



## استراتژی‌های مدیریتی برای کاهش آلاینده‌ها در فرآیند چاپ لیتوگرافی

علیرضا سوخته سرایی<sup>۱\*</sup>، الهام نوروزی<sup>۲</sup>، حمید شریعتی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، مهندسی خمیر و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، کد پستی: ۳۱۳۴۶۸۳۷۱۸

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع چوب، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، کد پستی: ۴۹۵۵۱۵۵۸۴۶

۳- دانشجوی کارشناسی، مهندسی چاپ، دانشکده چاپ و نشر، دانشگاه علمی- کاربردی، تهران، ایران، کد پستی: ۳۱۳۴۶۸۳۷۱۸

تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۴ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۳/۶/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۳۱ در دسترس بصورت الکترونیک: ۹۳/۷/۱۵

### چکیده

میزان تولید آلاینده‌های صنعتی در طی چند دهه اخیر، رشد فزاینده‌ای داشته است. آلاینده‌ها به مواد زاید اعم از جامد، مایع و گاز که دارای فعالیت شیمیایی، سمیت، خاصیت انفجاری، خورندگی می‌باشند، اطلاق می‌شود. این مواد برای سلامت انسان یا محیط زیست، به صورت مجزا و یا هنگامی که با سایر مواد زاید مخلوط می‌شوند، ایجاد خطر می‌کنند. صنایع چاپ از جمله صنایعی خطرناک برای محیط زیست محسوب می‌شوند که به دلیل مصرف الکل‌ها، مرکب‌ها، پاک‌کننده‌ها، می‌توانند طیف وسیعی از آلاینده‌های صنعتی را تشکیل دهند. دولت‌ها و صاحبان صنایع برای کاهش آلاینده‌ها اقدامات و قوانینی را وضع کرده‌اند که این تحقیق به اقدامات ضروری از جمله به‌کارگیری مواد آب پایه، استفاده از مرکب‌های باز، ایجاد برج تقطیر، ایجاد شهرک‌های تخصصی چاپ، جداسازی پساب‌های صنعتی و غیره برای کاهش آلاینده‌های صنایع چاپ پرداخته است.

### واژه‌های کلیدی

مشکلات زیست محیطی، حلال‌ها، چاپ، کاهش اثرات زیست محیطی، مرکب.

### چکیده تصویری





## Management Strategies to Reduce Pollutants of Litographic Printing

Alireza Sukhtesaraie\*<sup>1</sup>, Elham Norouzi<sup>2</sup>, Hamid Shariati<sup>3</sup>

- 1- Pulp and Paper Engineering, Natural Resource Faculty, Tehran University, Tehran, Iran, Postal code: 3134683718
- 2- Engering of Wood Industry, Natural Resource Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, Postal code: 49955155846
- 3- Printing Engeeniring, Print College, University of Applied Science and Technology Tehran, Iran, Postal code: 3134683718

### Abstract

Industrial Pollutants had grown increasingly over the past few decades. Contaminants including solid, liquid and gas phases which have chemical toxicity, explosive, corrosive properties. They are dangerous either individually or when mixed with other wastes to human health and environment. Due to the presence of alcohols, detergents and solvents in large volumes, printing and packaging industries are dangerous. Governments should take actions to reduce emissions and Pollutants. This research discussed about the international essential activities such as using stay open inks, water-based inks, distillation tower, specialized printing settlements, Separation industrial effluents and etc to reduce printing and packaging industrial pollution.

### Keywords

Environmental problems, Solvents, Printing, Environmental impact reduction, Ink.

### Graphical Abstract



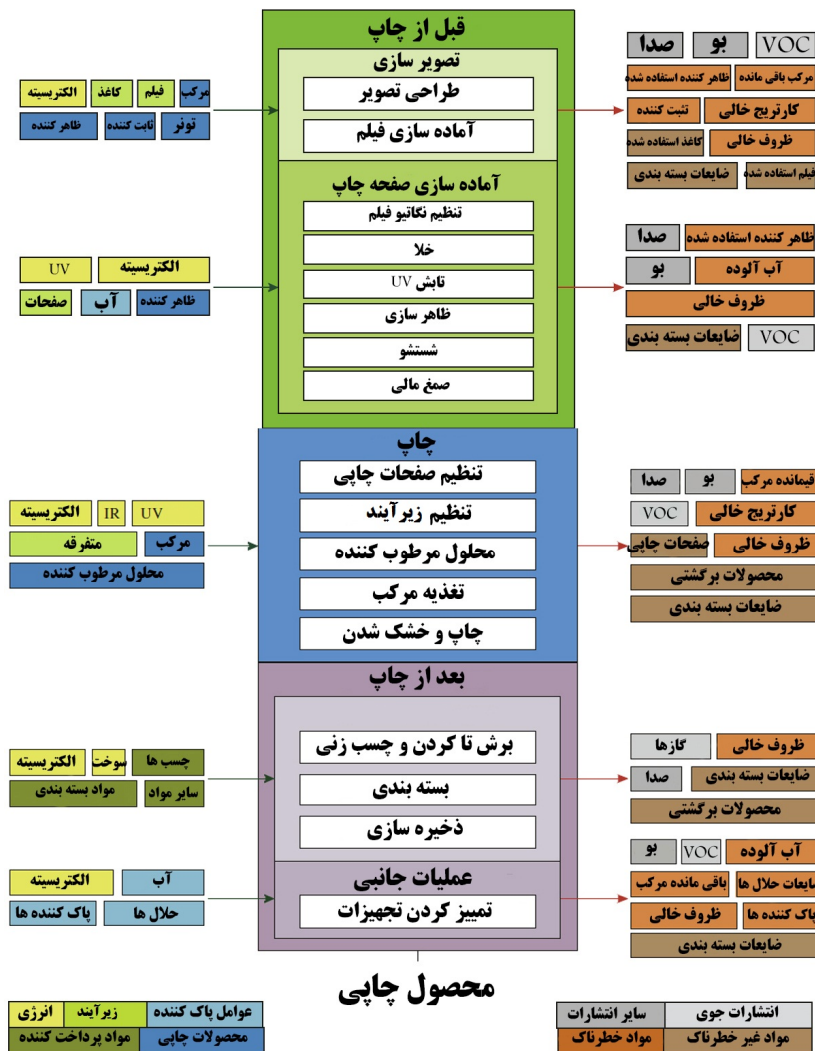
۱- مقدمه

منظور کاهش میزان آلاینده‌گی، برگ برنده خود در جذب بازار می دانند [۳]. در این میان، فعالان عرصه چاپ و بسته‌بندی نیز با تلاش برای به‌کارگیری روش‌های زیست محیطی مختلف و به‌کارگیری متخصصان در بخش مدیریت محیط زیست وارد رقابت فشرده‌ای با یکدیگر شده‌اند [۴].

۲- مواد و روش‌ها

تولید آلاینده‌های زیست محیطی در هر سه فاز جامد، مایع و گاز در صنایع چاپ و بسته‌بندی باعث تبدیل کردن این صنایع به یکی از خطرناک‌ترین صنایع حاضر جهان شده که این موضوع به تبع مشکلاتی را برای سیستم بازیافت این مواد ایجاد خواهد کرد. آنالیز داده‌های حاصل از مراکز تحقیقات صنعتی موجود پیرامون میزان تولید گازهای سمی توسط صنعت چاپ در آلمان که تولید سالانه ۷۰,۰۰۰ تن گاز سمی و ارسال آن به طبیعت را نشان می‌دهد و نتایج نشان‌دهنده آن است که صنایع چاپ در میان آلوده‌کننده‌ترین صنایع قرار گرفته است [۱]. شکل ۱ انواع آلاینده‌های صنعت چاپ نشان داده شده است [۵].

مواد خطرناک به مواد زائد اعم از جامد، مایع و گاز که دارای فعالیت شیمیایی، سمیت، خاصیت انفجاری، خوردگی و یا سایر ویژگی‌هایی که برای سلامتی انسان یا محیط زیست ایجاد خطر نماید، اطلاق می‌گردد [۱]. تجربیات مختلف در کشورهای توسعه یافته نشان می‌دهد که حذف اثرات زیان بار ناشی از پخش مواد خطرناک و پاک‌سازی محیط، به مراتب پرهزینه‌تر از اعمال مدیریت صحیح در جلوگیری از آن می‌باشد که بین ده تا صد درصد پرهزینه‌تر از مدیریت صحیح اولیه آنها برآورد گردیده است [۲، ۱]. از آنجایی که صنعت چاپ به عنوان یکی از بزرگترین تولیدکنندگان گازهای سمی، ذرات گرد و غبار و ایجاد سر و صدا می‌باشد وجود استانداردها و قوانین بین‌المللی و ضوابط خاصی جهت کنترل آلاینده‌ها و حفظ سلامتی اپراتورها در مراکز چاپ مورد نیاز می‌باشد که در ادامه به راهکارهای زیست محیطی پیش روی صنعت چاپ پرداخته خواهد شد [۱]. با افزایش آگاهی مردم، تقاضا محصولات دوست‌دار محیط زیست روز به روز در حال افزایش است. به‌گونه‌ای که تولیدکنندگان به‌کارگیری روش‌های نوین در تولید را به



شکل ۱- انواع آلاینده‌های بخش‌های مختلف چاپ به روش لیتوگرافی [۵].

## ۳-۱-۳- پاک‌کننده‌ها

امروزه از پاک‌کننده‌ها برای تمیزسازی سیلندرها، صفحات چاپی، مخزن مرکب و لوله‌ها استفاده می‌شود، با مصرف پاک‌کننده‌ها، مقادیر زیادی گازهای سمی روانه طبیعت می‌شوند. عمدتاً تمیزکننده‌ها از ترکیب گلیکول اترها، نفت سنگین، هیدروکربنات‌ها و مواد بازدارنده خوردگی تشکیل شده‌اند. به دلیل فراریت بالای تمیزکننده‌ها، ترکیب‌های آلی فرار زیادی ایجاد و سبب مشکلات سلامتی مانند سوزش ریه می‌شوند. پاک‌کننده‌هایی با درجه فراریت بالا علاوه بر مشکلات زیست محیطی موجب آسیب رساندن به ماشین چاپ شده و طول عمر صفحات چاپ را کاهش می‌دهند [۱۰، ۱۱].

## ۳-۲- آلاینده‌های فاز جامد

۳-۲-۱- ریز ذرات<sup>۲</sup> حاصل از زیرآیند

استفاده از کاغذ در حجم بالا در محیط‌های کوچک مانند چاپخانه، می‌تواند مشکلات تنفسی ایجاد کند. به عنوان مثال در چاپخانه‌ای که روزانه سه تن کاغذ چاپ می‌شود در حدود ۱۵-۸ کیلوگرم ریز ذراتی که عمدتاً حاصل از پرکننده‌هاست ایجاد می‌گردد، که در صورت نبود سیستم خلاء مناسب در محیط‌های صنعتی موجب مشکلات تنفسی برای اپراتورها ایجاد خواهد شد. همچنین کثیف‌شدن سیلندرها، دستگاه‌های چاپ را به دنبال خواهد داشت. این امر باعث توقف زود به زود سیستم‌های چاپ می‌شود [۶، ۱۲]. چاپ الکتروگرافی دارای مشکلاتی است که آن را در زمره روش‌های ناسازگار با محیط زیست قرار می‌دهد. از جمله این موارد می‌توان به تولید ذرات ریز جامد در هنگام استفاده از پودر (تونر) خشک و وارد شدن مواد بسیار خطرناکی مانند بنزن و ترکیب‌های نیتروژن دار و فلزات سنگین به طبیعت در اثر استفاده از پودرهای نامرغوب و غیراستاندارد اشاره کرد [۱۳]. در تهیه مرکب‌های UV از حلال استفاده نمی‌شود و حلال‌های نامبرده شده بیشتر در چاپ‌های تماسی استفاده می‌شوند.

## ۳-۲-۲- فلزات سنگین

مرکب‌ها با توجه به نوع فرآیند چاپ، از مواد مختلفی مانند فلزات سنگین تشکیل شده‌اند که این مواد می‌توانند مشکل‌های زیست محیطی زیادی به وجود آورند که در ذیل اشاره می‌شود:

**آهن:** آهن موجود در بسته‌های فلزی و مرکب‌ها در مجاورت رطوبت، اسیدها و سایر ترکیب‌های خورنده، به نمک‌های مختلف تبدیل شده که در معرض هوا اکسید شده و به سولفات فریک تبدیل می‌شود. ورود آن از راه مواد غذایی به بدن انسان باعث ایجاد مسمومیت حاد یا مزمن می‌شود.

**سرب:** از جمله ترکیب‌های دیگر مرکب‌های چاپ، سرب می‌باشد که به راحتی از سطح زیرآیند جدا و وارد ماده غذایی می‌شود و ایجاد مسمومیت مخصوصاً در کودکان می‌کند. در میان فلزات سنگین سرب

در صنعت چاپ علاوه بر انتشار گازهای سمی (ترکیبات آلی فرار<sup>۱</sup>) موارد دیگری از قبیل آلودگی صوتی ناشی از چرخش موتورها و چرخ‌دنده‌ها و حرکت بخش‌های متحرک در ماشین‌های چاپ، بخار مرکب، گرد و غبار تولید شده حاصل از کاغذ و پودرها و گاز ازن نیز به عنوان منابع آلودگی ایجاد می‌شوند [۵، ۶]. بسیاری از دست‌اندرکاران عرصه تولید مرکب، مواد مصرفی و مواد شیمیایی را به فکر یافتن راه حل‌های اساسی و پایدار برای حل این موضوع انداخت. در زیر به توضیح انواع مشکلات زیست محیطی، راهکارها و پیشنهادات اساسی، پرداخته شده است.

## ۳- آلاینده‌های صنایع چاپ

## ۳-۱- آلاینده‌های فاز گازی

## ۳-۱-۱- الکل‌ها

تولید گازهای سمی در اثر تبخیر الکل ایزو پروپیل مرکب از جمله مسائلی است که همواره مورد توجه کارشناسان بوده است. در گذشته سوزاندن الکل جمع‌آوری شده در محفظه احتراق چاپخانه برای تولید انرژی و گرمای محیط بسیار متداول بوده است، از سوی دیگر تحقیقات اخیر نشان دادند با سوزاندن الکل‌های حاصل از مرکب طیف وسیعی از مواد آلاینده تولید شده که می‌تواند آثار غیر قابل جبرانی را بر جای گذارد [۲].

## ۳-۱-۲- ترکیبات آلی فرار

پوشش‌های نیترو بنزن دار در گذشته رایج بوده است و امروزه کم‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد، این پوشش‌ها مشکلات تنفسی زیادی ایجاد می‌کند [۴]. همچنین می‌توان به تولوئن که در حلال رنگ، تینر، مرکب چاپ، چسب و لاک‌ها استفاده می‌شود، اشاره کرد. در غلظت‌های بالا تولوئن می‌تواند منجر به مرگ به دلیل اختلالات تنفسی شود، اما غلظت‌های کم‌تر آن تنها بر روی سیستم عصبی تأثیر می‌گذارد [۳]. آلودگی‌ها بر روی مواد رنگزا تأثیر می‌گذارند. آلاینده‌هایی مانند دی‌اکسید نیتروژن‌ها باعث تغییر در غلظت مواد رنگزا می‌شوند [۷]. در تحقیقی به بررسی هوای داخل محیط چاپ پرداخته شده است که میزان ترکیبات آلی فرار، فرمالدهید، استن و ازن توسط دستگاه PRO-EKOS و کروماتوگرافی گازی متحرک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان می‌دهد که میزان آنها ۷۰٪ بیشتر از حد مجاز می‌باشد. غلظت این مواد از ۱۲-۰ تا ۲۲/۰ ppm در محیط چاپ گزارش شده است [۸]. غلظت ترکیبات آلی فرار در انبارهای چاپ و فروشگاه‌های کتاب اندازه‌گیری شد نتایج نشان داد که میزان تولوئن در این انبارها بسیار بالا است به گونه‌ای که در برخی نقاط غلظت آن به ۱۰۰ برابر فضای بیرون می‌رسد. مرکب‌ها، منشا تولوئن انبارهای کتاب و کتاب‌فروشی‌ها هستند [۹].

<sup>2</sup> Tiny particles

<sup>1</sup> VOC (Volatile Organic Compounds)

در گروه B2 طبقه‌بندی کرده است. این بدان معنا است عناصر قرار داده شده در گروه B2 ممکن است برای انسان سرطان‌زا باشند [۴, ۳].

#### ۴- راهکارها و پیشنهادات

##### ۴-۱- قانون‌گذاری و استانداردسازی

امروزه با توجه به خطرات ناشی از مواد زائد خطرناک، ضرورت قانون‌گذاری در خصوص این مواد توسط دولت‌مردان کشورهای مختلف احساس شده است. به عنوان نمونه کنگره آمریکا و سازمان محیط زیست اتحادیه اروپا، ادارات ملی را مجبور به بررسی و قانون‌گذاری در ارتباط با مواد زائد خطرناک مختلف به شرح زیر نموده است:

قانون‌گذاری به منظور رعایت اصول و قوانین مدیریتی با هدف دستیابی سریع‌تر به صنعت چاپی سبز، همیشه مورد توجه دولت‌مردان کشورها بوده است. به عنوان مثال در کشور سوئیس چاپخانه‌های استفاده‌کننده از مواد پاک‌کننده الکل‌دار که با مصرف این مواد مقادیر فراوانی گاز سمی را روانه طبیعت می‌کنند ملزم به پرداخت مالیات‌های بسیار سنگین می‌شوند [۱۰, ۱]. همچنین در کشورهای دانمارک و سوئد به علت ممنوعیت استفاده از ترکیبات کلروفلوروکربن‌ها<sup>۵</sup> به عنوان خنک‌کننده منابع نور ماشین‌آلات چاپ، استفاده از دستگاه‌های چاپ بدون آب رواج بسیاری دارد. با توجه به این که سرپیچی از قوانین زیست محیطی مصوب در کشورهای اروپایی از سوی فعالان عرصه چاپ در رده‌های مختلف کاری، از کارگران ساده چاپخانه‌ها تا سطوح مدیریتی و افرادی که به طور غیرمستقیم در این عرصه در حال فعالیت هستند، جرم شناخته شده و می‌تواند عواقب سنگینی را برای اشخاص و ارگان‌ها در پی داشته باشد، راه‌اندازی بخش جدیدی در مدیریت شرکت‌ها تحت عنوان مدیریت محیط زیست به منظور جلوگیری از ضرر و زیان‌های احتمالی امری ضروری به شمار می‌رود [۱۶, ۱]. این بخش علاوه بر زیر نظر قرار دادن شرکت از نظر میزان آلاینده‌گی، وظیفه هم‌سوسازی فعالیت‌ها با آخرین دستاوردها و قوانین مصوب و آموزش کارمندان را بر عهده دارد. همچنین داشتن بیمه مسئولیت در برابر خسارت احتمالی وارد شده به طبیعت برای ادامه فعالیت چاپخانه‌ها الزامی است. در اروپا با ابلاغ دستورالعمل<sup>۶</sup> IPPC به کشورهای عضو اتحادیه اروپا از سوی این اتحادیه که منجر به هماهنگ‌شدن این کشورها در اجرای قوانین مبارزه با آلودگی محیط زیست شد، تغییراتی در استانداردهای موجود برای حلقه‌های مختلف موجود در زنجیره چاپ به وجود آمد و چاپخانه‌های قدیمی ملزم به تطبیق خود با این استانداردهای جدید تا پاییز سال ۲۰۰۷ شدند. ضمن اینکه محدودیت‌هایی در میزان مصرف حلال‌های تولیدکننده ترکیبات آلی فرار در هر ساعت از فعالیت چاپخانه به وجود آمد. این محدودیت‌ها برای مواد مختلف هر ساله مورد تجدید نظر و به روزرسانی قرار می‌گیرند [۱]. در کشور ایران هم به منظور کاهش آلاینده‌ها و حتی کاهش متوسط نرخ مصرف در صنایع چاپ و بسته‌بندی

دارای اهمیت ویژه‌ای است. سرب فلزی است که در مقابل فرسایش مقاومت زیادی دارد. سرب در بافت‌های مختلف بدن، استخوان‌ها ذخیره و به مرور زمان در شرایط مختلف در خون رها می‌شود. مسمومیت مزمن مهم‌ترین بیماری سربی می‌باشد.

کرم: با توجه به قیمت بالای قلع، گاهی به جای آن از کرم برای روکش بسته‌های فلزی استفاده می‌شود که اگر مقدار آن در بدن از حد معینی تجاوز کند موجب زخم‌های عمیق پوستی می‌شود. کرم فلزی سخت، براق با جلاپذیری بالا و نقطه جوش بالا و مقاومت قابل توجه در برابر زنگ زدگی و تیرگی است. ترکیب‌های کرم VI در صورت بلع سمی هستند. تقریباً نصف قاشق چای‌خوری ترکیب‌های کرم سمی VI کشنده است. بیش‌تر ترکیب‌های کرم VI برای چشم، پوست و بافت‌های مخاطی مضر هستند. تماس دائمی با این ترکیب‌ها می‌تواند موجب آسیب‌های دائمی چشم گردد [۱۵, ۱۴].

##### ۳-۳- آلاینده‌های فاز مایع

##### ۳-۳-۱- رهاسازی ضایعات صنایع چاپ به سیستم فاضلاب شهری

**مرکب‌ها:** شستن پارچه‌هایی که حاوی مرکب چاپ هستند موجب آزادسازی مرکب و مواد شیمیایی مختلف در سیستم فاضلاب شهری می‌شوند. با توجه به این که رنگ یکی از عوامل کنترل آب و فاضلاب شهری محسوب می‌شود مرکب به شدت می‌تواند آن را تغییر دهد. از آنجایی که مرکب‌ها حاوی طیف وسیعی از مواد مانند کرم، جیوه و غیره هستند می‌توانند باعث ایجاد سرطان شوند. فاضلاب‌های حاصل از عملیات چاپ می‌توانند شامل روغن‌های روان‌کننده، مرکب، حلال‌های پاک‌سازی، مواد شیمیایی، اسیدی، قلیایی، همچنین نقره، آهن، کرم و مس می‌باشد [۱].

**آب دارو<sup>۳</sup>:** در سیستم‌های افسست معمولی از ماده‌ای به نام آب دارو استفاده می‌شود که مشکلات زیست محیطی زیادی را به وجود می‌آورد. آب دارو از موادی مانند اسید فسفریک، الکل، ضدچربی‌ها، ضد میکروب، ضدباکتری، کلرید کبالت، ضدکف، و گلیسیرین تشکیل شده است. زمانی که کبالت وارد محیط می‌شود، بلافاصله از بین نمی‌رود. این ماده به سرعت جذب مواد دیگر می‌شود و پایدار است. کبالت سبب نازایی، ریزش مو، تهوع، خونریزی، کما و حتی مرگ می‌شود. غبار کلرید کبالت باعث بیماری‌های شبیه آسم شده و علائمی مانند سرفه، انقطاع تنفس و تنگی نفس را از خود نشان می‌دهد. این علائم به تدریج در فرد افزایش می‌یابد و مشکل‌های دیگر مانند بیماری‌های ریوی، سخت‌شدن رگ‌ها، ناتوانی دائمی و مرگ را سبب می‌شود. اگر فردی در معرض کلرید کبالت قرار گیرد، دچار کاهش وزن، آماس پوست و حساسیت بالای دستگاه تنفس می‌شود. آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان<sup>۴</sup>، کبالت و ترکیب‌های آن را

<sup>3</sup> Fountain solution

<sup>4</sup> IARC

<sup>5</sup> CFC

<sup>6</sup> IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)

مركب‌های آب پایه، یووی و فیلم‌های لمینیت در مراحل تکمیلی مشاهده می‌شود. به علاوه به عنوان استاندارد برای این حلقه از زنجیره چاپ میزان ۵ تن ترکیبات آلی فرار در سال به عنوان آستانه آلوده‌کنندگی این بخش تعیین شده است [۱۱]. در تحقیقی، سیستم‌های مدرن شستشو مرکب و فرمولاسیون متناوب مرکب به جای استفاده از حلال‌های هیدروکربنی و ترکیبات آلی فرار مطرح شده است. که رنگدانه‌های مرکب مورد نظر ماکرومولسیون‌هایی هستند که به راحتی در آب امولسیون می‌شوند و برای تمیز شدن نیازی به پاک‌کننده‌های شیمیایی ندارند. شستن مرکب در ماشین چاپ در جت‌هایی صورت می‌گیرد که با مواد آب پایه کار می‌کنند که تنها با به‌کارگیری این سیستم ۳۲٪ از میزان آلاینده‌های مربوط به پاک‌کننده‌ها کاهش پیدا می‌کند [۱۶].

#### ۴-۲-۲- استفاده از مرکب‌هایی با فشار بخار کم

اگر چه بین نرخ تبخیر حلال مرکب و زمان باید یک رابطه نسبی وجود داشته باشد اما استفاده از مرکب‌هایی با فشار بخار کمتر در صنایع چاپ باعث کند شدن نرخ تبخیر می‌شود که این موضوع نه تنها از حجم آزادسازی ترکیبات آلی فرار می‌کاهد بلکه میزان فاسدشدن مرکب‌ها را نیز کاهش می‌دهد. که طبق نظر بزرگترین سازندگان مرکب دنیا باید نرخ فشار بخار مرکب‌ها کمتر از ۱۰ میلی‌متر جیوه باشد [۱۶].

#### ۴-۲-۳- استفاده از مرکب‌های باز<sup>۸</sup>

استفاده از مرکب‌های باز که در آن‌ها از هیچ‌گونه حلالی استفاده نشده است و نوع واکنش آن‌ها با ماده چاپ شونده از نوع شیمیایی می‌باشد، به عبارت دیگر این نوع از مرکب‌ها جامد و کاملاً خشک می‌باشند و در صورت تماس با سطح کاغذ و دیگر مواد چاپ شونده واکنش شیمیایی صورت می‌گیرد. مصرف این‌گونه مرکب‌ها باعث کاهش ۸۵ درصدی ضایعات مرکب‌ها می‌شود که موسسه چاپ آمریکا تضمین سلامت کارگران و تمیزی هوا را از جمله فواید این نوع مرکب‌ها می‌دانند [۱۶].

#### ۴-۳- اصلاح مکانیکی فناوری حاضر به فناوری‌های

##### دوستدار محیط زیست

تحقیق و توسعه برای کاهش و از بین بردن مشکلات فناوری‌های فعلی، امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. بهبود و اصلاح تجهیزات چاپ، یک روش بسیار مناسب برای کاهش آلودگی‌های حاصل از دفع ضایعات است. انتخاب تجهیزاتی مانند ثبت خودکار، روش‌های اندازه‌گیری گرانروی مرکب، اصلاح سیستم‌های پمپ مرکب می‌تواند یک روش بسیار مناسب برای بهبود فرآیندهای تولیدی باشد. حال با توجه به حجم و تنوع آلاینده‌های صنایع چاپ این موضوع بسیار مورد توجه صاحبان فناوری قرار گرفته است تا بتوانند ماشین‌آلاتی را ارائه کنند که کاملاً رابطه دوستانه با محیط زیست برقرار کرده است در این‌جا به برخی از اقدامات

استانداردهایی تدوین شده‌اند که می‌توان به استاندارد ۱۳۹۲۳، ۱۴۴۰۲ و سازمان استاندارد ایران اشاره کرد. به عنوان مثال، استاندارد ۱۳۹۲۳ که به بررسی میزان کادمیم موجود در زیرآیند بسته‌بندی می‌پردازد. همچنین استاندارد ۱۴۴۰۲ به پهنای ریبون‌های یکبار مصرف ماشین‌های اداری می‌پردازد تا میزان مصرف را کاهش دهد. استاندارد ۱۷۹۷۳ به بررسی ماکروگرافی چاپ گود به روش باومن پرداخته است. که با کمک این روش به میزان تیره بودن امولسیون پی می‌برند. در میان آیین‌نامه‌های داخلی می‌توان به ۱۷۴۲۳ اشاره کرد که استاندارد جهت تعیین بازدهی کارتریج چاپگرها می‌باشد. همچنین تدوین استانداردهای بین‌المللی از جمله ISO 14001 از جمله دیگر اقدامات جهانی بوده است، که نه تنها از حجم مشکلات زیست محیطی فرآیندها می‌کاهد بلکه مصرف مواد شیمیایی و حتی کاهش هزینه‌های تولید را نیز در پی خواهد داشت [۱۷-۱۹].

#### ۴-۱-۱- ایجاد آگاهی برای تامین نیاز محیط زیستی مردم

انگیزه اساسی برای واحدهای صنعتی به خصوص در کشورهای پیشرفته، بالا رفتن آگاهی مردم از مسائل زیست محیطی و عدم تحمل آنها در ادامه تولید مواد زاید خطرناک می‌باشد. این عدم تحمل به صورت‌های مختلف توسط مردم بروز می‌نماید از آن جمله می‌توان به تحریم محصولات تولیدی واحدهای صنعتی که موازین زیست محیطی را رعایت نمی‌نمایند، اشاره کرد. باید در نظر داشت همواره مردم هستند که در معرض خطر حاصل از مواد زاید خطرناک قرار می‌گیرند، لذا آنها هستند که همواره در به حداقل رساندن اثر منفی این مواد بر سلامت انسان و محیط زیست تلاش می‌کنند [۱].

#### ۴-۲- جایگزینی مواد اولیه خطرناک

##### ۴-۲-۱- به‌کارگیری مرکب‌های آب پایه

به منظور کاهش آلودگی‌های ناشی از مواد مصرفی در حوزه‌های مختلف صنعت چاپ، جایگزینی مواد بی‌خطر در بخش‌های پیش از چاپ، چاپ و پس از چاپ مورد تحقیق و پژوهش واقع می‌شوند. از آنجایی که عمده مشکل مرکب‌ها به نوع حلال‌ها بر می‌گردد می‌توان آب را به جای الکل به کار برد که البته این موضوع مشکلات فرآیندی زیادی را به تبع ایجاد خواهد کرد به عنوان مثال به انرژی و زمان بیشتری برای تبخیر آب نسبت به الکل نیاز می‌باشد، در ادامه کیفیت محصول نهایی هم ممکن است به چالش بیفتد [۱۶]. امروزه کارشناسان اذعان دارند مرکب‌های آب پایه هیچ‌گونه تولید مواد سمی گازی را در بر نخواهند داشت. همچنین پوشش‌های سرطان‌زای نیترو بنزن دار جای خود را به حلال‌های بی‌ضرر آب پایه دو عنصری مانند آنچه در چاپ فلکسو به‌کار می‌روند داده‌اند [۱۴]. امروزه شاهد تقاضای روزافزون برای استفاده از لمینیت‌های مرطوب، حرارتی<sup>۷</sup> و گرانولی به جای انواع خشک آن و تولید

<sup>۸</sup> Stay open inks

<sup>۷</sup> Thermal

صورت گرفته تا به امروز اشاره شده است [۱۵].

الف) با ورود صنعت چاپ به دنیای دیجیتال و استفاده از روش تصویربرداری مستقیم بسیاری از فعالیت‌های پیش از چاپ افست، گود، فلکسو و غیره و مواد تولید شده ناشی از آن‌ها از جمله تولید گاز ازن و ترکیبات آلی فرار امروزه به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. به عنوان مثال تولید فیلم و ساخت صفحه که مقادیر زیادی رسوبات جیوه از خود بر جای می‌گذارند، اموری غیرضروری به نظر می‌رسند که این موضوع توانسته است از حجم گازهای سمی بکاهد [۱۴، ۱۵]. حذف فناوری‌های متداول پیش از چاپ مانند به‌کارگیری فرآیند مستقیم کامپیوتر به صفحه چاپی<sup>۹</sup> به کاهش ۳۰ درصدی کل ضایعات چاپ منجر شد که می‌توان به حذف موادی مانند ظاهرکننده و تثبیت‌کننده نسبت داد [۵].

ب) استفاده از دستگاه‌های چاپ دومنظوره<sup>۱۰</sup>، که در آن‌ها از مواد دیگری به عنوان جایگزینی برای الکل استفاده شده است. البته به کارگیری مرکب‌های جامد در دستگاه‌های چاپ دومنظوره خود بعد از چندین بار چرخش و بازیافت سرانجام تبدیل به ماده‌ای بسیار خطرناک برای محیط زیست می‌شود اما باید به این موضوع توجه داشت که در طولانی مدت به میزان بسیار زیاد از حجم آلاینده‌های گازی حاصل از حلال‌های مختلف می‌کاهد [۱۵]. تحقیقاتی پیرامون بررسی آلاینده‌های چاپ افست با دو روش فرآیند آنالیز سلسله مراتبی<sup>۱۱</sup> و روش ارزیابی چرخه زیستی<sup>۱۲</sup> برای چاپ بیست هزار جعبه بسته‌بندی انجام شد که نتایج نشان می‌دهد با حذف فرآیند لمینت و ورنی زنی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان ۲۳۹ کیلوگرم بوده است [۱۴]. استفاده از ماشین آلات چاپ افست خشک علاوه بر کاستن از میزان گازهای سمی، از تولید بخار مرکب در فضای چاپخانه نیز جلوگیری به عمل می‌آورد. همچنین این ماشین‌ها برای چاپ با کیفیت بالا تنها به مقدار کمی پودر نیاز دارند که این مقدار اندک نیز به همراه گرد و غبار کاغذ توسط سیستم‌های تمیزکننده هوا قابل جمع‌آوری هستند. از آنجایی که تاباندن پرتو فرابنفش بر روی پوشش‌ها و مرکب‌های مایع به منظور خشک کردن آنها سبب تولید گاز ازن می‌شود، به کارگیری مرکب‌های جامد علاوه بر حذف گاز ازن از هزینه‌های گزاف تحمیلی برای خشک کردن مرکب‌های UV می‌کاهد [۳].

پ) جایگزین ساختن تمیزکننده‌های امروزی با روغن‌های گیاهی و معدنی با نقطه جوش بالا که پس از صاف شدن دوباره قابل استفاده هستند یکی دیگر از راهکارهای اساسی پیش روی صنعت چاپ می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه روغن‌های گیاهی نقطه جوش بالایی دارند می‌توان با به‌کارگیری این نوع حلال‌ها در صنایع چاپ از میزان تبخیر آنها کاهش داد که بالتبع میزان مصرف آنها کاهش پیدا می‌کند [۱۵]. استفاده از روغن‌های گیاهی به عنوان جایگزینی موفق برای حلال‌های آلی به عنوان تمیزکننده تجهیزات چاپ مورد ارزیابی واقع شد. نتایج

تمیزکننده‌های گیاهی با شیمیایی مورد مقایسه قرار گرفت. روغن‌های گیاهی انتشار ترکیبات آلی فرار کمتری نشان دادند. مشکل روغن‌های گیاهی سوزش پوست و غشاء مخاطی بوده است که پوشیدن دستکش در زمان کار مشکل را حل می‌کند. مزیت قابل توجه روغن‌های گیاهی، عدم کاهش کیفیت چاپ و افزایش سرعت ماشین چاپ می‌باشد. البته روغن‌های گیاهی نسبت به حلال‌های آلی نیاز به ۱۵٪ سرمایه‌گذاری بیشتر می‌باشد [۲۰].

ت) نصب هم‌زن مرکب در سینی دستگاه ماشین آلات چاپ برای جلوگیری از اکسیداسیون زودرس می‌تواند ضایعات مرکب را کاهش دهد بنابراین میزان هزینه و ضایعات تولید کم می‌شود [۳].

ث) کاهش قابل توجه میزان مایع تولوئن تولید شده در چاپ گود به علت استفاده از مرکب‌های حاوی مواد خطرناک با مقادیر کمتری و به کارگیری فناوری‌های جدید در فشرده‌سازی و بازیابی گرما از هوای گرم خشک‌کن‌ها باعث شده تا این مواد دیگر به عنوان تهدیدی برای محیط زیست و سلامت بشر به حساب نیایند [۱۶].

ج) استفاده از تجهیزات جذب‌کننده گاز ازن که وظیفه هدایت ازن تولیدی در اثر برخورد فوتون‌های UV با اکسیژن هوا را بر عهده دارد. که ازن تجمع یافته فشرده می‌شود [۱۵، ۴].

چ) سیستم تمیزکننده هوای<sup>۱۳</sup> ماشین چاپ برای جذب پودر و گرد و غبار کاغذ و ازن باقی مانده در ماشین‌های افست از جمله دیگر اقدامات اخیر سازندگان ماشین آلات بوده است که همواره مقدار زیادی گرد و غبار بر روی دستگاه و در محل خروجی ماشین چاپ ایجاد می‌شود. به همین دلیل برای حفظ سلامت کارگران و تمیز نگه داشتن هوای چاپخانه سیستم تمیزکننده هوا بر روی ماشین آلات چاپ نصب می‌گردند [۱۶]. پژوهشی به تولید انواع آلاینده‌ها و چگونگی مصرف منابع در چاپ افست پرداخته است. نتایج این تحقیق برای کارخانه‌ای با ظرفیت تولید ۲/۲۴۱/۲ تن محصول چاپ شده در سال بوده است که نصب تهویه‌کننده هوا به همراه سیستم‌های سردکننده تبخیری در محیط‌های چاپ باعث کاهش مصرف انرژی به میزان ۱۴/۹۸۴/۱۷۹ کیلووات ساعت بر سال شده است که به عبارتی به میزان ۳۹٪ کاهش مصرف انرژی را به دنبال داشت [۲۱]. همچنین میزان مواد استنشاقی معلق در محیط چاپ را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد [۲۲].

ح) با توجه به اینکه امواج ماکروویو برای انسان بسیار مخاطره آمیز می‌باشد اقداماتی جهت حذف و کاهش دسترس‌پذیری آن صورت گرفته است به عنوان مثال قرار دادن صفحات کدر در دستگاه‌های چاپ UV و هیبریدی به منظور محافظت از کارگران چاپخانه در برابر پرتو UV از جمله دیگر اقدامات اخیر سازندگان ماشین آلات بوده است که توصیه می‌شود اپراتورهای ماشین‌های بدون اینگونه تجهیزات، صفحات مخصوص UV را خریدار کرده تا میزان آسیب این امواج به حداقل برسد [۱۶].

خ) دستگاه حذف‌کننده الکل چاپ: به‌طور کلی این دستگاه یک وسیله

<sup>9</sup> CTP(computer to plate)

<sup>10</sup> Hybrid

<sup>11</sup> The Analytic Hierarchy Process (AHP)

<sup>12</sup> The life-cycle assessment (LCA)

داشت. به عنوان مثال باعث افزایش چشم‌گیر متوسط مصرف انرژی ماشین آلات می‌شود و از آنجایی که چسبندگی بسیار زیاد مرکب با سطح ماده چاپ شونده را به دنبال دارد، مشکلاتی را در مرحله جوهر زدایی بازیافت ایجاد خواهد نمود [۱۳]. البته این فرآیند در ماشین آلات جدید در حال تغییر و یا حذف می‌باشد.

ر) با توجه با اینکه ماشین آلات زیادی در چاپخانه‌ها به‌طور هم‌زمان فعالیت دارند، انرژی پراکنده الکتریکی زیادی که ناشی از گردش سنگین و قرارگرفتن در شرایط بار و پیش بار موتورها می‌باشد، در محیط چاپخانه‌ها وجود دارد. دو عامل پراکندگی انرژی و جاذبه سنگین جریان معلق الکتریکی در کف محیط چاپخانه و همچنین پوشیدن کفش ایمنی دارای پوشش فلزدار توسط اپراتورها باعث ایجاد دردهای مزمن پا می‌شود. که البته استفاده از پوشش‌های رزینی پلیمری برای کاهش میزان انرژی کف چاپخانه راهکاری مناسب می‌باشد.

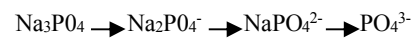
#### ۴-۴- بازبایی و استفاده مجدد مواد مصرفی

بسیاری از مواد دورریخته شده تحت عنوان ماده زاید خطرناک می‌توانند دارای کاربردهای دیگری باشند. به عنوان مثال حلال‌های مصرفی با ناخالصی پایین می‌توانند برای پاک کردن قطعاتی که حساسیت کمتری دارند مورد استفاده قرار گیرند. نمونه بارز در این خصوص استفاده از تولوئن در صنعت چاپ می‌باشد. تولوئن هم به عنوان عامل پاک‌کننده در پرس‌ها و هم به عنوان عامل رقیق‌کننده مرکب به کار برده می‌شود. در صورتی که به‌توان از تولوئن برای پاک‌کردن یک رنگ خاص استفاده نمود، امکان استفاده آن به عنوان رقیق‌کننده مرکب نیز وجود دارد. منبع دیگر مواد زاید خطرناک، مواد خامی است که تاریخ مصرف آنها سپری شده است [۱]. معمولاً تاریخ مصرف این گونه مواد به صورت محافظه کارانه‌ای تعیین می‌شود و در پاره‌ای از موارد امکان استفاده از این مواد در صورت تأیید آزمایشگاه وجود خواهد داشت. حلال‌های جایگزین را می‌توان برای تمیزکردن تجهیزات آلوده به مرکب استفاده کرد در حالی که مواد شوینده و آب را برای تمیزکردن غیرمرکب استفاده می‌کنند. مشکلاتی که برای این حلال‌ها با وجود سمیت کم آن‌ها وجود دارد خشک‌کردن حلال‌هایی مثل اتیلن گلیکول، اتانل، ایزوپروپانول، سیکلوهگزانون<sup>۱۴</sup> و دیگر مشتقات نفتی در مرکب‌ها می‌باشد [۸].

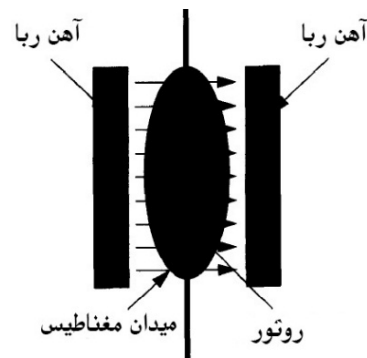
#### ۴-۴-۱- ایجاد برج تقطیر حلال‌ها

امروزه در صنایع زیادی حضور تقطیرکننده‌ها، جهت بازیابی حلال‌ها و استفاده مجدد آنها به چشم می‌خورد. این موضوع در کارخانجات بزرگ چاپ هم دیده می‌شود. از آنجایی که در کارخانجات چاپ تیخیر الکل‌ها و حلال‌های دیگر به میزان بسیار زیاد وجود دارد تاسیس چنین برج‌هایی از لحاظ مسائل سلامتی و زیست محیطی بسیار حائز اهمیت است که به لحاظ اقتصادی هم حجم تقطیر شده حلال‌ها هدف از تاسیس

ساده با میدان مغناطیسی است که چندین جفت آهن ربای نفوذیمیم در طول آن به‌کار رفته است. همانگونه که در شکل ۲ نشان داده شده است دستگاه حذف‌کننده الکل چاپ شامل یک روتور در محیط میانی میدان مغناطیسی می‌باشد. روتور شامل سیم‌های مسی می‌باشد. یکی دیگر از اقدامات اخیر برای بهبود عملکرد دستگاه حذف‌کننده الکل، استفاده و عبور محلول‌های بازی آلی یا نمک‌هایی مانند فسفات‌ها، نیترات‌ها و سولفات‌ها از میان میدان مغناطیسی دستگاه بوده است که آنها را الکتورسانا می‌کند. اگر سیم‌های مسی را با جریان محلول تعویض کنیم، یک بار الکتریکی تولید خواهد شد که به‌راحتی می‌توان تا ۸۰٪ میزان الکل را کاهش دهد. همان‌گونه که در توالی زیر نشان داده شده است با ادامه روند مولکول‌هایی با دوبار منفی و سپس سه بار منفی تشکیل می‌شوند [۲۳].



از آنجایی که صفحه چاپی از آلومینیم با بار مثبت تشکیل شده است بنابراین خاصیت تر شونده‌گی تا حد بسیار زیادی بهبود پیدا می‌کند. از جمله دیگر مزایای دستگاه حذف‌کننده الکل، می‌توان به عدم نیاز به الکتریسته، غیرشیمیایی بودن، کاهش ضایعات، افزایش کیفیت چاپ، کاهش میزان ته نشینی مواد معدنی مانند کلسیم بر روی صفحه چاپ، کاهش امولسیون‌سازی مرکب، تاخیر در رشد باکتری‌ها در محلول چاپ اشاره کرد [۲۳].



شکل ۲- شمای دستگاه حذف‌کننده الکل [۲۳].

د) به میزان کربنی که در سال منتشر می‌شود ردپای کربن گفته می‌شود. در صنعت چاپ باید اقدامات زیادی برای کاهش ردپای کربن در صنایع چاپ انجام شود. خنثی‌سازی دی‌اکسید کربن فرآیند چاپ با رویکرد "فکر اقتصادی- چاپ سبز" به عنوان یکی از راه‌های پیشنهادی کاهش آلاینده‌ها مطرح می‌باشد معمولاً ۹۰-۶۰٪ از انتشار کربن مربوط به فرآیند چاپ می‌باشد. مهم‌ترین عامل برای کاهش حجم وسیعی از این آلاینده‌ها را دانش اپراتورها، ثبت و کالیبره بودن تجهیزات می‌دانند [۲۴، ۲۵].  
 ذ) در چاپ تکمیلی به جهت افزایش براقت و چسبندگی مناسب مرکب با زیرآیند، ورنی‌زنی صورت می‌گیرد که می‌توان به ورنی‌زنی UV و دو لایه اشاره کرد. ورنی‌زنی مشکلات زیست محیطی زیادی را در بر خواهد

<sup>14</sup> Cyclo hexanone



تقطیرکننده‌ها را مقرون به صرفه می‌سازد [۲۶].

#### ۴-۴-۲- ایجاد برج بازیافت نقره<sup>۱۵</sup> و یا تاسیس سانتریفیوژی‌های تغلیظ‌کننده

با بازیافت ضایعات و پسماندهای صنعتی نسبت به سوزاندن آنها، انتشار مواد گازی شکل مانند دی اکسید کربن و مونو اکسید کربن کاهش پیدا می‌کند [۱۴]. با توجه به اینکه حجم زیادی از فلزات سنگین در مرکب استفاده می‌شود و آزادسازی این نوع مواد در فاضلاب حاصل از واحدهای صنعتی چاپ بسیار مخاطره آمیز است باید دولت‌ها و واحدهای تصفیه پساب کارخانجات تدابیری را برای آن در نظر بگیرند که به عنوان آخرین دستاورد در کشورهای اروپایی می‌توان به تاسیس برج‌های بازیافت نقره یا همان فلزات سنگین اشاره کرد پساب حاصل از کارخانجات چاپ را وارد این برج‌ها می‌کنند تا فلزات سنگین با فناوری سانتریفیوژ از پساب جدا شده و فلز نقره که از ارزش اقتصادی بالایی برخوردار هستند را بازیابی کنند. امروزه مسئله تغلیظ‌سازی پساب کارخانجات از جمله دیگر تدارک زیست محیطی بوده است. لجن حاصل از کارخانجات تا حد امکان تغلیظ شده و حجم کاهش یافته را دفن می‌کنند [۱۶]. در تحقیقی پساب واحد چاپ کارخانه نساجی تحت شرایط تصفیه بی‌هوازی، هوازی و در نهایت تصفیه صاف کردن غشایی قرار گرفته است که در شکل ۳ شمای نوع فرآیند تصفیه پساب نشان داده شده است. این نوع تصفیه منجر به کاهش بسیار زیاد COD، رنگ و کدوری پساب شد که میزان این عوامل را به کمتر از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است در واقع متوسط بازده کاهش میزان COD، رنگ و کدوری پساب، ۹۱، ۹۲/۵ و ۹۰/۹٪ بوده است. البته مهم‌ترین نتیجه حاصل از این تحقیق حذف نسبتاً کامل

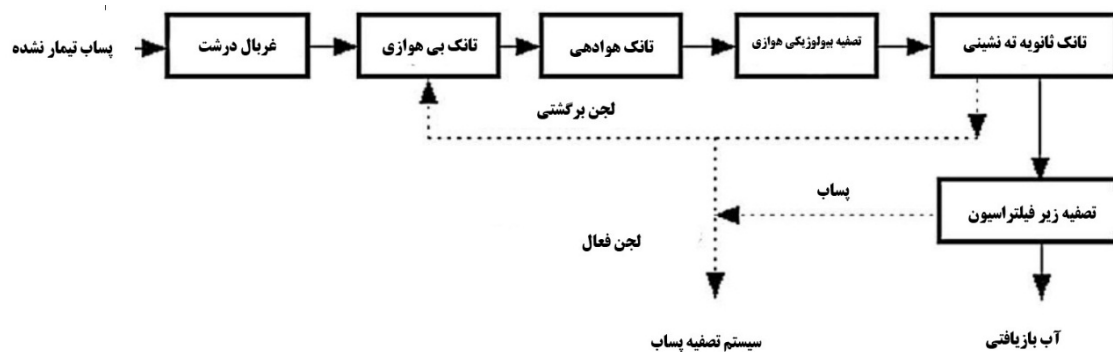
منیزیم و آهن بوده است که در صنایع چاپ و نساجی بسیار مشهود است [۲۷]. معمولاً یکی از شاخص‌های پساب واحدهای چاپ میزان بالای pH، COD و BOD می‌باشد. هیچ کدام از روش‌های بیولوژیکی و شیمیایی به تنهایی نمی‌توانند آب بازیافتی مناسب برای صنعت نساجی تولید کنند، لذا باید تصفیه بیولوژیکی را در کنار روش صاف کردن غشایی تعبیه کرد تا حداکثر بازده تصفیه پساب به دست آید [۲۷]. خصوصیات پساب تصفیه نشده و تصفیه شده با فرآیند بیولوژیکی - صاف کردن غشایی در جدول ۱ ارائه شده است.

#### ۴-۴-۳- ایجاد شهرک‌های صنعتی تخصصی چاپ با سیستم تصفیه پساب یکپارچه

با توجه به آزادسازی مواد خطرناک، مرکب‌ها، حلال‌ها در پساب صنایع چاپ، طیف وسیعی از مواد خطرناک تولید و وارد چرخه زیستی می‌گردند که تدوین سیستم تصفیه پساب بسیار حائز اهمیت است. در جدول ۲ میزان مجاز حضور مواد سمی در پساب صنایع ارائه شده است [۱۱].

رنگ یکی از عوامل مهم کیفیت آب و پساب است، با شستن پارچه‌های ماشین آلات چاپ میزان زیادی مرکب وارد پساب می‌گردد. امروزه متمرکزسازی گرایش‌های تخصصی صنعتی بسیار مورد توجه قرار گرفته است زیرا نه تنها هزینه تولید بسیار پایین می‌آید بلکه مدیریت پساب واحدهای صنعتی بسیار آسان‌تر و کارآمدتر می‌باشد همچنین با تجمیع کارخانجات چاپ در یک مرکز صنعتی می‌توان با صرفه اقتصادی بیشتر و هزینه سرمایه‌گذاری کمتر یک واحد تصفیه پساب راه‌اندازی کرد [۱۶]. نمونه بارز این نوع شهرک‌های تخصصی چاپ در شهر هامبورگ و در داخل کشور، استان قم مشاهده می‌شود.

<sup>15</sup> Silver Recovery Tower



شکل ۳- شمای فرآیند تصفیه پساب کارخانجات چاپ [۲۷].

جدول ۱- خصوصیات پساب تصفیه نشده و تصفیه شده با فرآیند بیولوژیکی - صاف کردن غشایی [۱].

Mn (mg/l)	Fe (mg/l)	COD (mg/l)	pH	کدوری (NTU)	رنگ (زمان)	
۰/۱-۰/۱۲	۰/۱-۰/۳	۱۵۰-۴۵۰	۱۰/۵-۱۱	۵۰-۱۰۰	۱۰۰- ۲۵۰	پساب ورودی
۰/۱≥	۰/۱≥	۵۰≥	۷-۸/۵	۲≥	۱۰≥	پساب خروجی

جدول ۲- حداکثر غلظت مجاز در پساب صنایع [۱۱].

نام ماده	غلظت مجاز (میلی گرم بر لیتر)	نام ماده	غلظت مجاز (میلی گرم بر لیتر)
بنزن	۰/۵	سرب	۵
کادمیم	۱	جیوه	۰/۲
کلروبنزن	۱۰۰	متیل اتیل کتون	۲۰۰
کرم	۵	نیترو بنزن	۲
۲و۱ دی کلرواتان	۰/۵	پیریدین	۵
هگزا کلروبنزن	۰/۱۳	نقره	۵

۵۵/۳٪ بهبود پیدا می‌کند که این مواد مستقیم به فرآیند چاپ بر می‌گردد [۵]. تنها با جداسازی جریان‌های مختلف پساب و تاسیس سیستم تصفیه پساب کارخانه چاپ ذخیر مالی به میزان ۱۱/۰۶۹ دلال در سال اول بوده است. فقط یک درصد از آب از چرخه تولید و بازیافت خارج شده است. میزان صرفه اقتصادی تصفیه آب کارخانه در سال‌های دوم به بعد به میزان ۱۲۴/۶۱۷ دلار در سال افزایش یافته است. این موضوع حاکی از آن است که تاسیس سیستم‌های تصفیه پساب با هدف ایجاد صرفه اقتصادی و حفاظت از محیط زیست برای پروژه‌های بلند مدت صدق می‌کند [۲۱].

#### ۵- نتیجه‌گیری

صنایع چاپ و بسته‌بندی از جمله صنایعی محسوب می‌شوند که به علت حضور حلال‌ها، مرکب‌ها و مواد اولیه متنوع، طیف وسیعی از آلاینده‌های صنعتی را به دنبال دارد. دولت‌ها و صاحبان صنایع برای کاهش آلاینده‌ها اقداماتی را از جمله قانون‌گذاری و استانداردسازی انجام داده‌اند که باید برای اجرای بهتر قوانین دوست‌دار محیط زیست، ایجاد آگاهی برای تامین نیاز محیط زیستی مردم انجام شود. همچنین درج اطلاعات مربوط به ایمنی مواد اولیه می‌تواند دانش کافی برای نوع به‌کارگیری آن را به کارگران و اپراتورهای دستگاه بدهد. امروزه در صنعت چاپ استفاده از مرکب‌های آب پایه، مرکب‌هایی با فشار بخار کم و مرکب‌های باز مطرح هستند که از تولید ترکیبات آلی فرار تا حد زیاد جلوگیری می‌کنند. اصلاح مکانیکی فناوری حاضر به فناوری‌های دوست‌دار محیط زیست کمک شایان توجهی به کاهش ضایعات خواهد داشت. بازیابی و استفاده مجدد مواد مصرفی، ایجاد برج بازیافت نقره و یا تاسیس سانتریفیوژهای تغلیظ‌کننده، حذف‌کننده الکل و ایجاد برج تقطیر حلال‌ها باعث کاهش حجم آلاینده‌های صنعتی و بازیابی مواد با ارزش از میان ضایعات واحدهای صنعتی می‌شود. ایجاد شهرک‌های صنعتی تخصصی چاپ با سیستم تصفیه پساب متمرکز از هزینه تاسیس سیستم‌های تصفیه پساب خواهد کاست. در نهایت جداسازی جریان‌های مختلف مواد زاید خطرناک و ورود آنها به سیستم پساب جهت تصفیه آن باعث ایجاد صرفه اقتصادی خواهد شد.

#### ۴-۵- جداسازی جریان‌های مختلف مواد زاید خطرناک

از دیگر روش‌های موثر، جلوگیری از مخلوط شدن جریان‌های مختلف مواد زاید خطرناک می‌باشد. به عنوان مثال اگر مقدار کمی از یک ماده خطرناک خاص، با حجم زیادی از ماده زاید غیرخطرناک مخلوط شود حاصل کار، حجم وسیعی از ماده زاید خطرناک بوده که باید مورد تصفیه و دفع قرار گیرد. با جداسازی جریان‌های مختلف، ضمن کاهش حجم مواد زاید خطرناک تولیدی، می‌توان عمل تصفیه پساب را کم هزینه‌تر انجام داد. روش دیگر کاهش آلاینده جلوگیری از تماس آب فرآیندی، با سایر مواد زاید خطرناک و پساب‌ها می‌باشد [۲]. داشتن نقشه کامل از سیستم جمع‌آوری ضایعات و پساب‌های مختلف نیز یکی از پیش نیازهای اجرای سیستم جداسازی جریان می‌باشد. در برخی مواقع، جداسازی مواد جامد از سایر مواد می‌تواند بسیار موثر واقع شود. به عنوان مثال یکی از منابع اصلی تولید آلاینده، در بسیاری از واحدهای صنعتی ذرات معلق جمع‌آوری شده از سیستم‌های کنترل آلودگی هوا است که می‌بایست به صورت جداگانه دفع شوند. به عبارت دیگر باید از ورود مقدار قابل توجهی از مواد زاید (خطرناک و یا حتی غیر خطرناک) به سیستم جمع‌آوری فاضلاب جلوگیری نمود. علاوه بر آن جداسازی تک تک مواد زاید خطرناک موجود فرآیندهای مختلف و طبقه‌بندی آنها نیز از اهمیت زیادی برخوردار بوده و باید مورد توجه قرار گیرد [۷]. روش جمع‌آوری و طبقه‌بندی مناسب ضایعات صنعتی می‌تواند به ثبت کردن و دفع آلاینده‌ها کمک کند [۸]. در پژوهشی به منظور مدیریت بهتر ضایعات کاخنجات، تلفیق دو استراتژی سلسله مراتب مدیریت ضایعات (WMH08)<sup>۱۶</sup> و کنوانسیون بین‌المللی حفظ گیاهان<sup>۱۷</sup> صورت پذیرفت که گارانتی معتبری برای کارخانجات چاپ می‌باشد. با تلفیق این دو استراتژی، یکپارچه‌سازی دو مرحله تولید ضایعات در محل کارخانه و مدیریت میانی ضایعات مطرح می‌شود که وظیفه مدیریت میانی جمع‌آوری، طبقه‌بندی و ذخیره ضایعات می‌باشد. همچنین مدیریت میانی می‌بایست به تولیدکنندگان داده‌های آنالیز ضایعات را صادر کند تا تولیدکنندگان تصمیم‌گیری کنند. اگر سیستم جداسازی ضایعات چاپ در محل تولید به خوبی پیاده‌سازی شود بازده سیستم بازیافت مواد

<sup>16</sup> Waste Management Hierarchy 2008

<sup>17</sup> IPPC

۵- مراجع

۱. م. فائزی رازی، د. نبی‌زاده، ر. وجدانی، "مدیریت مواد زاید خطرناک"، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست ایران، تهران، ۱۳۷۱.
۲. م. مجلسی، "اصول مهندسی و مباحث مدیریتی"، سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری، ایران، تهران، ۱۳۷۱.
۳. ر. علمداری، ب. مظاهری، ر. مظاهری، "راهنما و آموزش چاپ افست"، انتشارات وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، ایران، تهران، ۱۳۷۶.
۴. م. منظور الاجداد، ر. ربیعی، "مفاهیم نظری و کاربردی ساخت کاغذ و فرآیند چاپ"، انتشارات خانه کتاب، ایران، تهران، ۱۳۹۰.
5. L. Cristóbal Andrade, C. Gómez Míguez, M. C. Taboada Gómez, P. M. Bello Bugallo, "Management strategy for hazardous waste from atomised SME: application to the printing industry", *J clean prod*, 35, 214–229, **2012**.
۶. م. ناظمی پناه، "کاغذ در چاپ"، انتشارات کساکوش، ایران، تهران، ۱۳۹۲.
7. A. Fenecha, M. Strliča, I. Deganob, M. Cassara, "Stability of chromogenic colour prints in polluted indoor environments", *Polym. degrad stab*, 95, 12, 2481–2485, **2010**.
8. J. S. Kiurskia, B. B. Marića, S. M. Aksentijevićb, I. B. Orosa, V. Kecića, I. Kovac`evića, "Indoor air quality investigation from screen printing industry", *Renew Sust Energ Rev*, 28, 224–231, **2013**.
9. M. Caselli, G. Gennaro, M. R. Saracino, M. Tutino, "Indoor contaminants from newspapers: VOCs emissions in newspaper stands", *Environ Res*, 109, 2, 149–157, **2009**.
10. Basel convention series, "Technical guideline on specially engineered landfill", Switzerland, **2002**, adopted from [www.basel.int](http://www.basel.int).
11. G. Miller, "Pollution prevention assistance providers", Printers National Environmental Assistance Center, USA, **2004**.
12. J. Kiurski, B. Marić, D. Adamović, A. Mihailović, S. Grujić, I. Oros, J. Krstić, "Register of hazardous materials in printing industry as a tool for sustainable development management", *Renew sust energ rev*, 16, 1, 660–667, **2012**.
13. W. C. Blackman, "Basic hazardous waste management", 3rd Ed, Lewis publisher, USA, **2001**.
14. J. Wanga, C. C. Houa, P. C. Linb, "Two-phase assessment for the environmental impacts from offset lithographic printing on color-box packaging", *J. clean prod*, 53, 129–137, **2013**.
15. M. D. LaGrega, P. L. Buckingham, J. C. Evans, "Hazardous waste management", 2nd Edition, Mc Graw-Hill, New York, **2001**.
16. N. Srivastava, A. Roy, N. Pant, H. Nagpal, C. R. Vohra, A. N. Bhaskarwar, "Pollution preventing microemulsion inks", *Chem. Eng. Sci.*, 60, 6, 1725–1731, **2005**.
۱۷. سازمان ملی استاندارد ایران، "۱۳۹۲۳"، بخش ۱، -مقوا و خمیرهای کاغذ- اندازه‌گیری مقدار کادمیم- روش طیف‌سنجی جذب اتمی، ۱۳۸۹.
۱۸. سازمان ملی استاندارد ایران، "۱۴۴۰۲"، بخش ۱، - ماشین‌های اداری و ماشین‌های چاپ مورد استفاده در پردازش اطلاعات - پهنای ریبون‌های چاپ یکبار مصرف کاغذی یا پلاستیکی و نشانه‌گذاری جهت نشان دادن انتهای ریبون‌ها، ۱۳۹۰.
۱۹. سازمان ملی استاندارد ایران، "۱۷۴۲۳"، بخش ۱، - فناوری اطلاعات - روشی برای تعیین بازدهی کارتریج تونر برای چاپگرهای الکتروفوتوگرافیک تک فام و افزاره‌های چند کاره شامل اجزای چاپگر، ۱۳۹۲.
20. I.W. Bartlett, A. Dalton, A McGuinness, H Palmer, "Substitution of organic solvent cleaning agents in the lithographic printing industry", *Ann Occup Hyg*, 43, 2, 83–90. **1999**.
21. S. Aroonsrimorakot, C. Yuwaree, "Cleaner technology application in printing factory (offset lithography system)", *APCBEE Procedia*, 5, 203–207, **2013**.
22. S. Vachona, R. D. Klassenb, "Green project partnership in the supply chain: the case of the package printing industry", *J clean prod*, 14, 6, 661–671, **2006**.
23. P. Bitto, D. Reeve, "Alcohol-free lithographic printing", *J clean prod*, 5, 3, 203–205, **1997**.
24. H. M. Freeman, "Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal", Mc Graw-Hill publication, USA, **1989**.
25. I. Trana, R. Anayatha, A. S, S. Shenoya, A. Harikrishnana, "An approach to minimize carbon footprint for an environmental friendly printing by optimizing an offset machine in a printing facility", *Proce-Soci and Behav Sci*, 37, 514–527, **2012**.
26. G. Miller, "Preventing pollution in flexographic printing", 2014, Missouri Department of Natural Resources Environmental Assistance Office, <http://www.dnr.mo.gov/pubs/pub461.pdf>.
27. X. Lu, L. Liu, B. Yang, J. Chen, "Reuse of printing and dyeing wastewater in processess assessed by pilot-scale test using combined biological process and sub-filter technology", *J. Clean Prod.*, 17, 111–114, **2009**.