3] مشخص شده‌اند.

در نمودار ۱، روند تغییرات غلظتی به تفکیک نوع فراریت و مکان مشاهده شده، ارائه شده است. با توجه به نتایج مندرج در جدول ۲ و نمودار ۱، به‌طور کلی غلظت آلاینده‌ها در مکان شماره ۱ بیشترین مقدار و مکان شماره ۴ کمترین مقدار بود. این روند در تقسیم‌بندی ترکیبات بسیار فرار، فرار و نیمه‌فرار نیز مشاهده شد. تنها مورد نقض، بالا بودن غلظت ترکیبات VOC در مکان شماره ۲ بود که می‌تواند به‌دلیل مجاورت نقطه نمونه‌گیری با حلال‌های دستگاه چاپ در حال کار باشد.

1. Volatile Organic Compounds
2. Semi Volatile Organic Compounds
3. Total Volatile Organic Compounds

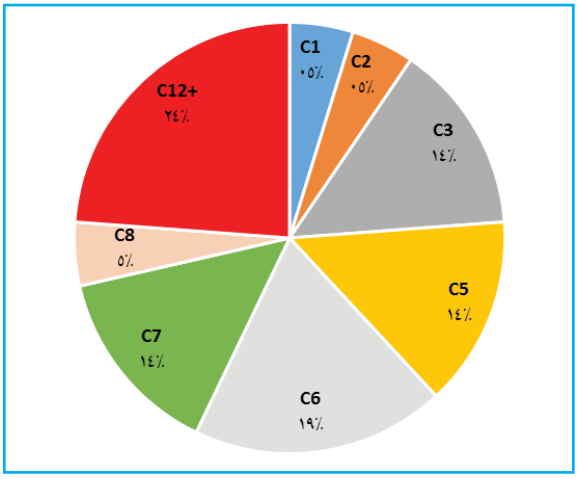
جدول ۲. مکان و غلظت آلاینده‌های آلی فرار صنعت چاپ

ردیف	غلظت بر حسب درصد	مکان یک	مکان دو	مکان سه	مکان چهار
۱	کل ترکیبات مشاهده شده	۳۷/۴	۱۴/۱۴	۱۳/۰۸	۷/۹۴
۲	TVOC	۳۰/۶۸	۶/۶۶	۳/۰۱	۱/۷۶
۳	VVOC	۳/۳۲	۱/۶۱	۱/۵۵	۱/۴۶
۴	VOC	۱۷/۵۱	۳/۸	۰/۳	۰
۵	SVOC	۹/۸۵	۱/۲۵	۱/۱۶	۰/۳



نمودار ۱. غلظت ترکیبات مشاهده شده در مکان‌های مختلف محیط داخل کارخانه

تعداد کربن در ساختار ملکولی ترکیبات موجود در هوای محیطی کارخانه نیز بررسی شد (نمودار ۲). بیش از نیمی از ترکیبات (۵۲٪) در ساختار خود دارای ۵-۸ کربن می‌باشند که نشان‌دهنده حلال بودن ترکیبات مشاهده شده است. وجود حلال‌ها در محیط چاپخانه نه‌تنها نشان‌دهنده آلودگی بالا، بلکه به مفهوم هدررفت حلال‌های مورد استفاده در صنعت نیز می‌باشد که علاوه بر آلودگی محیط، زیان‌های اقتصادی نیز بر جای می گذارد.



نمودار ۲. تقسیم‌بندی آلاینده‌های منتشره برحسب تعداد کربن

از کل ترکیبات مشاهده شده، ۵۲٪ جزء ترکیبات حلقوی بوده و ۴۸٪ آن‌ها ساختار خطی دارند. به لحاظ آلایندگی نیز (نمودار ۳) ۳۸٪ از ترکیبات مشاهده شده جزء ترکیبات گوگردی، ۵۲٪ دارای ترکیبات نیتروژن‌دار و ۱۴٪ از ترکیبات نیز در ساختار خود دارای سیلسیم می‌باشند. تنوع آلایندگی ترکیبات و بعضاً ساختار پیچیده آن‌ها، مخاطرات بهداشتی زیادی را به‌همراه دارد.

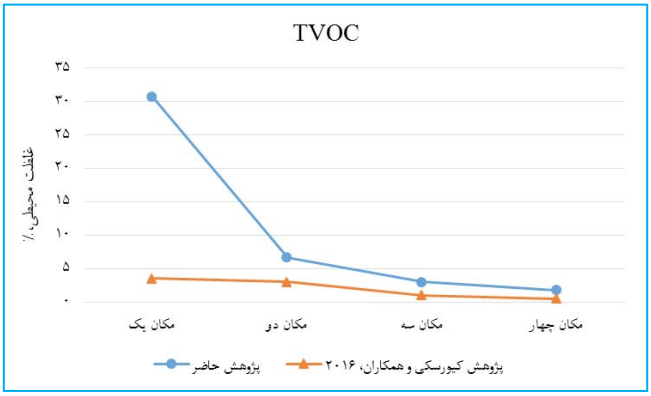
نمودار ۳. درصد آلاینده‌های گوگرددار، نیتروژن‌دار و سیلسیم‌دار

بحث

مواد شیمیایی مورد استفاده در یک چاپخانه، صرفاً ماده رنگ‌زا، حلال‌ها و یا مرکب نیستند؛ بلکه به‌منظور افزایش براقیت، مقاومت در برابر ساییدگی، پایداری در مقابل گرما، مواد شیمیایی و آب، افزایش سرعت تبخیر رنگ از روی سطح پوشش و ... از ترکیبات شیمیایی افزودنی متنوعی نظیر رزین‌ها، هاردنرها، اپوکسی‌ها و ... استفاده می‌شود که ساختار شیمیایی پیچیده‌تری نسبت به حلال‌ها دارند. مروری بر جداول ۱ و ۲ نشان می‌دهد آلاینده‌های متنوعی با غلظت‌های بالا در حد درصد (هزار برابر ppm) منتشر می‌شود. این ترکیبات بعضاً در ظروف روباز در محیط کارخانه قرار دارند که بوی تند آن‌ها حتی در محیط نیز به مشام می‌رسد. این ترکیبات یا افزودنی‌ها به‌دلیل تجاری بودن با اسامی کدگذاری شده به فروش می‌رسند و به‌دلیل رقابت سنگین در حوزه فروش مواد شیمیایی صنعتی، ترکیبات دقیق آن‌ها منتشر نمی‌شود. شکل ۱ مشاهدات میدانی از محیط داخلی دو کارخانه چاپ با روش هلیوگراور را نشان می‌دهد. در هر دو مورد، مخازن رنگ بدون پوشش مناسب در محیط قرار گرفته‌اند. غیر از مخازن رنگ، مخازن سایر مواد شیمیایی مورد استفاده در کارخانه چاپ نیز به‌همین طریق و بدون پوشش‌های مناسب در محیط کارخانه رها شده‌اند.

شکل ۱. مشاهدات میدانی از محیط داخلی کارخانه چاپ (بالا: کارخانه پژوهش حاضر و پایین کارخانه مشابه دیگر)

غلظت کل ترکیبات آلی فرار با مقادیر به‌دست آمده در یک پژوهش بین‌المللی، در قالب نمودار ۴ مقایسه شده است. با توجه به اینکه انتخاب مکان مناسب نمونه‌برداری در شهر تبریز متناظر با این پژوهش انتخاب شده است، لذا غلظت‌های این دو پژوهش، قابل مقایسه می‌باشد. همانطور که در نمودار ۴ ملاحظه می‌شود، غلظت آلاینده‌های به‌دست آمده این پژوهش، در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده در مکان‌های متناظری از کارخانه چاپ واقع در کشور صربستان (۳)، بسیار بالا می‌باشد و این تفاوت بسیار زیاد را می‌توان در درجه اول به عدم وجود تجهیزات مناسب تهویه هوا و همچنین فرسوده بودن دستگاه‌های چاپ و در درجه دوم، نبود قوانین و نظارت کافی در محیط‌های داخلی صنایع ایران نسبت داد.



نمودار ۴. مقایسه غلظت آلاینده‌های منتشره در مکان‌های متناظر این پژوهش با یک پژوهش بین‌المللی

بر اساس مشاهدات میدانی و همچنین نتایج اندازه‌گیری‌ها، آلاینده‌های متنوعی در محیط چاپخانه منتشر می‌شود که به‌دلیل استفاده گسترده از مواد شیمیایی نظیر انواع حلال‌های آلی، رزین‌ها، چسب‌ها و شوینده‌هایی است که در مراحل مختلف چاپ مورد استفاده قرار می‌گیرند. ارتباط مستقیمی بین غلظت این آلاینده‌ها و اثرات فردی و اجتماعی وجود دارد؛ به‌طوری‌که خطری جدی برای سلامتی کارگران تلقی می‌شود (۳). چندین عامل در اثرات ترکیبات آلی فرار بر روی انسان تأثیر دارند که شامل غلظت ترکیبات آلی فرار در اتمسفر و مدت زمان مواجهه با ترکیبات آلی فرار است. همچنین عواملی مانند سن، جنس، بیماری، وضعیت تغذیه‌ای، سیگار کشیدن و تنوع ژنتیکی ممکن است در اثرات قرار گرفتن در معرض ترکیبات آلی فرار نقش داشته باشند. ترکیبات آلی فرار در غلظت زیاد تأثیراتی مانند خستگی، سرگیجه، حالت تهوع، تغییر هوشیاری یا تشنج می‌تواند بر سلامت انسان بگذارد (۳۴). اثرات بهداشتی برخی آلاینده‌های مشاهده شده در صنعت مورد پژوهش در جدول ۳ ارائه شده است (۳۵). اطلاعات ممکن است بین اعلان‌ها بسته به ناخالصی‌ها، مواد افزودنی و سایر عوامل متفاوت باشد. مقادیر ارائه شده در پرانتز نشانگر نسبت طبقه‌بندی اعلام شده از شرکت‌هایی است که کد خطر ارائه می‌دهند. صرفاً کدهای خطر با مقادیر درصد بالای ۱۰٪ نشان داده شده است. از طرفی زمانی که آلاینده‌های متعددی حتی در غلظت‌های کم در هوای داخلی وجود دارند، اثرات بهداشتی ترکیبی آن‌ها بر روی افراد با دانش سم‌شناسی قابل پیش‌بینی نیست. بر اساس مطالعات انجام شده، محدوده غلظت ترکیبات آلی فرار به لحاظ تأثیر آن‌ها در سلامتی انسان‌ها در جدول ۴ ارائه شده است که بر این اساس، غلظت‌های بالاتر از ۳ میلی گرم بر متر مکعب، نگرانی‌های جدی ایجاد خواهد کرد (۳۶).

جدول ۳. طبقه‌بندی سیستم هماهنگ جهانی در خصوص اثرات بهداشتی آلاینده‌های مشاهده شده (۳۵)

نام آلاینده	فرمول شیمیایی	علامت	اثرات بهداشتی
متان تیول	CH_4S	خطرناک	گاز بسیار قابل اشتعال، در صورت استنشاق سمی، خطرناک برای محیط زیست و آب
سیستین سولفونیک اسید	$C_3H_7NO_4S$	خطرناک	تحریک پوست (۹۷٪)، چشم (۹۷٪) و سیستم تنفسی (۹۷٪)
سیستیک اسید	$C_3H_7NO_5S$	خطرناک	تحریک پوست (۱۰۰٪)، چشم (۱۰۰٪) و سیستم تنفسی (۱۰۰٪)
فورفورال	$C_5H_4O_2$	خطرناک	تحریک پوست (۲۹٪)، چشم (۱۰۰٪) و سیستم تنفسی (۲۹٪)
هیدروکسی پرولین	$C_5H_9NO_3$	خطرناک	تحریک پوست (۱۰۰٪)، چشم (۱۰۰٪) و سیستم تنفسی (۱۰۰٪)
نیکوتین آمید	$C_6H_6N_2O$	خطرناک	تحریک پوست (۲۹٪)، چشم (۱۰۰٪) و سیستم تنفسی (۲۹٪)
بنزوسولفونامید	$C_6H_7NO_2S$	خطرناک	در صورت بلعیدن مضر (۱۰۰٪)
بنزوهیدرازید	$C_7H_8N_2O$	خطرناک	مسمویت خوراکی (۸۷٪)، تحریک پوست (۱۰۰٪)، چشم (۱۰۰٪) و سیستم تنفسی (۹۸٪)
نیتروفتالامید	$C_8H_7N_3O_4$	خطرناک	تحریک پوست (۱۰۰٪)، چشم (۱۰۰٪) و سیستم تنفسی (۹۷٪)
پارا فنیلن بیس تری متیل سیلان	$C_{12}H_{22}S_{i2}$	خطرناک	تحریک چشم (۱۰۰٪)
کالکو کربوکسیلیک اسید	$C_{21}H_{14}N_2O_7S$	خطرناک	تحریک پوست (۱۰۰٪)، چشم (۱۰۰٪) و سیستم تنفسی (۹۸٪)

جدول ۴. سطح نگرانی‌های بهداشتی غلظت کل ترکیبات آلی فرار (TVOC) (۳۶)

محدوده غلظت	واحد	سطح نگرانی‌های بهداشتی
کوچک‌تر از ۰/۳	میلی گرم بر متر مکعب	کم
در محدوده ۰/۳ تا ۰/۵	میلی گرم بر متر مکعب	قابل قبول
محدوده ۰/۵ تا ۱	میلی گرم بر متر مکعب	تا حدی
بالاتر از ۱ تا ۳	میلی گرم بر متر مکعب	بالا

مروری بر غلظت ترکیبات آلی فرار صنعت مورد پژوهش، نشان‌دهنده اختلاف بسیار زیاد غلظت آلاینده‌های موجود در هوا با سطح استاندارد آن‌ها است که نیازمند توجه جدی و مداخله فوری برای کاهش آلایندگی محیط‌های صنعت چاپ می‌باشد. روش ارجح برای مدیریت کیفیت هوای داخلی، کنترل و جایگزینی منبع آلودگی و در صورت عدم امکان تهویه مناسب محل، استفاده از تجهیزات تهویه مطبوع به‌دلیل ناکافی بودن تهویه طبیعی (۳۷-۴۰) و یا استفاده همزمان از فیلترها و سیستم تهویه مطبوع جهت کاهش حدودی انتشار پیشنهاد می‌شود (۴۱).

نتیجه‌گیری

در این مطالعه که یک کارخانه چاپ به عنوان نماینده‌ای از صنایع چاپ انتخاب و نوع و میزان آلاینده‌های آلی فرار منتشره از این صنعت مورد بررسی قرار گرفت، غلظت بسیار بالایی از مجموع VVOC و VOC مشاهده شد. مطابق مشاهدات میدانی، علاوه بر حلال و مرکب‌ها، مواد شیمیایی دیگری شامل: انواع شوینده‌های سیلندر، رزین‌ها و چسب‌ها در فرآیند چاپ مورد استفاده قرار می‌گیرند که منجر به انتشار آلاینده‌های پیچیده در این صنعت می‌شود؛ به‌طوری‌که غلظت این آلاینده‌ها از میزان استانداردهای بهداشتی OSHA و NIOSH بسیار فراتر رفته است. یافته‌های به‌دست آمده در این مطالعه، درک ما را در مورد منابع انتشار و عوامل مؤثر بر انتشار ترکیبات آلی فرار در فرآیند چاپ و همچنین تأثیر این آلاینده‌ها بر سلامت کارگران به‌طور چشم‌گیری تقویت کرده است که نیازمند مداخله فوری سازمان‌های نظارتی زیست‌محیطی و بهداشتی به مسئله بهداشت محیط صنایع چاپ می‌باشد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان "بررسی تجربی نوع و میزان آلاینده‌های آلی فرار منتشره از صنایع چاپ در محیط‌های بسته صنایع چاپ" با کد ۴-۵۱-۹۸، که با حمایت مالی شرکت شهرک‌های صنعتی استان آذربایجان شرقی انجام گرفته است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از مدیرعامل محترم کارخانه مورد نظر که موجبات انجام پژوهش را فراهم نمودند، سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Vicente ED, Ribeiro JP, Custódio D, Alves CA. Assessment of the indoor air quality in copy centres at Aveiro, Portugal. Air quality, atmosphere & health. 2017;10(2):117-27.
2. Kiurski JS, Oros IB, Kecic VS, Kovacevic IM, Aksentijevic SM. The temporal variation of indoor pollutants in photocopying shop. Stochastic environmental research and risk assessment. 2016;30(4):1289-300.
3. Kiurski J, Marić B, Aksentijević S, Oros I, Kecić V. Occupational hazards in printing industry. International journal of environmental science and technology. 2016;13(3):955-72.
4. Cui W, Lu W, Zhang Y, Lin G, Wei T, Jiang L. Gold nanoparticle ink suitable for electric-conductive pattern fabrication using in ink-jet printing technology. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2010;358(1-3):35-41.
5. Rafiei S. Optimization and Production of Polyacrylonitrile Based Activated Carbon Nanofibers for Dye Wastewater Treatment. Journal of color science and technology. 2020;14(4):281-94.
6. Mohammadi HG, Vanashi AK, Ziaratgah MT, Pirgoli M. Nanocomposite Hydrogels Based on Gelatin and Nickel

Oxide Nanoparticles for Adsorption of Cationic Pollutants. 2020.
7. Akbari A. Preparation of Azo-based Dyes Using Green Acid Catalysts. 2019.
8. Ahmadian SS, Amani-Ghadim A, Bipir F. Synthesize of Metal Organic Frameworks Based on the Titanium and Investigations of Its Activity in Photocatalytic Removal of Reactive Blue 19 Dye from Aqueous Solution.
9. Khajeh Aminian M, Sajadi F, Mohammadizadeh M, Fatah S. Hydrophilic and Photocatalytic Properties of TiO2/SiO2 Nano-layers in Dry Weather. Progress in Color, Colorants and Coatings. 2021;14(3):221-32.
10. Ewers U, Nowak D. Health hazards caused by emissions of laser printers and copiers? GEFAHRSTOFFE REINHALTUNG DER LUFT-GERMAN EDITION-. 2006;66(5):203.
11. Kagi N, Fujii S, Horiba Y, Namiki N, Ohtani Y, Emi H, et al. Indoor air quality for chemical and ultrafine particle contaminants from printers. Building and Environment. 2007;42(5):1949-54.
12. Koivisto AJ, Hussein T, Niemelä R, Tuomi T, Hämeri K. Impact of particle emissions of new laser printers on modeled office room. Atmospheric Environment. 2010;44(17):2140-6.
13. Mullins BJ, Bertolatti D, Mead-Hunter R. Assessment of polyaromatic hydrocarbon emissions from laser printers. Atmospheric environment. 2013;79:428-32.
14. Tuomi T, Engström B, Niemelä R, Svinhufvud J, Reijula K. Emission of ozone and organic volatiles from a selection of laser printers and photocopiers. Applied Occupational and Environmental Hygiene. 2000;15(8):629-34.
15. Scungio M, Vitanza T, Stabile L, Buonanno G, Morawska L. Characterization of particle emission from laser printers. Science of the Total Environment. 2017;586:623-30.
16. Gu J, Karrasch S, Salthammer T. Review of the characteristics and possible health effects of particles emitted from laser printing devices. Indoor air. 2020;30(3):396-421.
17. Alabdulhadi A, Ramadan A, Devey P, Boggess M, Guest M. Inhalation exposure to volatile organic compounds in the printing industry. Journal of the Air & Waste Management Association. 2019;69(10):1142-69.
18. Voliotis A, Karali I, Kouras A, Samara C. Fine and ultrafine particle doses in the respiratory tract from digital printing operations. Environmental Science and Pollution Research. 2017;24(3):3027-37.
19. Al-Awadi L. Assessment of indoor levels of volatile organic compounds and carbon dioxide in schools in Kuwait. Journal of the Air & Waste Management Association. 2018;68(1):54-72.
20. Nandan A, Siddiqui N, Kumar P. Assessment of environmental and ergonomic hazard associated to printing and photocopying: a review. Environmental geochemistry and health. 2019;41(3):1187-211.
21. Shin N, Velmurugan K, Su C, Bauer AK, Tsai CS. Assessment of fine particles released during paper printing and shredding processes. Environmental Science: Processes & Impacts. 2019;21(8):1342-52.
22. Setyawati MI, Singh D, Krishnan SP, Huang X, Wang M, Jia S, et al. Occupational inhalation exposures to nanoparticles at six Singapore printing centers. Environmental science & technology. 2020;54(4):2389-400.
23. Kiurski JS, Marić BB, Oros IB, Kecić VS. The ecodesign practice in Serbian printing industry. Journal of Cleaner Production. 2017;149:1200-9.
24. Kiurski J, Ranogajec J, Vucetic S, Zoric D, Adamovic S, Oros I, et al. Fired clay with polymer addition as printing developer purifier. Applied clay science. 2012;65:48-52.
25. Kiurski J, Marić B, Adamović D, Mihailović A, Grujić S, Oros I, et al. Register of hazardous materials in printing industry as a tool for sustainable development management. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012;16(1):660-7.
26. Kiurski JS, Marić BB, Aksentijević SM, Oros IB, Kecić VS, Kovacˇević IM. Indoor air quality investigation from screen printing industry. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013;28:224-31.
27. Horstman SW, Browning SR, Szeluga R, Burzycki J, Stebbins A. Solvent exposures in screen printing shops. Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2001;36(10):1957-73.
28. Decharat S. Prevalence of acute symptoms among workers in printing factories. Advances in preventive medicine. 2014;2014.
29. Ibrahim AA, Hakim SA, El Gewely MS, Wassif GO. Occupational exposures and health profile among workers in an Egyptian printing press. Egyptian Journal of Community Medicine. 2019;37(4):75-83.
30. Goud KI, Shankarapppa K, Vijayashree B, Rao KP, Ahuja Y. DNA damage and repair studies in individuals working with photocopying machines. International Journal of Human Genetics. 2001;1(2):139-43.
31. Shama M. Perceptions and practices regarding Occupational hazards and safety measures among printing workers. Egyptian Journal of Occupational Medicine. 2009;33(2):155-74.
32. Hayta P, Oktav M. The Importance of Waste and Environment Management in Printing Industry. European Journal of Engineering and Natural Sciences. 2019;3(2):18-26.
33. Kandeloos AJ, Bastani S, Mashayekhan S. 3D Bioprinting and Natural Bioinks: Principles and Applications. Journal of Studies in Color World. 2021;10(4):31-51.
34. Ismail OMS, Hameed RSA. Environmental effects of volatile organic compounds on ozone layer. Adv Appl Sci Res. 2013;4(1):264-8.

35. https://www.osha.gov/hazcom/global/ (accessed 19 April, 2021).
36. https://www.tecamgroup.com/acceptable-voc-levels/ (accessed 20 April, 2021).
37. Vilcekova S, Meciarova L. Monitoring of indoor environmental quality in a printing company–Case study. People, Buildings and Environment. 2016.
38. Singh BP, Kumar A, Singh D, Punia M, Kumar K, Jain VK. An assessment of ozone levels, UV radiation and their occupational health hazard estimation during photocopying operation. Journal of hazardous materials. 2014;275:55-62.
39. Ramlan N, Ahmad SNH, Aminuddin E, Hamid HA, Yaman SK, editors. Assessment of indoor air quality in comparison using air conditioning and fan system in printing premise. MATEC Web of Conferences; 2017: EDP Sciences.
40. Meciarova L, Vilcekova S. Determination of VOCs in the Indoor Air of a New and a Renovated Apartment. Selected Scientific Papers: Journal of Civil Engineering. 2016;11(1).
41. Barrese E, Gioffrè A, Scarpelli M, Turbante D, Trovato R, Iavicoli S. Indoor pollution in work office: VOCs, formaldehyde and ozone by printer. Occupational Diseases and Environmental Medicine. 2014;2014.