

مروری بر روش‌های کنترل و کاهش آلاینده‌های صنایع بسته‌بندی و چاپ

علیرضا سوخته سرایی^{۱*}، الهام نوروزی^۲

تاریخ دریافت مقاله: مرداد ماه ۱۳۹۳

تاریخ پذیرش مقاله: مهر ماه ۱۳۹۳

چکیده

۱- مقدمه

با گسترش روز افزون فناوری آلاینده‌های زیست محیطی به صورت موضوعی اجتناب ناپذیر درآمده‌اند؛ که مهم‌ترین دستاورد حذف و کنترل آلاینده‌های صنعتی، گامی به سوی توسعه پایدار می‌باشد. صنایع چاپ و بسته‌بندی از جمله صنایعی محسوب می‌شوند که به علت استفاده از مواد شیمیایی مختلف مثل پلی‌مرها، چسب‌ها، الکل‌ها، مرکب‌ها و پاک‌کننده‌ها در حجم زیاد، می‌توانند آلاینده‌های صنعتی زیادی را تولید کنند. به منظور کاهش آلودگی‌ها، اقداماتی از جمله به‌کارگیری کاغذهای فلزدار شده قابل بازیافت، جامدسازی پسماندهای مایع، به‌کارگیری مرکب‌های باز و غیره از سوی دولت‌ها و صاحبان صنایع انجام شده و قوانین بین‌المللی و ملی را وضع کرده‌اند. این مقاله به مطالعه روش‌های مختلف جهت حذف و کاهش آلاینده‌های صنایع بسته‌بندی و چاپ می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی

حلال، الکل، چاپ، پاک‌کننده، مرکب و آلودگی.

مواد زاید صنعتی به صورت جامد، مایع و گاز بوده و از تنوع بسیار زیادی برخوردار هستند. رشد سریع فناوری، باعث افزایش چشمگیر حجم آلاینده‌های صنعتی خطرناک گردیده است. مواد زاید خطرناک به موادی که خاصیت انفجاری، خوردندگی و یا سایر ویژگی‌هایی که برای سلامتی انسان یا محیط زیست، چه به صورت تنها و یا هنگامی که با سایر مواد زاید مخلوط گردند، ایجاد خطر نمایند، اطلاق می‌گردد [۱].

تجربیات مختلف در کشورهای توسعه یافته نشان می‌دهد که حذف اثرات زیانبار 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 [۱ و ۲]. با افزایش آگاهی مردم، تقاضا برای محصولات دوستدار محیط زیست، روز به روز در حال افزایش است. به گونه‌ای که تولیدکنندگان به‌کارگیری روش‌های نوین در تولید را به منظور کاهش میزان آلودگی، برگ برنده خود در جذب بازار می‌دانند. 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].

از آنجایی که صنعت چاپ به عنوان یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان گازهای سمی، ذرات گرد و غبار

۱- دانشجوی دکتری مهندسی خمیر و کاغذ دانشگاه تهران.

* نویسنده مسئول: (sukhtesaraie@ut.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تربیت مدرس. (enouroozi@gmail.com)

و ایجاد سر و صدا می‌باشد، وجود استانداردها و قوانین بین‌المللی و ضوابط خاصی جهت کنترل آلاینده‌ها و حفظ سلامتی کاربر دستگاه‌ها در مراکز چاپ مورد نیاز می‌باشد. در ادامه به راهکارهای زیست محیطی پیش روی صنعت چاپ و بسته‌بندی پرداخته خواهد شد [۳].

۲- آلاینده‌های صنایع چاپ و بسته‌بندی

صنایع چاپ و بسته‌بندی موجب ایجاد آلاینده‌های صنعتی در سه فاز جامد، مایع و گاز شده که این عوامل باعث می‌شود تا صنایع چاپ و بسته‌بندی به عنوان یکی از خطرناک‌ترین صنایع حاضر جهان شناخته شود. بالطبع، این موضوع، مشکلاتی را برای سامانه بازیافت این مواد ایجاد خواهد کرد. آنالیز^۱ 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، بیانگر آن است که صنایع چاپ در میان آلوده‌کننده‌ترین صنایع قرار گرفته است [۲].

همچنین در صنعت چاپ، علاوه بر انتشار گازهای سمی (ترکیبات آلی فعال VOC^۲) موارد دیگری از قبیل آلودگی صوتی ناشی از چرخش موتورها، چرخ دنده‌ها و حرکت بخش‌های متحرک در ماشین‌های چاپ، بخار مرکب، گردوغبار تولید شده حاصل از کاغذ، پودرها و گاز ازن نیز به عنوان منابع آلودگی مدنظر قرار گرفتند. این موضوع، بسیاری از دست‌اندرکاران عرصه تولید مرکب، مواد مصرفی و شیمیایی را به فکر یافتن راه‌حلی اساسی و پایدار برای حل این موضوع انداخت [۵]. در زیر به تفسیر، انواع راه‌کارها و پیشنهادات اساسی، مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳- راهکارها و پیشنهادات

۳-۱- کاهش نرخ مهاجرت پلی‌مرها

پدیده مهاجرت مواد پلی‌مری، نگرانی‌های زیادی را برای تولیدکنندگان مواد اولیه صنعت بسته‌بندی ایجاد کرده است زیرا این پدیده در نهایت منجر به فساد، تغییر طعم و بوی مواد غذایی خواهد شد. کنترل این پدیده آنقدر مهم است که استانداردهای بین‌المللی از هر کیلو محصول بسته‌بندی شده، تنها مهاجرت ۶۰ میلی‌گرم را مجاز می‌دانند. از جمله موادی که از بدنه بسته‌بندی به درون ساختار مواد غذایی مهاجرت می‌کنند، می‌توان به مونومرها^۳، حلال‌ها، مواد حاصل از هم‌برکنش مواد مختلف و ناخالصی‌های ناشی از بسته‌بندی اشاره کرد. مونومرها موادی سمی می‌باشند که برای سلامت انسان مضر هستند؛ در حالی که پلی‌مرها خنثی هستند و مشکلی ندارند. همیشه در بدنه بسته‌بندی، مقداری مونومر وجود دارد که می‌تواند باعث افزایش نرخ مهاجرت مواد شود. کنترل و کاهش مهاجرت مواد با انتخاب پلی‌مر مناسب جهت بسته‌بندی می‌تواند تا حدودی عملی گردد.

همچنین مهاجرت مواد، ارتباط زیادی با منافذ موجود در دیواره بسته‌بندی دارد که با اعمال سامانه آهاردهی و پرکننده‌ها برای مواد سلولزی می‌توان منافذ کاغذ را مسدود کرد که علاوه بر کنترل مهاجرت مواد زاید می‌تواند در ضد آب کردن بسته‌بندی‌های سلولزی هم کارآمد باشد [۶].

از دیگر راه‌های کنترل پدیده مهاجرت مواد پلی‌مری، افزایش وزن مولکولی پلی‌مر می‌باشد که می‌تواند مهاجرت مواد را کاهش دهد. همچنین کنترل شرایط فیزیکی مانند دما و زمان مهم‌ترین عامل کنترل پدیده مهاجرت مواد می‌باشد. به عنوان مثال، ظروف پلی‌استایرنی در دمای بالاتر از ۶۵ درجه شروع به آزادسازی مونومرهای خود می‌کند. پلی‌استایرن‌ها که از حلقه‌های آروماتیک^۴ به وجود آمده‌اند به عنوان یکی از عوامل خطر ساز در صنعت

3- Monomer

4- Aromatic

1- Analysis

2- Volatile organic compounds

بسته‌بندی معرفی می‌شوند، زیرا قادر به ایجاد عوامل سرطانی و مشکلات برگشت ناپذیری می‌باشند. همچنین مرحله چاپ سطوح بسته‌بندی هم مشکلاتی را در این پدیده ایجاد می‌کند که باید به منظور آن اقداماتی از جمله فویل‌زنی، تیمار ماکروویو^۱ و سایر موارد انجام گردد تا چاپ باعث تشدید مشکل مهاجرت مواد نشود [۶].

۲-۳- تدوین استانداردهای ملی و بین‌المللی

امروزه با توجه به خطرات ناشی از مواد زاید خطرناک، ضرورت قانون‌گذاری در خصوص این مواد توسط دولتمردان کشورهای مختلف احساس شده است. قانون‌گذاری به منظور رعایت اصول و قوانین مدیریتی با هدف دستیابی سریع‌تر به صنعت چاپی سبز، همیشه مورد توجه دولتمردان کشورها بوده است که این موضوع در سازمان‌های محیط زیست هم حاکم 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 [۸].

همچنین در کشورهای دانمارک و سوئد به علت ممنوعیت استفاده از ترکیبات کلروفلوروکربن‌ها^۲ (CFC) به عنوان خنک‌کننده منابع نور ماشین‌آلات چاپ، استفاده از دستگاه‌های چاپ بدون آب رواج بسیاری یافته است. 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. راه اندازی بخش جدیدی در مدیریت شرکت‌ها تحت عنوان مدیریت محیط زیست به منظور جلوگیری از ضرر و زیان‌های احتمالی، امری ضروری به شمار می‌رود [۱۴].

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^۳ IPPC به کشورهای عضو اتحادیه اروپا از سوی این اتحادیه که منجر به هماهنگ شدن 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 نیز در میزان مصرف حلال‌های تولیدکننده ترکیبات آلی فرار در هر ساعت از فعالیت چاپخانه به وجود آمد. این سقف‌های تعیین شده برای مواد مختلف، هر ساله مورد تجدید نظر و به روزرسانی قرار می‌گیرند. اجرای قوانین باید دارای انگیزه و مزایایی برای صاحبان صنایع باشد [۱۳].

در داخل کشور هم به منظور کاهش آلاینده‌ها و حتی کاهش متوسط نرخ مصرف انرژی در صنایع بسته‌بندی، استانداردهایی تدوین شده‌اند که می‌توان به استانداردهای ۱۷۱۰۵، ۱۷۸۲۷، ۱۸۰۴۸، ۱۸۲۶۹، ۱۸۴۳۸ و ۱۸۴۶۵ سازمان استاندارد ایران اشاره کرد. به عنوان مثال، استاندارد ۱۸۴۶۵ به ارزیابی تأثیرات بوهای خارجی در بسته‌بندی کاغذی می‌پردازد تا بتوان میزان مهاجرت مواد را اندازه‌گیری کرد. همچنین استاندارد ۱۸۴۳۸ به مسئله بسته‌بندی و محیط زیست پرداخته است. که با کمک این روش می‌توان به میزان کمینه ارزش حرارتی خالص برای بسته‌بندی پی برد. در ادامه می‌توان به استاندارد ۱۸۲۶۹ اشاره کرد که جهت سازگاری پلاستیک‌ها برای صنعت بسته‌بندی تدوین شده است.

- 1- Microwave
- 2- Macrowave treatment

۳-۳-۳- به کارگیری مواد اولیه دوستدار محیط زیست

۳-۳-۳-۱- به کارگیری پلی مرهای دوستدار محیط زیست

به کارگیری پلی مری زیست تخریب پذیر مانند پلی وینیل الکل^۱، نانو کیتوزان^۲، کیتوزان، سلولز^۳، نانو سلولز و غیره در صنعت بسته بندی یکی از بهترین گزینه های حفاظت از محیط زیست خواهد بود. محدودیت ذخایر نفتی و تخریب ناپذیر بودن محصولات تولیدی از پلی مرهای نفتی و انباشت حجم زیادی از این زباله ها در محیط زیست از جمله دغدغه زیست محیطی دولت ها می باشد. پلی مرهای طبیعی، موادی تجدید پذیر هستند که در مدت زمان کوتاهی توسط باکتری های موجود در محیط مصرف شده و در نهایت این مواد به صورت توده ای زباله در طبیعت باقی نمی مانند [۱۴].

فناوری و تولید پلی مرهای زیستی بر پایه نشاسته یکی از بهترین گزینه های صنعت پلی مر بوده است. این پلی مرها خواص کاملاً برابری با پلی مرهای نفتی از خود نشان می دهند. از ویژگی های منحصر به فرد این پلی مرها، فاقد بو هستند و مقاومت مکانیکی بسیار مطلوبی دارند که در ظروف یکبار مصرف از خود نشان می دهند. پلی مرهای زیست تخریب پذیر، مقاومت شیمیایی مناسب در مقابل اسیدهای موجود در مواد لبنی را دارا می باشند [۱۴].

۳-۳-۲- کاغذهای فلزدار شده قابل بازیافت

یکی از جایگزین های مناسب برای فیلم های فلزدار شده، کاغذهای پوشیده شده با فویل و بسته بندی با استفاده از کاغذهای فلزدار شده قابل بازیافت است. براساس گزارش های منتشر شده، این کاغذهای قابل بازیافت به گونه ای طراحی و ساخته می شوند که تقریباً هیچ گونه آسیبی به محیط زیست وارد نمی کنند که اخذ استاندارد ASTM-D-6868 بر این محصول، خود دلیلی بر این ادعاست [۱۶].

۳-۳-۳- مرکب های آب پایه^۴

به منظور کاهش آلودگی های ناشی از مواد مصرفی در حوزه های مختلف صنعت چاپ، مواد جایگزینی در رشته های پیش از چاپ، چاپ و پس از چاپ مورد تحقیق و پژوهش واقع می شوند. از آنجایی که عمده مشکل مرکب ها، به نوع حلال ها بر می گردد می توان آب را بجای الکل بکار برد که البته این موضوع مشکلات فرآیندی زیادی را بالطبع ایجاد خواهد کرد. به عنوان مثال به انرژی و زمان بیشتری برای تبخیر آب نسبت به الکل نیاز می باشد؛ در ادامه کیفیت محصول نهایی هم ممکن است به مخاطره بیفتد [۱۴].

امروزه کارشناسان صنایع چاپ اذعان دارند مرکب های آب پایه هیچ گونه تولید مواد سمی گازی را دربرنخواهند داشت. همچنین امروزه پوشش های سرطان زای نیتروبنزن دار^۵ جای خود را به حلال های بی ضرر آب پایه دو عنصری مانند آنچه در چاپ فلکسو^۶ به کار می روند، داده اند. متأسفانه، مرکب های منحصرأ آب پایه به دلیل هزینه های سنگینی که برای خشک شدن متحمل می شوند به ندرت مورد استفاده قرار می گیرند [۱۲].

در راستای حرکت صورت گرفته در استفاده از فناوری های جدید و دوستدار طبیعت، امروزه شاهد تقاضای روزافزون برای استفاده از لمینیت های^۷ مرطوب، حرارتی^۸ و گرانبولی^۹ به جای انواع خشک آن و تولید مرکب های آب پایه، یووی (UV) و فیلم های لمینیت در مراحل تکمیلی هستید. به علاوه، به عنوان استاندارد برای این حلقه از زنجیره چاپ، میزان پنج تن ترکیبات آلی فرار در سال به عنوان آستانه آلوده کنندگی این بخش تعیین شده است [۱۰].

- 4- Vinyl alcohol
- 5- Nano chitozan
- 6- Printing flexo
- 7- Laminate
- 8- Thermal
- 9- Granules

- 1- Ethylene vinyl alcohol
- 2- Nano chitosan
- 3- Cellulose

۳-۳-۴- مرکب‌هایی با فشار بخار کم

اگر چه بین سرعت تبخیر حلال‌ها و زمان باید یک رابطه نسبی وجود داشته باشد؛ اما استفاده از مرکب‌هایی با فشار بخار کم‌تر در صنایع چاپ باعث کندشدن سرعت تبخیر حلال‌ها می‌شود که این موضوع نه تنها از حجم آزادسازی ترکیبات آلی فرآر می‌کاهد بلکه میزان فاسد شدن مرکب‌ها را نیز کاهش می‌دهد. طبق نظر بزرگ‌ترین سازندگان مرکب دنیا باید فشار بخار مرکب‌ها کم‌تر از ۱۰ میلی‌متر جیوه باشد [۱۴].

۳-۴-۴- به‌کارگیری فنآوری‌های دوستدار محیط زیست

بهبود و اصلاح تجهیزات چاپ، یک روش بسیار مناسب برای کاهش آلودگی‌های حاصل از دفع ضایعات است. انتخاب تجهیزاتی مانند سامانه‌های ریجستری خودکار^۱، سامانه‌های اندازه‌گیری گرانیوی جوهر و اصلاح سامانه‌های پمپ جوهر می‌تواند یک روش بسیار مناسب برای بهبود فرآیندهای چاپ و بسته‌بندی باشد. حال با توجه به حجم و تنوع آلاینده‌های صنایع چاپ، این موضوع بسیار مورد توجه صاحبان فنآوری قرا گرفته است تا بتوانند ماشین‌آلاتی را ارائه کنند که کاملاً رابطه دوستانه با محیط زیست برقرار کرده است [۱۳]. در این جا به برخی از اقدامات صورت گرفته تا به امروز اشاره خواهد شد.

الف) طراحی سامانه عریان‌سازی با بخار آب به منظور حذف ترکیبات آلی فرار از دیگر اقدامات صنعتی بوده است که صورت گرفته است. با این روش، غلظت ترکیبات آلی فرآر تا حد بسیار زیادی در پساب‌های صنعتی کاهش پیدا می‌کند [۷].

ب) به‌کارگیری سامانه کریستالیزاسیون برای حذف مواد محلول در پساب کارخانجات چاپ و بسته‌بندی از دیگر اقدامات اساسی می‌باشد که در این سامانه، دمای پساب با استفاده از کریستال‌های یخ، کاهش پیدا می‌کند و سایر مواد

1- Automated registration system

محلول و ناخالصی از آب جدا می‌شود و ناخالصی‌ها در اینجا تغلیظ شده و رسوب می‌کند. با این سامانه حتی اسیده‌ها، بازها و مواد آلی را می‌توان از فاز آبی جدا کرد [۷].

پ) جایگزین ساختن حلال‌های امروزی در واحدهای تمیزکننده غلتک‌ها و نوردهای دستگاه با روغن‌های گیاهی و معدنی با نقطه جوش بالا که پس از فیلتر شدن دوباره قابل استفاده هستند. همچنین با توجه به اینکه روغن‌های گیاهی نقطه جوش بالایی دارند می‌توان با به‌کارگیری این نوع حلال‌ها در صنایع چاپ میزان تبخیر آن‌ها را کاهش داد که بالطبع میزان مصرف مرکب‌ها کاهش پیدا می‌کند [۱۳].

ت) نصب همزن جوهر در سینی جوهر دستگاه ماشین‌آلات چاپ برای جلوگیری از اکسیداسیون^۲ زودرس می‌تواند ضایعات جوهر را کاهش دهد بنابراین میزان هزینه و ضایعات تولید کم می‌شود [۳].

ث) کاهش قابل توجه میزان مایع تولوئن^۳ تولید شده در چاپ گود به علت استفاده از مرکب‌های حاوی مواد خطرناک با مقادیر بسیار کم‌تری و به‌کارگیری فنآوری‌های 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 [۱۴].

ج) استفاده از تجهیزات جذب‌کننده گاز ازن که وظیفه هدایت ازن تولیدی در اثر برخورد فوتون‌های UV^۴ با اکسیژن هوا را بر عهده دارند و ازن تجمع یافته فشرده می‌شود [۴ و ۱۳].

چ) امروزه با توجه به اینکه امواج ماکروویو^۵ برای انسان بسیار مخاطره‌آمیز می‌باشد، اقداماتی جهت حذف و کاهش دسترس‌پذیری آن صورت گرفته است. به عنوان مثال: قرار دادن صفحات کدر در دستگاه‌های چاپ UV و

2- Oxidation

3- Toluene

4- Photon

5- Microwave

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون

افزودن میزان کمی از باریم هیدروکسید^۷ باعث تسریع فرایند جامدسازی خواهد شد و از تشکیل مواد معدنی جلوگیری می کند [۷]. از این روش می توان برای حمل آسان تر چسب های فاسد شده در صنعت بسته بندی استفاده نمود.

۳-۵-۲- به کارگیری فناوری اکسیداسیون پیشرفته

یکی از روش های حذف آلاینده ها و مواد خطرناک از آب های آلوده، فرآیند اکسیداسیون پیشرفته است. فرآیند UV/TiO₂ به عنوان یکی از روش های اکسیداسیون پیشرفته با فناوری فوتوکاتالیتیکی^۸ است که پایداری و راندمان بالا از امتیازات مهم این فرآیند محسوب می شود. این فناوری بهترین روش حذف ترکیبات هیومیکی^۹ از پساب صنعتی محسوب می شود [۷].

۳-۵-۳- بازیابی مواد مصرفی

بسیاری از مواد دور ریخته شده، تحت عنوان ماده زاید خطرناک می توانند دارای کاربردهای دیگری نیز باشند. به عنوان مثال: حلال های مصرفی با ناخالصی پایین می توانند برای پاک کردن قطعاتی که حساسیت کمتری دارند، مورد استفاده قرار گیرند. نمونه بارز در این خصوص، استفاده از تولوئن در صنعت چاپ می باشد. در صنعت چاپ، تولوئن هم به عنوان عامل پاک کننده در پرس ها و هم به عنوان عامل رقیق کننده جوهر به کار برده می شود. در صورتی که بتوان از تولوئن برای پاک کردن یک رنگ خاص استفاده نمود، امکان استفاده از آن به عنوان رقیق کننده جوهر نیز وجود دارد. منبع دیگر مواد زاید خطرناک، مواد خامی است که تاریخ مصرف آنها سپری شده است [۱]. معمولاً تاریخ مصرف این گونه از مواد به صورت محافظه کارانه ای تعیین می شود و در پاره ای از موارد، امکان استفاده از این مواد در صورت تأیید آزمایشگاه وجود خواهد داشت. حلال های جایگزین را می توان برای تمیز

هیبریدی^۱ به منظور محافظت از کارگران چاپخانه در برابر اشعه UV از جمله اقدامات دیگر سازندگان ماشین آلات بوده است که توصیه می شود کاربرهای ماشین های بدون این گونه تجهیزات، صفحات مخصوص UV را خریداری کرده تا میزان آسیب این امواج به حداقل برسد [۱۳].

ح) جمع آورنده های سیکلونی^۲، دستگاه هایی برای پاکسازی گازها از ذرات معلق هستند که با به کارگیری نیروی سانتریفوژ^۳ جریان گاز به چرخش در می آید و ذرات معلق از جریان گاز جدا می شود. وقتی واحدهای جداکننده به صورت سری قرار می گیرند، بازدهی حذف ذرات افزایش می یابد و اگر به صورت موازی قرار گیرند حجم گاز عبوری بیشتر خواهد شد. در این نوع دستگاه های کنترل، نیروی سانتریفوژ مربوط به سرعت چرخش زیاد، ذرات را به دیواره خارجی سیکلون پرتاب نموده و ذرات از دیوار به سمت مخروط پایین هدایت شده و وارد قیف انتهایی می گردند. سیکلون ها برای حذف ذرات ۱۰ میکرومتری^۴ یا بالاتر بکار می روند. در این میان، برای کاهش حجم ذرات معلق ناشی از فرایند چاپ و بسته بندی می توان به جمع کننده های تر، شوینده های ونتوری^۵، اسپری و سیلیکونی اشاره کرد.

۳-۵-۴- مدیریت و بازیابی پسماندهای صنعتی

۳-۵-۱- جامدسازی پسماندهای مایع

امروزه به منظور حمل آسان تر و فراوری راحت تر پسماندهای جامد نسبت به مایع، اقداماتی در کارخانجات مبدأ جهت تبدیل پسماندهای مایع به جامد صورت می گیرد که می توان به سامانه جامدسازی با آهک- آب و مواد پوزولانی^۶ اشاره کرد. مواد پوزولانی بعد از ترکیب با آب و پسماند در نهایت کل مخلوط را به ماده ای سیمانی شکل تبدیل می کند که از چگالی بسیار بالایی برخوردار است.

- 1- Hybride
- 2- Pozzolan materials
- 3- Centrifuge
- 4- Microwaves
- 5- Venturi cleaning
- 6- Pozzolan materials

7- Hydroxide

8- Photocatalytic technology

9- Humic

کردن تجهیزات آلوده به جوهرها استفاده کرد در حالی که مواد شوینده و آب را برای تمیز کردن غیرجوهر استفاده می‌کنند. مشکلاتی که برای این حلال‌ها با وجود سمیت کم آن‌ها وجود دارد خشک کردن حلال‌هایی مثل اتیلن گلیکول^۱، اتانول^۲، ایزوپروپانول^۳، سیکلو هگزانون^۴ و دیگر مشتقات نفتی موجود در جوهرها می‌باشد [۹].

۳-۵-۴- 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، تبخیر الکل‌ها و حلال‌های دیگر به میزان بسیار زیاد وجود دارد، تأسیس چنین برج‌هایی از لحاظ سلامتی و زیست محیطی بسیار حائز اهمیت است. به لحاظ اقتصادی، حجم تقطیر شده حلال‌ها هدف از تأسیس تقطیرکننده‌ها را مقرون به صرفه می‌سازد [۱۰].

قابل ذکر است که برای بازیافت حلال‌ها می‌توان از فیلتراسیون^۵، تبخیر ساده، عملیات سانتریفیوژ^۶ و عریان‌سازی استفاده کرد. همچنین از فرآیند باز تصفیه روغن برای بازیابی روغن‌های اسیدی می‌توان استفاده کرد [۷].

۳-۵-۵- برج بازیافت فلزات^۷ تأسیس سانتریفیوژی‌های تغلیظ‌کننده و استخراج با حرارت)

با توجه به اینکه حجم زیادی از فلزات سنگین برای مرکب‌ها استفاده می‌شود و آزادسازی این نوع مواد در فاضلاب حاصل از واحدهای صنعتی چاپ بسیار مخاطره‌آمیز است، باید دولت‌ها و واحدهای تصفیه پساب کارخانجات، تدابیری را برای آن در نظر بگیرند. به عنوان آخرین دستاورد

در کشورهای اروپایی می‌توان به تأسیس برج‌های بازیافت نقره یا همان فلزات سنگین اشاره کرد که در شهرک صنایع چاپ هامبورگ^۸ آلمان اشاره کرد که پساب حاصل از کارخانجات چاپ می‌باشد، وارد این برج‌ها می‌کنند تا فلزات سنگین از پساب جدا شده و فلز نقره را که از ارزش اقتصادی بالایی برخوردار هستند، بازیابی کنند. امروزه مسئله تغلیظ‌سازی پساب کارخانجات از جمله دیگر تدارکات زیست محیطی بوده است. لجن حاصل از کارخانجات تا حد امکان تغلیظ شده و بالطبع حجم کاهش یافته را دفن می‌کنند [۱۴].

همچنین برای استخراج فلز از دو روش استخراج با حرارت و استخراج با مایعات صورت می‌گیرد که در استخراج با حرارت از اختلاف بین نقطه ذوب و جوش فلزات برای جداسازی آن‌ها استفاده می‌شود؛ اما در روش استخراج فلز با مایعات از مکانیسم تبادل یونی، فیلتراسیون غشایی و الکترووانیگ^۹ استفاده می‌شود [۷].

۳-۵-۶- شهرک‌های صنعتی تخصصی چاپ با سامانه تصفیه پساب

با توجه به شستن سیلندرهای ماشین و آزادسازی مواد مرکب و حلال‌ها در فاضلاب شهری و صنعتی طیف وسیعی از مواد خطرناک مانند فلزات سنگین و حلال‌ها وارد چرخه زیستی می‌گردند که تدوین یک سامانه فاضلاب شهری بسیار حائز اهمیت است (جدول ۱) [۹].

رنگ یکی از شاخص‌های مهم کیفیت آب و فاضلاب است؛ با شستن پارچه‌های ماشین‌آلات چاپ، میزان زیادی مرکب وارد پساب کارخانه می‌گردد. امروزه در دنیا موضوع متمرکزسازی گرایش‌های صنعتی بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد زیرا در اینجا نه تنها هزینه تولید بسیار پایین آمده بلکه روش‌های مدیریتی این نوع از واحدهای صنعتی بسیار آسان‌تر می‌باشد. به عنوان مثال با تجمع

- 1- Ethyleneglycol
- 2- Etanol
- 3- Isopropanol
- 4- Cyclo hexanone
- 5- Filtration
- 6- Centrifuge
- 7- Silver recovery tower

- 8- Hamburg
- 9- Electro winning

کارخانجات چاپ یک استان در یک مرکز صنعتی می‌توان با صرفه اقتصادی بیشتری یک واحد تصفیه پساب را راه‌اندازی کرد [۱۴].

جدول ۱- حداکثر غلظت مجاز (از لحاظ سمیت)

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

۳-۵-۷- تفکیک پسماندهای خطرناک صنعتی

یکی دیگر از روش‌های مؤثر کاهش مواد زاید در منبع تولید، 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 را نیز راحت‌تر و کم هزینه‌تر انجام داد. روش دیگر کاهش آلاینده، جلوگیری از تماس آب‌های خنک‌کننده، با سایر جریان‌های مواد زاید خطرناک و فاضلاب‌ها می‌باشد [۲].

داشتن نقشه کامل از سامانه جمع‌آوری فاضلاب‌های مختلف نیز یکی از پیش‌نیازهای اجرای سامانه جداسازی جریان می‌باشد. در برخی مواقع، جداسازی مواد جامد از سایر مواد می‌تواند بسیار مؤثر واقع شود. به عنوان نمونه یکی از منابع اصلی تولید آلاینده، در بسیاری از واحدهای صنعتی، ذرات جمع‌آوری شده از سامانه‌های کنترل آلودگی هوا بوده که می‌بایست به صورت جداگانه جمع‌آوری و دفع گردند. به

عبارت دیگر باید با انجام این گونه عملیات، از ورود مقدار قابل توجهی از مواد زاید (خطرناک و یا حتی غیرخطرناک) به سامانه جمع‌آوری فاضلاب جلوگیری نمود. علاوه بر آن، جداسازی تک تک مواد زاید خطرناک موجود در آزمایشگاه‌ها و یا فرآیندهای مختلف و طبقه‌بندی آن‌ها نیز از اهمیت زیادی برخوردار بوده و باید مورد توجه قرار گیرد [۸].

۳-۵-۸- صافی‌های پارچه‌ای

فیلتراسیون^۱ یکی از گسترده‌ترین و قدیمی‌ترین روش‌های جداسازی ذرات مختلف از حلال‌ها و حامل‌ها می‌باشد. ساختار فیلترها^۲ از مواد الیافی یا گرانولی^۳ که گاز و یا مایع از میان منافذ و خلل و فرج آن عبور کرده و ذرات معلق در فیلتر بجا می‌ماند، بسته به محل به‌کارگیری و درصد بازدهی مورد انتظار، می‌توان از انواع مختلف فیلتر استفاده نمود. چنانچه فیلتر با بازدهی بالا مورد نظر باشد به عنوان مثال برای حذف مواد رادیو اکتیو^۴ از فیلترهای^۵ HEPA و ULPA^۶ استفاده می‌شود.

۳-۵-۹- بارنامه پسماندهای خطرناک

بارنامه پسماندهای خطرناک، مسئله بسیار مهمی است که باید به منظور حمل و دفع پسماندهای خطرناک، بارنامه ویژه پسماند تهیه کرد که این سند قانونی، حاوی اطلاعاتی از قبیل زمان تولید تا زمان دفع، درصد مواد زاید صنعتی، حجم میزان مواد مایع، جامد و غیره می‌باشد که باید از این سند، شش رونوشت تهیه شود که به تولیدکننده، حامل، تصفیه‌کننده، سازمان محیط زیست و سازمان بیمه امنیت جاده ارسال گردد. همچنین سازمان بیمه امنیت جاده‌ها^۷ حاملان ضایعات صنعتی را ملزم به نصب

- 1- Filtration
- 2- Filter
- 3- Granules
- 4- Radio active
- 5- High-efficiency particulate air filter
- 6- Ultra-low particulate air filter
- 7- Insurance institue for highway safety

سرعت سنج و سامانه پیشرفته ترمز کرده و قوانین سختی را برای حاملان ضایعات صنعتی در نظر گرفته است [۷].

۳-۵-۱۰- کنترل میزان دی اکسید گوگرد و اکسید نترات‌ها^۱

برای کنترل SO₂ تولید شده در صنایع بسته‌بندی، می‌توان از اکسیداسیون کاتالیزوری^۲ با کمک پنتا اکسید^۳ وانادیوم^۴ و شستشو با سدیم فلیایی استفاده کرد. برای کاهش میزان ناکس^۵ می‌توان از سامانه احتراق با هوای اضافی کم و برای کاهش تولید اکسیدهای ازت، احتراق دو مرحله‌ای و استفاده از شستشودهنده‌های تر می‌توان علاوه بر SO₂ میزان ۲۰ درصد ناکس را نیز کاهش داد.

۳-۵-۱۱- رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیک

در رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیک^۶، ذرات باردار شده توسط قطب مخالف خود جذب می‌شوند. این روش یکی از مهم‌ترین روش‌های پاکسازی صنعتی به شمار می‌رود. از جمله قابلیت‌های این روش، پذیرش حجم وسیعی از گاز، بازدهی بالای جداسازی ذرات برای ذرات زیر میکرون^۷، مصرف انرژی پایین و امکان جداسازی ذرات از گازهایی با دمای بالاست. نکته قابل توجه در این دستگاه، انرژی صرف شده برای جداسازی ذرات، صرفاً به خود ذرات بستگی دارد و به حجم جریان گاز مرتبط نمی‌باشد. این رسوب‌دهنده‌ها نوع مرطوب نیز دارد که سرعت آن‌ها بالاتر از رسوب‌دهنده‌های خشک است و نیاز به صفحات جمع‌آورنده کم‌تری دارد.

۳-۵-۱۲- تصفیه با استفاده از کربن فعال

امروزه در کارخانجات زیادی از روش کربن فعال برای کاهش بار آلودگی پساب استفاده می‌شود. از زنی هم تأثیر بسیار زیادی بر کاهش میزان اکسیژن خواهی شیمیایی^۸ (COD) دارد؛ اما تلفیق دو روش کربن فعال و از زنی، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی را تا ۷۴ درصد کاهش می‌دهد و در کنترل شاخص رنگ پساب هم حدوداً تا ۴۰ درصد از خود راندمان نشان می‌دهد [۱ و ۷].

عملیات تصفیه با کربن فعال توسط مکانیسم جذب سطحی تشریح می‌شوند. زمانی که پیوندهای شیمیایی جزئی، بین ذرات جذب شده ایجاد می‌شود و یا وقتی که ماده جذب شده به مجاری موجود در جسم جامد وارد می‌گردد، می‌گوییم پدیده جذب رخ داده است. کاربرد کربن فعال در حذف بو و طعم نامطلوب از آب‌های صنعتی بسیار متداول است. از جمله عوامل مؤثر در پدیده جذب می‌توان به اندازه ذرات، مساحت سطح، ساختار منافذ، اسیدیته^۹ (pH)، درجه حرارت و ماهیت ماده اشاره کرد [۷].

۳-۵-۱۳- تصفیه بیولوژیکی^{۱۰}

به دلیل اینکه محصولات سلولزی مورد استفاده در صنایع بسته‌بندی، منشأ طبیعی دارند، تصفیه بیولوژیکی به دلیل سادگی و کم هزینه بودن در اینجا مورد توجه مدیران صنایع بسته‌بندی قرار گرفته است [۴].

در این روش، مواد آلی یا به صورت معدنی در می‌آیند و یا به ترکیباتی با وزن مولکولی پایین‌تر تبدیل می‌شوند [۷].

قارچ فانروکانت کریزوسپوریوم^{۱۱} قادر به تجزیه یا حذف یون کروم شش ظرفیتی از محلول‌های آبی بوده

8- Chemical oxygen demand

9- Acidity

10- Biological

11- Osmosis filtration

1- Nitrate

2- Catalyst

3- Pentaoxide

4- Vanadium

5- NOX

6- Electrostatic

7- Micron

اکسیداسیون پیشرفته و استخراج با آب داغ، باعث کاهش حجم آلاینده‌های صنعتی و بازیابی آسان‌تر مواد با ارزش، از میان ضایعات واحدهای صنعتی می‌شود. ایجاد شهرک‌های صنعتی تخصصی چاپ و بسته‌بندی با سامانه تصفیه پساب متمرکز از هزینه کل خواهد کاست و جداسازی جریان‌های مختلف مواد زاید خطرناک و ورود آن‌ها به سامانه پساب جهت تیمار آن، باعث ایجاد صرفه اقتصادی خواهد شد.

۵- منابع

۱. اسدی، م.، فائزی رازی، د.، نبی زاده، ر.، وجدانی، م. مدیریت مواد زاید خطرناک، تهران: انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست ایران، ۳۷۴ صفحه، ۱۳۷۱.
۲. مجلسی، م. اصول مهندسی و مباحث مدیریتی، انتشارات سازمان بازیافت و تبدیل مواد، ۲۲۰ صفحه، ۱۳۷۱.
۳. علمداری، ر.، مظاهری، ب. راهنما و آموزش چاپ افست، انتشارات وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، ۲۶۱ صفحه، ۱۳۷۶.
۴. منظور الاجداد، م.، ربیعی، ر. مفاهیم نظری و کاربردی ساخت کاغذ و فرآیند چاپ، انتشارات خانه کتاب، ۳۸۶ صفحه، ۱۳۹۰.
۵. ناظمی پناه، م. کاغذ در چاپ، انتشارات کساکاوش، ۲۸۱ صفحه، ۱۳۹۲.
۶. سوخته سرایی، ع. «نقش مهاجرت در سلامت مواد غذایی بسته‌بندی شده». نشریه هنر بسته‌بندی، شماره ۸، صفحه ۵۹، بهار ۱۳۹۲.
۷. عبدلی، م.، قاضی زاده، م.، سمیعی زاده، ر. مدیریت پسماند خطرناک، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۶۷ صفحه، ۱۳۸۹.

8. Blackman W.C., 2001, "Basic hazardous waste management", 3rd Edition, lewis publisher, USA.
9. Basel convention series, 2002, "Technical guideline on specially engineered landfill", Switzerland, adopted from www.basel.int.

است که این قارچ می‌تواند برای حذف فلزات سنگین پساب گزینه مناسبی باشد. همچنین قارچ اسپرگیلوس نیگر^۱ توانایی جذب یون‌های کادمیم^۲، نیکل و سرب را دارد که در تحقیقات زیادی از حذف ۶۵ درصدی فلزات سنگین در صورت استفاده از تصفیه بیولوژیکی گزارش شده است [۱ و ۷].

البته قبل از تصفیه بیولوژیکی باید یکسان‌سازی، تصفیه شیمیایی و ملایم‌سازی صورت گیرد. در پایان قابل ذکر است که روش‌های انعقاد، لخته‌سازی، رسوب‌دهی، فیلتراسیون^۳، هوادهی، سامانه فیلتر آب به روش اسمز^۴ معکوس برای طراحی سامانه تصفیه پساب، مهم تلقی می‌شوند.

۴- نتیجه گیری

به دلیل حضور طیف بسیار زیادی از مواد شیمیایی و حلال‌ها، صنایع چاپ و بسته‌بندی از جمله آلوده‌ترین صنایع دنیا محسوب می‌شوند. تاکنون اقداماتی از جمله قانون‌گذاری و استانداردهای انجام شده است. همچنین به‌کارگیری سامانه‌های جمع‌کننده‌های تر، شوینده‌های و نتوری، شوینده‌های اسپری^۵، رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیک و سیلیکونی^۶ امکان کاهش حجم مواد معلق مختلف را فراهم می‌سازد. همچنین استفاده از مواد دوستدار محیط زیست مانند کاغذهای فلزدار شده قابل بازیافت و پلی‌مرهای دوستدار محیط زیست مانند کیتوزان و پلی‌وینیل الکل مطرح هستند که با این مواد، مشکلات مهاجرت مواد پلی‌مری تا حد زیادی کاهش پیدا می‌کند.

اصلاح مکانیکی فنآوری حاضر به فنآوری‌های دوستدار محیط زیست کمک قابل توجهی به کاهش ضایعات خواهد داشت. بازیابی و استفاده مجدد مواد مصرفی، به‌کارگیری سامانه کریستالیزاسیون^۷، فرآیند عریان‌سازی با بخار آب،

- 1- Aspergillus nygr
- 2- Kadmju
- 3- Filtration
- 4- Osmotic
- 5- Spray
- 6- Siliceous
- 7- Fan rv chryso sporium card fungus

10. Freeman H.M., 1989, "Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal", Mc graw-hill publreation, USA.
11. Keily G, 1998, "Environmental engineering", McGraw-hill, Malaysia.
12. LaGrega M.D., P.L. Buckingham, J.C. Evans, 2001, "Hazardous waste management", 2nd edition, Mc graw-hill, New York.
13. Miller, G. 2004, "Pollution prevention assistance providers", Printers national environmental assistance center.
14. Miller, G. 2004, "Preventing pollution in flexographic printing", Missouri department of natural resources environmental assistance office.
15. Hijazia, N., Rodiera, E., Letourneau, J., Louatia, H., Saucéau, M., Moigne, N., Benezet, J. and Fagesa, J. 2014, "Chitosan nanoparticles generation using CO₂ assisted processes". Journal of supercritical fluids, 95, 118–128.
16. McGinniss, V. 1996, "Advances in environmentally benign coatings and adhesives". Progress in organic coatings 27, 4, 153–161.

آدرس نویسنده

استان البرز- بلوار هفت تیر- چهار راه کارخانه
 قند- خیابان عرفان- بن بست اشکان اله یار-
 ساختمان عرفان واحد ۱.