



نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران

دانشگاه علم و صنعت ایران
۳-۵ آذر، ماه ۱۳۸۳

ارزیابی نحوه و روند انتشار آلاینده های هوا در فرآیند ولکانیزاسیون لاستیک (شناخت، پیشگیری، کنترل)

معصومه مرادزاده*، جلال الدین شایگان، محمد سلطانیه

دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف

Moradzadeh@mehr.sharif.edu

چکیده

آلاینده های هوا یکی از مسائل مشکل ساز زیست محیطی و تاثیر گزار بر سلامت کارگران در صنعت لاستیک است. هر آمیزه لاستیکی حاوی دهها نوع ماده شیمیایی مختلف است. انتشار این مواد حین فرآیند و نیز محصولات جانبی که در حین گرمادهی در فرآیند ولکانیزاسیون لاستیک ایجاد می شود مخلوط پیچیده ای از آلاینده ها تولید می کند که شناسایی آنها و منبع تولید کننده شان کار چندان ساده ای نیست. با توجه به طیف اصلی آلاینده ها در این صنعت، بعد از تحقیقات اولیه و شناخت مسئله، از هوای یک شرکت تولید قطعات لاستیکی نمونه گیری شد و نمونه ها مورد آنالیز قرار گرفت تا بتوان بطور نمونه، تقریبی از کیفیت و کمیت این آلاینده ها در صنعت لاستیک بدست آورد. در این تحقیقات مشخص شد که در آلاینده های انتشار یافته از فرآیند پخت لاستیک عمدتاً سه گروه ۱- آمینهای آروماتیک ۲- هیدروکربنهای عطر چند حلقه ای ۳- نیتروز آمینها مهمترین ها هستند. همچنین سهلترین و امکان پذیرترین روش کنترل، روش پیشگیرانه است. با کنترل مناسب فرآیند می توان تا حد زیادی از تولید این آلاینده ها محافظت به عمل آورد و در مواردی جایگزین کردن مواد اولیه با انواع کم خطرتر و یا حتی تغییر فرآیند (مثل عدم استفاده از حمام نمک یا استفاده از ولکانیزاسیون تابشی) راههای پیشنهادی برای کنترل آلودگی هاست. ضمن اینکه استفاده از سیستم تهویه مناسب و کارآمد و اطمینان از درست عمل کردن و رعایت نکات ایمنی فردی، سهم بسزایی در کاهش آلودگی ها و تاثیر آن بر سلامت افراد دارد.

کلمات کلیدی: آلودگی هوا^۱، ولکانیزاسیون^۲، دود و دم لاستیک^۳، نیتروز آمینها^۴، ذرات غبار^۵

¹ - Air Pollution

² - Vulcanization

³ - Rubber Fume

⁴ - Nitrosamine

⁵ - Dust

مقدمه

برخی مطالعات کلی در مورد آلاینده های محیط زیست صنایع لاستیک انجام شده است. بیشتر این بررسی ها مربوط به اواخر دهه هفتاد و اوایل دهه هشتاد در آمریکا و انگلستان است و بر تماس با ذرات موجود در هوا و حلالها متمرکز شده اند. بعد از آن، مطالعات خاصتری روی تماس با نیتروزآمینها و چندین هیدروکربن آروماتیک چند حلقه ای صورت گرفت. بر اساس این مطالعات یک الگو قابل شناسایی است. تولید ذرات معلق بیشتر در ابتدای فرآیند تولید و حین کار با مواد خام، توزین و اختلاط آنها وجود دارد و در مراحل بعدی فرآیند، کاهش می یابد. حلالها بیشتر در طی مراحل جفت و جور کردن قطعات لاستیکی و اسپری های روغنکاری در قطعات لاستیکی قبل از پخت یافت می شوند. خود پخت، دود دم و گازهایی تولید می کند که حاوی بنزن، هیدروکربنهای آروماتیکی چند حلقه ای و نیتروزآمینهاست. حین معاینه و انبار قطعات لاستیکی گازهای آلوده مثل نیتروزآمینها به اتمسفر همچنان ادامه خواهد داشت.

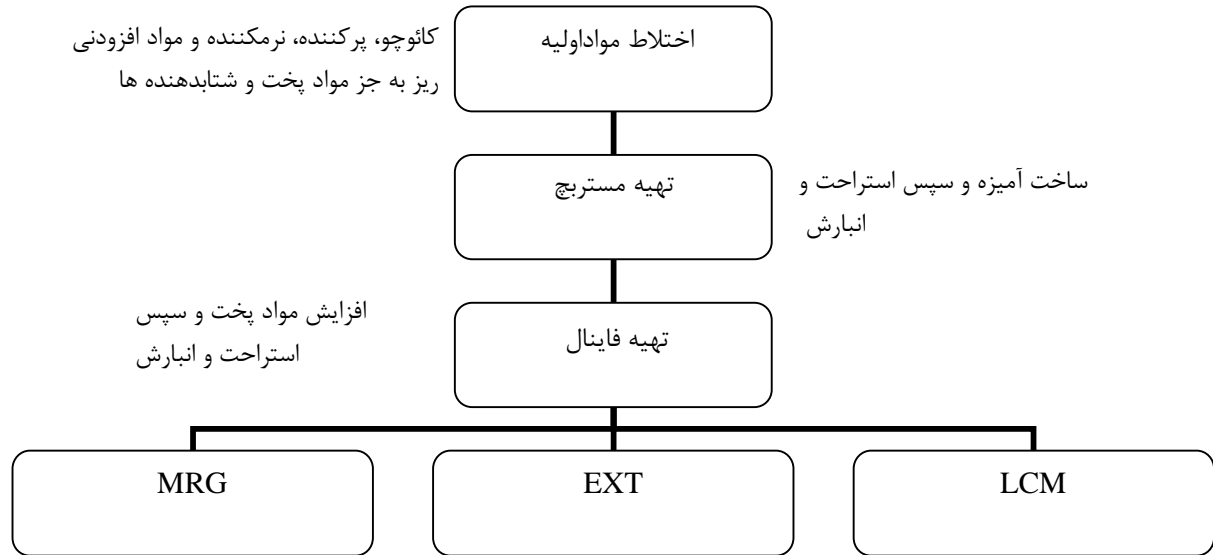
سیلوانو و همکاران (Silvano et al) با استفاده از تستهای جهشزایی و آنالیز شیمیایی سعی در اندازه گیری ذرات جهشزای معلق در هوای صنایع لاستیک داشته اند [۲]. در این تحقیقات از یک مجموعه آزمایشات شیمیایی - بیولوژیکی به این منظور استفاده شده است. نتایج نشان داد که ذرات معلق در هوا بیشترشان بسیار ریز ($< 0.5 \mu m$) بوده و مقادیر بسیار جزیی از نیتروزآمینهای جهشزا و PAHها در نمونه های هوا یافت شدند. در سال ۲۰۰۱ ورمیولن (Vermeulen et al) نیز تحقیقاتی را بر روی فعالیت جهشزایی و سرطان زایی اجزای موجود در دود دم و غبار حاصل از فرآیند تهیه لاستیک انجام دادند و اثر تماس با این مواد را ارزیابی نمودند [۳]. این مطالعه در دو قسمت اختلاط و پخت دو کمپانی ساخت تایر لاستیکی انجام شد که یکی از این دو کمپانی در هلند و دیگری در سوئد واقع بود. تحقیقات انجام شده نشان دهنده امکان وجود سرطان زایی غیر مستقیم در آروماتیکی بود و مشخص شد که اگرچه فرآیند تولید در کمپانی های تولید لاستیک مشابه است اما اختلاف در شیمی بکار رفته در لاستیک و سطح کلی کنترل سبب ایجاد اختلاف بین میزان آلودگی و جهش زایی در کمپانی هاست.

تماس با نیتروزآمینهای فرار در ۲۴ کارخانه ساخت لاستیک از سال ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۵ توسط اوری و لیماسست (Oury & Limasset) اندازه گیری شده است [۴]. در نهایت ۷۹۰ اندازه گیری در مناطق مختلف انجام شد و نتایج وجود ۵ نیتروزآمین مختلف را نشان داد. N- نیتروز دی فنیل آمین، نیتروز آمینی بود که بیشتر از بقیه با آن مواجه شدند. ۱۴۱ مورد از ۷۰۹ مورد اندازه گیری شده بیشتر از حد استاندارد بودند. مخصوصاً غلظت نیتروزآمینها در فرآیند پخت حمام نمک بسیار بالا بود. با توجه به تحقیقات انجام شده می توان مهمترین آلاینده ها را که باید در صنعت لاستیک مد نظر قرار گرفته شود را تعیین نمود.

شناخت مسئله

-فرآیند تولید

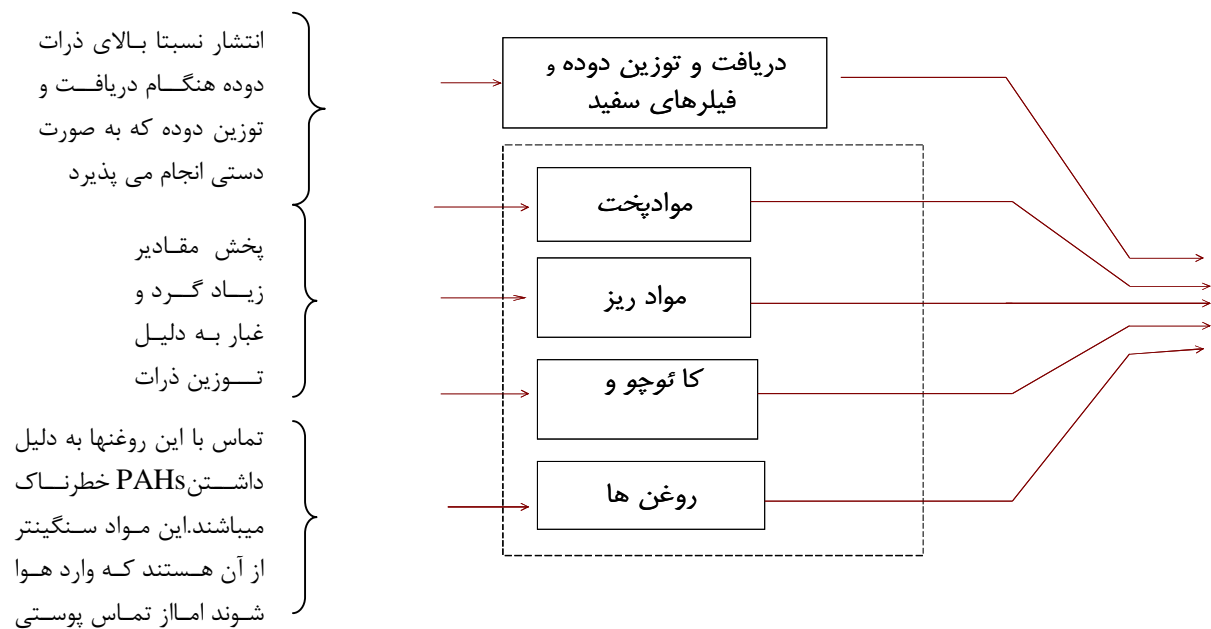
در حالت بسیار کلی پروسه تولید را می توان به صورت شکل (۳) نشان داد. در این کارخانه ۷۰۰ نوع ماده که در ۲۱ گروه تقسیم بندی می شود برای کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می گیرند شکل (۴) گروههای اصلی این مواد را نشان میدهد.



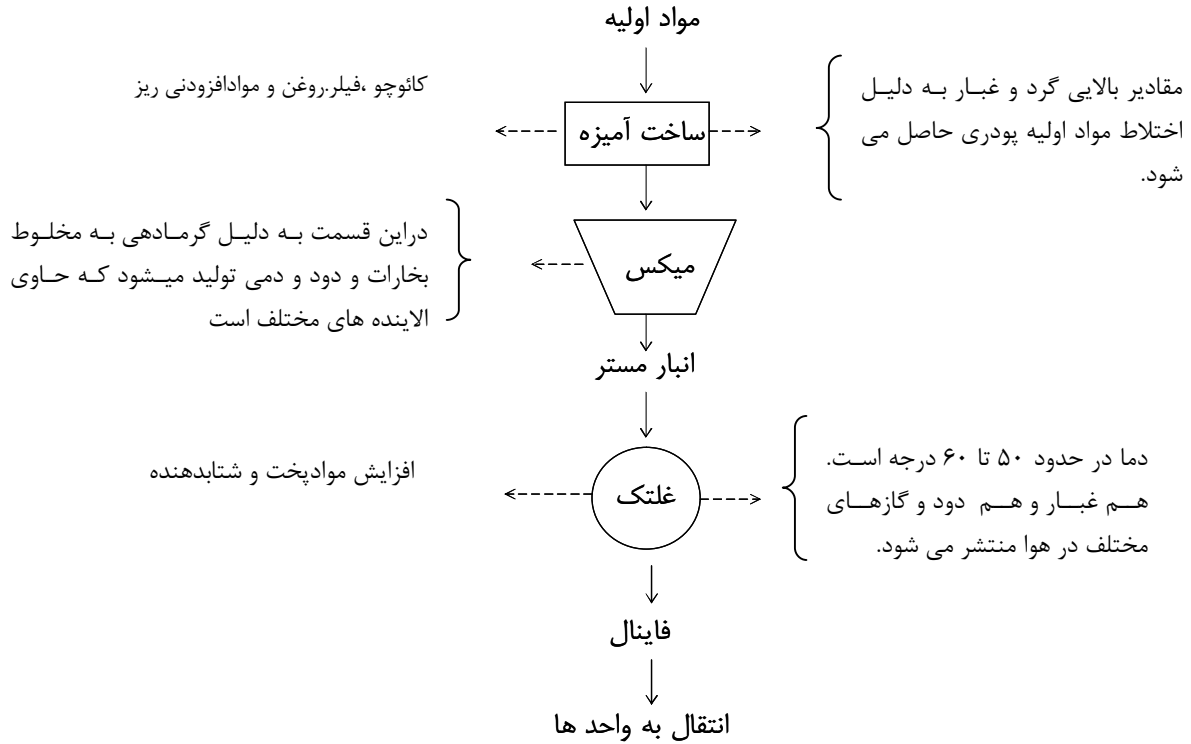
شکل ۳ - شمایی از فرآیند تولید

مواد اولیه بعد از اختلاط اولیه به منظور تهیه مستریچ جهت تهیه آمیزه ورد نظر به بخش تهیه فاینال منتقل می شود. (شکل ۵)

شکلهای (۴) و (۵) و (۶) به ترتیب فرایندهای پخت MRG و EXT و LCM را نشان می دهند.

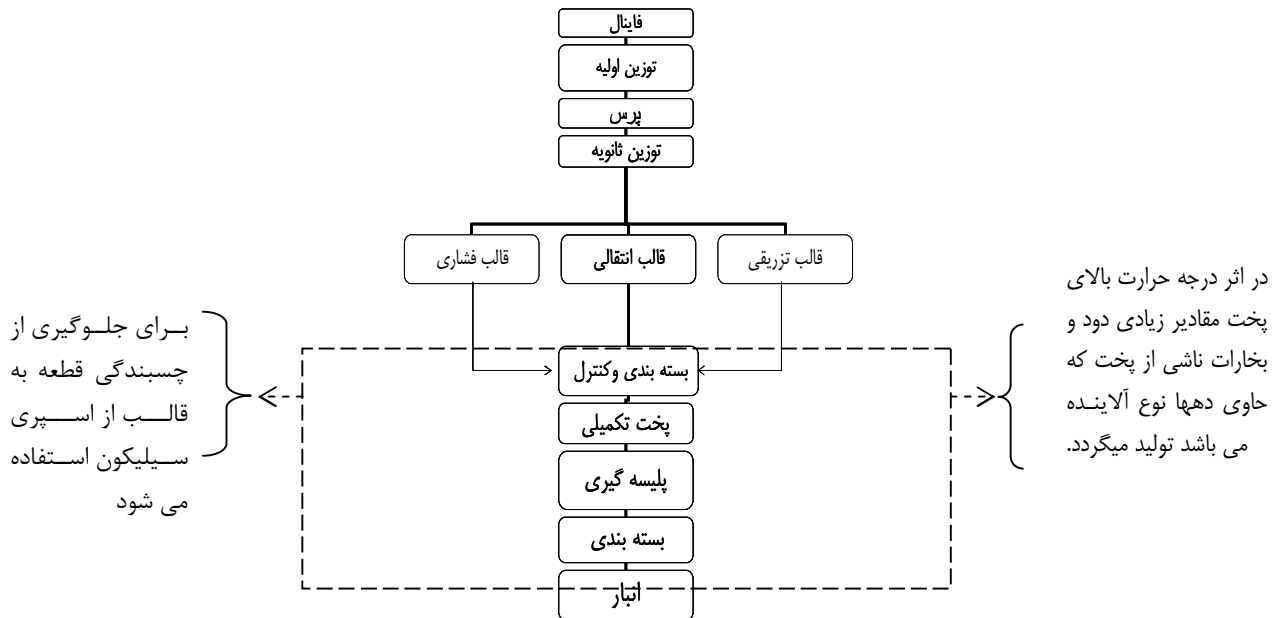


شکل ۴ - واحد مواد اولیه

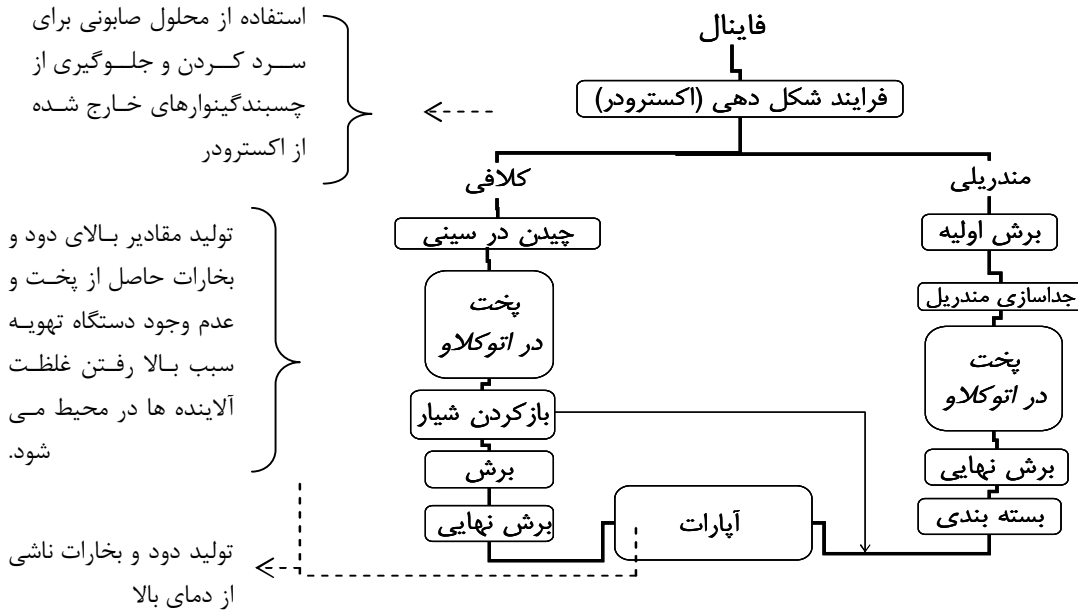


شکل ۵- فرآیند تهیه محصول فاینال

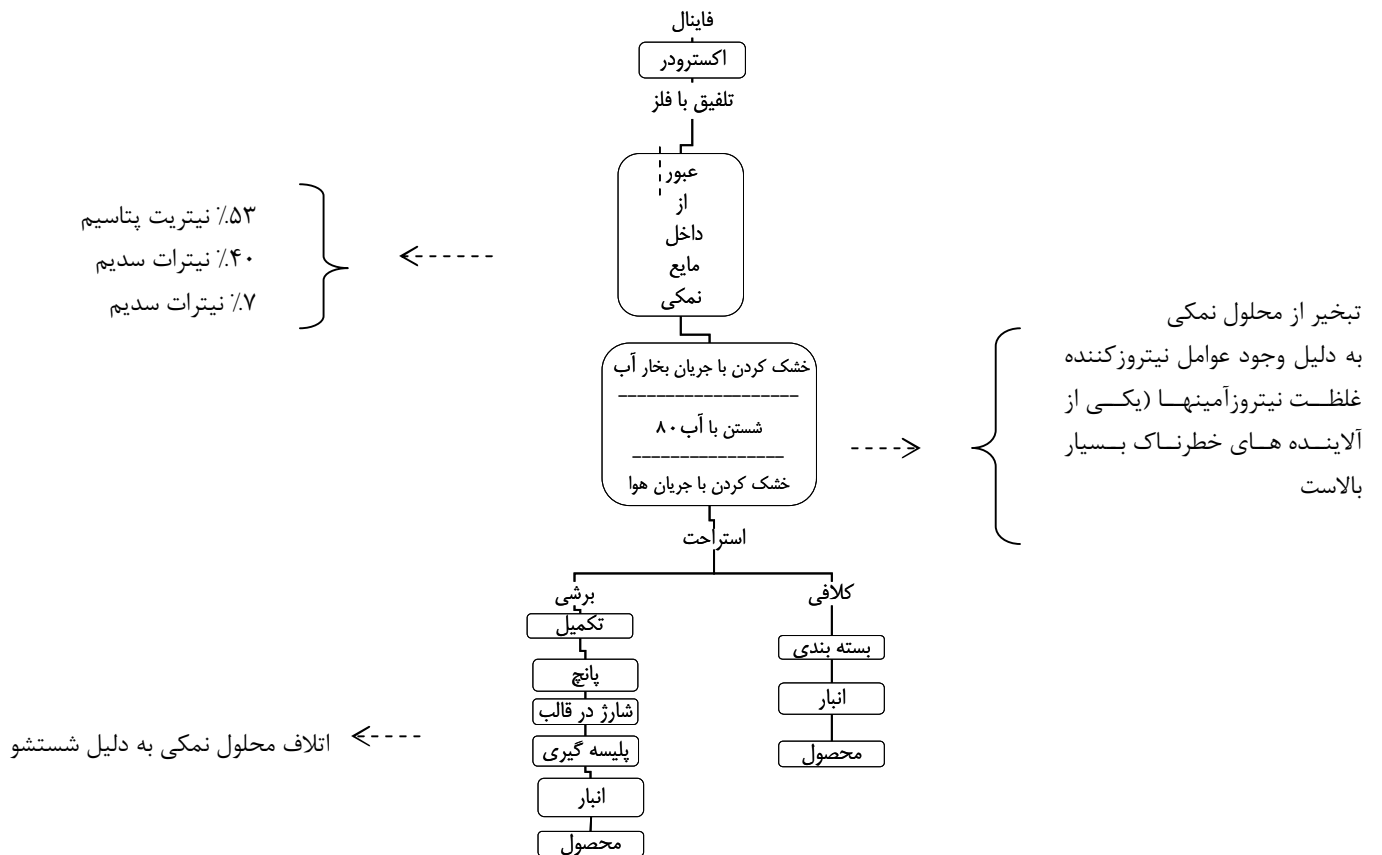
شکل‌های (۴) و (۵) و (۶) به ترتیب فرایندهای پخت LCM و EXT و MRG را نشان می‌دهند



شکل ۶- فرآیند MRG



EXT شکل ۷- فرآیند



LCM شکل ۸- فرآیند

- آلاینده‌های مهم در صنعت لاستیک

گروه‌های شیمیایی مختلفی در صنعت لاستیک مورد بررسی قرار گرفته‌اند موارد زیر از نظر تاثیر بر سلامتی انسان مهمترین آنها هستند.

آمینهای آروماتیک

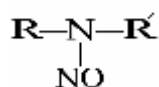
مهمترین آمین آروماتیک موجود در بسیاری از کارخانه‌ها b - فنیل آمین بود. Naphthylamine - Aldol a/b آنتی اکسیدانی است که در دوره زمانی ۱۹۲۷ تا ۱۹۴۹ تولید می‌شد و مخلوط غلیظی از a و b - فنیل آمین بود. در سال ۱۹۸۴ بدلیل سوء ظنی که به این ماده برای تولید سرطان مثانه می‌رفت نسبت آن از ۵۰ درصد a و ۵۰ درصد b - فنیل آمین به ۸۳ درصد a و ۱۷ درصد b - فنیل آمین تغییر کرد. به محض اینکه مسئله مشکلزاد بودن b - فنیل آمین معلوم شد فرآیند تولید a - فنیل آمین در بسیاری از کشورها طوری طرح ریزی شد که درصد خلوص a - فنیل آمین بسیار بالا رفت. اندازه گیری‌های بعدی نشان داد که دیگر b - فنیل آمین در هوای کارخانه‌های لاستیک وجود ندارد. تولید و وارد کردن یا استفاده از b - فنیل آمین، ۴- آمینو دی فنیل و ۴- نیترو دی فنیل که از آمینهای آروماتیک هستند بر اساس قوانین مواد سرطان زا ۱۹۶۷ ممنوع شده است. اندازه گیری‌های بعدی نشان داد که مسئله سرطان زایی آمینهای آروماتیک در صنایع لاستیک دیگر یک مسئله رفع شده است. گرچه تحقیقات اخیر به امکان وجود سرطان زایی غیر مستقیم در آمینهای آروماتیکی اشاره دارد [۳].

هیدروکربنهای آروماتیکی چند حلقه ای (PAH)

PAH ها گروهی از مواد شیمیایی هستند که شامل حلقه‌های بنزنی می‌باشند. این مواد در اثر سوخت ناقص مواد آلی و یا بر اثر پیرولیز و تجزیه حرارتی آنها بوجود می‌آیند. بعضی از PAH ها خاصیت سرطان زایی قوی دارند. شاید مهمترین آنها Benzo[a]pyrene باشد. دو منبع اصلی PAH ها در صنعت لاستیک، روغنهای آروماتیک و کربن بلک (دوده) است. شریف حسینی در سال ۷۵^[۵] تحقیقاتی را جهت ارزیابی پتانسیل تماس کارگران صنایع لاستیک سازی ایران با بنزو آلفاپیرن و سایر PAH های موجود در دوده مصرفی صنایع لاستیک انجام داد و نتایج نشان داد دوده تولیدی کارخانه پارس سوه از این لحاظ بر دوده تولیدی کارخانه اهواز ارجحیت دارد و نیز اینکه بیشترین میزان تماس با PAH ها در بخش اکسترودر و با Benzo[a]pyrene در بخش کیورینگ است و کمترین میزان تماس در بخش کلندرینگ است.

نیتروز آمینها

نیتروز آمینها دارای ساختار کلی نشان داده شده در شکل (۱) هستند.



شکل (۱).

هرگاه R و R' دارای اتمهای a - هیدروژن باشد، نیتروز آمین خاصیت سرطان زایی می یابد. بطور مثال دی متیل نیتروز آمین بر روی حیوانات خاصیت سرطان زایی از خود نشان داده است. مگه و بارنز (Magee & Barnes) اولین بار در سال ۱۹۵۶ سرطان زایی N- نیتروز آمینها را نشان دادند^[۶]. این مواد روی حیوانات و انسانها حتی در غلظتهای پایین تاثیرات سرطان زایی و جهش زایی دارند. امروزه نیازهای محیط زیستی سعی در به حداقل رساندن خطرات موثر بر سلامت انسان در حین کار کردن و مصرف این مواد دارد. تحقیقات OSHA^۶ نشان می دهد که ترکیبات آمین دار که بعنوان افزودنیهای لاستیک در این صنعت کاربرد دارد می توانند به وسیله اکسیدهای نیتروژن، نیتروزه شده و در طی فرآیندهای اختلاط، آسیاب، اکستروژن، قالب گیری، کلندرینگ و پخت تولید گردند و همه تولید کنندگان لاستیک در برخی نقاط فرآیند ساخت، خود نیتروز آمینهای آورده شده در جدول (۱) را که IARC^۷ جزء عوامل سرطان زا طبقه بندی نمود، تولید می نمایند^[۷].

جدول ۱

No	Name
1	N-Nitroso – di – n – butylamine
2	N-Nitroso – di – ethanamine
3	N-Nitroso – di – ethylamine
4	N-Nitroso – di – methylamine
5	N-Nitroso – di – isopropylamine
6	N-Nitroso – di – n – propylamine
7	N-Nitroso – morpholine
8	N-Nitroso – piperidine
9	N-Nitroso – pyrrolidin

– سهم عوامل مختلف در تولید آلاینده های هوا در صنایع لاستیک

واضح است که پیش بینی و رابطه مندسازی روند و نحوه انتشار مواد از آمیزه لاستیکی موضوع چندلن ساده- ای نیست. فرمولاسیون لاستیک، فرمولاسیون ساده ای نیست زیرا هم اجزاء متنوع و متعددی در آن وجود دارد وهم اینکه این اجزاء گاهی خود مخلوط پیچیده ای از مواد دیگر هستند. اما بطور کلی می توان عوامل زیر را در تولید آلاینده ها موثر دانست.

پلیمرهای پایه

در پلیمرهایی که پایه آمیزه لاستیکی را تشکیل می دهند ناخالصی هایی با جرم مولکولی کم وجود دارد که نقش مهمی در بخار حاصل از فرآیند دارند. اینکه چنین گونه هایی به اندازه نسبتاً قابل توجه بتوانند در پلیمر تولید شده باقی بمانند به راندمان مرحله دفع در فرآیند ساخت پلیمر بستگی دارد.

⁶ Occupational Safety and Health Administration

⁷ International Agency for Research on cancer

پخت

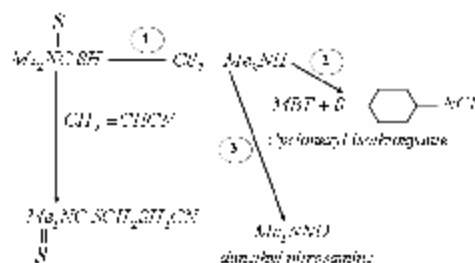
اعمال فشار و دما بر آمیزه لاستیکی سبب ایجاد دود دم در حین پخت می شود. از آنجا که این دود و دم در حین پخت که در واقع یک واکنش شیمیایی است تولید می شود. همه اجزای موجود در این دود و دم وابستگی دمایی، زمانی و فرمولی دارند.

مواد فعال بعد از پخت

در این حالت اجزاء فعالی که بعد از واکنش شیمیایی تشکیل شده‌اند موجب آزاد شدن مواد آلاینده از ملکولهای اصلی می‌شوند.

محصولات جانبی فرار

حین فرآیند پخت، محصولات جانبی نیز ممکن است تولید شود که معمولاً بدلیل تنوع نمی‌توان براحتی رابطه‌ای برای آنان پیدا کرد ولکانیزاسیونهایی که در آنها از تیورامها و تیوکارباماتها استفاده می‌شود می‌توانند آمینها و دی سولفید کربن را بر اساس لاقول دو واکنش شیمیایی که برای آن حدس زده می‌شود، تولید کنند. دما یک عامل اصلی در آزاد شدن همه این محصولات جانبی ولکانیزاسیون است که تاکنون مورد بررسی قرار گرفته‌اند. وجود دامنه‌ای از واکنشها رقابتی در پخت‌های پراکسید و گوگردی، تعداد زیادی مواد شیمیایی را که قادر بر هم کنش هستند در کنار یکدیگر قرار می‌دهد که نقش بسزایی در انتشار آلاینده‌ها دارند. بطور مثال چند واکنش متوالی در معادله‌های ۱ و ۲ در شکل (۲) نشان داده شده است که در واقع محصولات، سه ماده هستند که می‌توانند در شرایط مناسب وارد واکنشهای دیگری شوند. معادله‌های ۱ تا ۳ نشان دهنده اکریلونیتریل، سولفنامیدها یا گونه‌های نیتروز شده‌اند که از چند واکنش حاصل آمده‌اند^[۸]. (شکل ۲) موارد ذکر شده در بالا از مهمترین عوامل بودند اما وقتی چندین واکنشگر در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند امکان برهم کنشهای زیادی وجود دارد. در فرمولاسیون لاستیک انواع مختلفی از شتاب دهنده‌ها و فعال ساز-ها و محافظت کننده‌ها و غیره وجود دارد که رابطه‌مند کردن تاثیرات این مواد را بر نوع و میزان آلودگی کار مشکلی می‌سازد.



شکل ۲

در لیستی از آلاینده‌های شناسایی شده توسط B.R.M.A.⁸ که از تحقیقات آزمایشی حاصل آمده است حدود ۱۵۰ ماده شیمیایی شناسایی شده است. جالب است بدانید آلاینده‌های لاستیکی مورد استفاده ۶۶ نوع ماده اولیه داشته‌اند (که در صنایع لاستیک حدود ۱۵۰ ماده اولیه استفاده می‌شود) و روش آنالیز مورد استفاده قادر به شناسایی همه مواد نبوده است.^[۸]

در بیشتر مواقع لازم نیست شیمی که منجر به تولید این آلاینده‌ها می‌شود چندان واضح باشد. اگر لااقل منبع اصلی این مواد را بدانیم ممکن است چنین جزئیاتی چندان اهمیت نداشته باشد. آنچه در نهایت مسئله اصلی است دانستن فاکتورهای عملیاتی کلیدی این گونه‌هاست. در واقع لازم است موارد زیر مشخص شود:

§ شناسایی منبع

§ تخمین فرمولاسیون و متغیرهایی که روی تولید آن تاثیر دارند.

مواد و روشها

- مکان

گرچه ترکیب آلاینده‌های هوای کارخانجات لاستیک دیگری مثل ایران تایر و لاستیک بارز کرمان نیز مورد بررسی قرار گرفت اما شرکت پارت لاستیک، مورد اصلی مطالعه بود. این شرکت از چندین کارخانه تشکیل شده است که مجموعاً کارخانجات پارت لاستیک نامیده می‌شوند و به تولید قطعات لاستیکی از جمله قطعات مورد نیاز صنایع اتومبیل سازی، کارخانجات قند، مس سرچشمه، فولاد مبارکه و رآهن و کارخانجات واگن سازی پارس می‌پردازد. نمونه گیری از سه کارخانه بسیار سازه و پویا گستر و پارت لاستیک (کارخانه مادر) صورت گرفت. این کارخانجات همگی در شهرستان مشهد واقع هستند.

- زمان و تعداد نمونه گیری

نمونه‌ها در سه نوبت در فصل‌های تابستان، زمستان و بهار و از ۲۸ نقطه گرفته شد. این نقاط طوری انتخاب شده بودند که وضعیت تولید آلاینده‌ها را قسمت‌های مختلف فرآیند (تهیه آمیزه اولیه، پخت با حمام نمک، اکستروژن و پخت در قالب) مشخص نمایند و نمونه گیری در فصل‌های مختلف امکان پیش بینی تاثیرات آب و هوایی را بر میزان آلاینده‌ها فراهم می‌کرد.

- روش نمونه گیری

نمونه برداری در دو فاز ۱- ذرات گرد و غبار^۹ و ۲- دود و دم^{۱۰} حاصل از فرآیند صورت گرفت به این منظور از یک پمپ نمونه‌گیری فردی^{۱۱} با دبی $3 \frac{lit}{min}$ برای ذرات و $0.75 \frac{lit}{min}$ برای دود و دم استفاده شد. گرد و غبار روی فیلترهای فایبرگلاس ۲۵ میلیمتری و دود و دم روی جاذب چادکل جمع آوری گردید. از یک سری دتکتور تیوب نیز برای مشخص کردن موردی برخی آلاینده‌ها استفاده شد. حین نمونه‌گیری شرایط دما و فشار، رطوبت و نقطه شبنم هوا نیز اندازه‌گیری شد.

⁸ British Rubber Manufacture Administration

⁹ Dust

¹⁰ Fume

¹¹ Low Volume Sampler

- روشهای آنالیز

نمونه‌های جمع آوری شده در دمای صفر درجه سانتی گراد نگهداری و سپس به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه با استفاده از GC mass نمونه‌ها آنالیز شده و بصورت نیمه کمی مقادیر مشخص شدند. امکان شناسایی دقیق نیتروز آمینها و برخی از گونه‌ها با استفاده از این روش وجود نداشت اما بهترین گزینه موجود برای شناسایی طیف گسترده آلاینده‌های موجود همین روش بود.

نتایج

بر اساس مطالعات انجام شده و نتایج حاصل از آنالیزها می‌توان بطور کلی گفت که تماس با ذرات معلق بیشتر در ابتدای فرآیند تولید در حین کار با مواد خام، توزین و اختلاط وجود دارد و در مراحل بعدی کاهش می‌یابد. بیشترین انحراف از حد مجاز در کارخانه بسیار سازه (تهیه آمیزه اولیه لاستیک) در سالن اصلی تولید و در بالای میکسر است. در این قسمت مواد اولیه یعنی کائوچو، کربن بلک مواد پخت و مواد زیر طبق فرمول مشخصی که برای هر آمیزه متفاوت است جهت اختلاط داخل میکس ریخته می‌شود. در انبار و اتاق توزین مواد میزان گرد و غبار بیش از حد مجاز است که دلیل آن کار با مواد پودری شکل و توزین و جابجایی آنهاست.

گازها و بخارات بیشتر در حین بالا رفتن دما در عمل پخت متصاعد می‌شوند و در نتیجه در قسمتهای EXT (Extruder)، MRG^{۱۲} و LCM^{۱۳} غلظتهای بالایی از آلاینده‌هایی که بصورت گاز و بخار هستند مواجه می‌شویم. برای مقایسه با هم نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های ۴ نقطه مورد بررسی قرار گرفت. این چهار نقطه عبارت بودند از:

۱- سالن اصلی تولید، غلتک ۱ - بسیار سازه

۲- خط LCM - پویا گستر

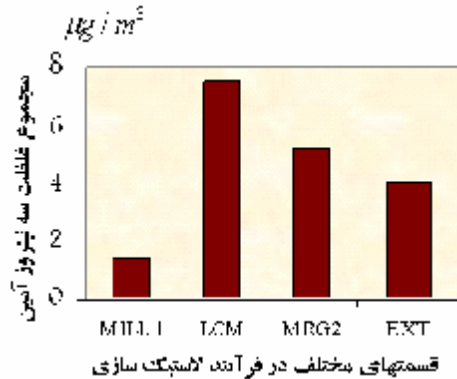
۳- سالن MRG - پارت لاستیک

۴- سالن EXT - پارت لاستیک

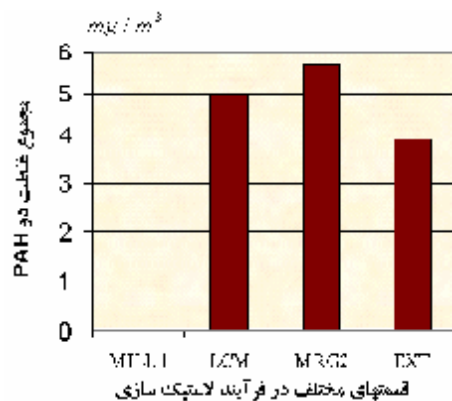
نقطه ۱، دود و دم متصاعد شده از آمیزه را در ابتدای فرآیند نشان می‌دهد. در این مرحله مواد اولیه به جز مواد پخت با یکدیگر مخلوط می‌شوند و آمیزه تا حدود ۵۰ تا ۶۰ درجه گرم می‌شود. عمل پخت روی نمی‌دهد و در مقایسه با سه مورد دیگر غلظت آلاینده‌ها در حد پایینی است. سه جاذب دیگر وضعیت آلاینده‌ها را در سه فرآیند مختلف نشان می‌دهد. در این فرآیندها دما در حدود ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد است. در نقاط ۳ و ۴، پخت با حرارت غیر مستقیم بخار آب در داخل قالبها، اکترودر و یا اتوکلاو انجام می‌شود. اما در مورد ۲، مخلوط مذاب نمکهای نیترات گرمای لازم جهت پخت را فراهم می‌کنند. شکل‌های (۳) و (۴) این فرآیندها را از لحاظ انتشار میزان نیتروز آمینها و PAH ها مقایسه می‌کند

¹² Mould rubber Goods

¹³ Liquid Curing Method



شکل ۳- مقایسه غلظت نیتروز آمینها



شکل ۴- مقایسه غلظت PAH ها

تفسیر نتایج

نیتروز آمینها از واکنش آمینهای نوع اول و دوم با عوامل نیتروز کننده به صورت یک واکنش جانبی تولید و در هوا منشر می‌شوند. در سینتیک واکنش تشکیل نیتروز آمینها از آنجا که دو عامل اصلی شرکت کننده در واکنش شرایط متضاد دمایی را جهت موثر عمل کردن نیاز دارند یک حد دمایی وجود دارد. بر این اساس غلظت این آلاینده‌ها در غلتک ۱ واقع در سالن اصلی تولید بسیار سازه پایین‌تر از سایر موارد است چون این دمای ایتیمم فراهم نشده است. در فرایند حمام نمک LCM از محلول نمکهای نیترات مذاب برای عمل پخت استفاده می‌شود، این نمکها دارای عوامل نیتروز کننده هستند و در نتیجه غلظت نیتروز آمینها در این فرآیند در سطح بالاتری نسبت به سایر فرآیندها قرار دارد.

منبع اصلی هیدروکربنهای آروماتیکی کربن بلک، روغنهای فرآیندی هستند^[۹] اما قدرت جذب کربن بلک معمولاً بیشتر از آن است که براحتی اجازه جداشتن PAH ها از سطح خود بدهد. PAH ها نیز اصولاً سنگین‌تر از آن هستند که از داخل روغنهای فرآیندی تبخیر شوند. در تولید این آلاینده‌ها فرمول شیمیایی، دمای فرآیند، نوع و گرید سازنده کربن بلک نقش موثری دارند، بنابراین ضمن اینکه نمی‌توان نتیجه‌گیری کلی نمود اما احتمالاً تغییرات کنترل نشده دما در MRG باعث بالاتر بودن غلظت این آلاینده‌ها در این قسمت فرآیند است.

پیشنهاد روشهایی برای کنترل آلودگی

از آنجا که PAHها و نیتروزآمینها و گرد و غبار اصلی ترین آلاینده های هوای محیط داخلی صنایع لاستیک شناخته شد، مطالعاتی نیز در زمینه روشهای کنترل و پیشگیری یا حذف آنها انجام شد. در نهایت موارد زیر جهت کنترل این آلاینده ها پیشنهاد می شود.

- کنترل گرد و غبار

۱. کارآمد کردن سیستم تهویه، ایزوله کردن مناطق پر گرد و غبار از سایر مناطق و استفاده از ماسکهای مناسب،
۲. استفاده از شکل غیر پودری مواد اولیه تا حد امکان،
۳. اتوماتیک کردن خوراک دهی به میکسر جهت اجتناب از تولید گرد و غبار

- PAHها

۱. استفاده از دوده با گرید و روش ساخت مناسب. از این لحاظ کارخانه دوده سازی اهواز ارجحیت دارد.
۲. استفاده از روغنهای فرآیندی مناسب

- نیتروزآمینها

۱. **حذف یا کاهش آمینهای نوع دوم:** آمینهایی که در کامپاندهای لاستیکی تولید نیتروزآمین می کنند عموماً از شتابدهنده ها و سرفلوردهنده ها هستند و می توان آنها را با آلترناتیوهای بدون آمین جایگزین کرد. تحقیقاتی در این زمینه توسط محققین صورت گرفته است^{[۱۰]، [۱۱]}. بطور مثال تارسو (Tarso) در سال ۱۹۹۶ تحقیقاتی را جهت جایگزینی دی اتیل تیوکاربالت انجام داد. نتایج نشان داد که ترکیب شتاب دهنده های مرکابتوبنزوتیازول روی - دی فنیل گوانیدین می تواند جایگزین مناسبی باشد.
۲. **عدم استفاده از حمام نمک:** وجود نمکهای نیتريت و نیترات در این فرآیند، عامل بالقوه ای برای تولید غلظتهای بالای نیتروز آمین است.
۳. **تغییر فرآیند:** گاهی فرآیندهایی جایگزین دیگری مثل ولکانیزاسیون تشعشعی پیشنهاد می شود. چنین فرآیندی از سال ۱۹۶۰ مورد بررسی قرار گرفته است. در این روش هیچگونه نیتروز آمینی در حین فرآیند تولید نمی شود^{[۱۲]، [۱۳]}.
۴. **اجتناب از ایجاد شرایط مطلوب برای واکنش نیتروزاسیون:** با کنترل فرآیند از لحاظ دما و سرعت پخت یا استفاده از بازدارنده هایی که پیشنهاد شده است^[۱۴] می توان مانع تشکیل این ماده شد.

در نهایت مشاهده می شود که تمام روشهای پیشنهاد شده روشهای پیشگرا نه هستند و اصولاً حذف آلاینده های هوا در این صنعت از طرق دیگر امکان پذیر یا مقرون به صرفه نیست.

منابع و مراجع

1. R.Vermeulen, R.P.Bos, Mutagenic profile of rubber dust and fume exposure in two rubber tire companies, Mutation Research 468(2000), pp165-171.
2. Silvano Monarca, Donatella Feretti, Monitoring airborne genotoxicants, Radial Phys. Chem. Vol. 46, pp. 779 – 982, 1995.
3. R. Vermeulene, R.P. Bos, H. Kromhut, Mutagenic exposure in the rubber manufacturing industry, Mutation Research 490, pp. 27-34, 2001.
4. Oury B.Limasset, J.C, Protois, J.C., Assessment of exposure to carcinogenic N-Nitrosamines in the rubber industry. Int. Arch. Occup. Environ. Health, Vol. 70, pp. 261 – 271, 1997.
۵. محمد شریف حسینی، استخراج و اندازه گیری بنزو آلفا پیرن موجود در کربن بلک مصرفی و هوای تنفسی کارگران شاغل در یکی از کارخانجات صنعتی لاستیک سازی، دانشگاه تربیت مدرس - دانشکده علوم پزشکی - پاییز ۷۵.
6. Magee, P.N., Barnes, J., Cancer J. 10, pp. 114.
7. OshA hazard information bulletins N—Nitrosamine in the rubber industry. www.osha.gov.
8. Willoughby, Bryan, Rubber fume, The Rapra Technology LTD.
9. The members of the B.R.M.A, Toxicity and safe handling of rubber chemical, B.R.M.A, pp. 113 – 123, 1990.
10. Travas - serjdic, G., Jelencic, J., Charactrization of the natural rubber vulcanizates obtained by different accelerator, Eur. Polymer Journal, Vol. 32, pp. 1395 – 1401, 1996.
11. Keith Scott and Bryan Willoughby, Nitrosamine control at source, Rapra Technology limited Conference, 28th – 29th September, 1999.
12. Makuuchi, K., Markovic, V., Radiation processing of natural rubber latex, IAEA, Bulletin Vol. 33, pp. 25 – 28, 1991.
13. Makuuchi, K. Yoshi, F., Radiation vulcanization of NR latex with low energy electron beams, Radiat. Phyc. Chem., Vol. 46, pp. 979 – 982, 1995.
14. Dwight, W.Chaser, Factor affecting Nitrosamine Formation destroys rubber vulcanization, presented at a meeting of the rubber division, America Society, Orland Florida.