

کاغذ یک کالای استراتژیک بوده و نقش حیاتی در توسعه فرهنگی به عهده دارد. این فرآورده هنوز نیز در فرآیند ارتباطات نقش کلیدی داشته و در آینده نیز همچنان از جایگاه مهمی برخوردار خواهد بود. فرآورده‌های کاغذی به صورت های بسیار گوناگونی ساخته می‌شوند و این تنوع به کاغذ امکان می‌دهد رقابت پذیری خود را در مقایسه با سایر فرآورده‌های مشابه حفظ نموده و از این طریق بتواند به تقاضاهای روز افزون در رابطه با کاربرد وسیع خود پاسخ مناسب بدهد.

آمارهای موجود در دنیا حاکی از افزایش مصرف کاغذ به‌ویژه کاغذهای چاپ روزنامه و مجله می‌باشند. عوامل چندی بر این افزایش مصرف مرتبط هستند که از آن جمله می‌توان به گسترش روزافزون جمعیت و توسعه فرهنگی جوامع اشاره نمود. مصرف سرانه کاغذ در هر جامعه به عنوان شاخصی از رشد و توسعه فرهنگی آن جامعه در نظر گرفته می‌شود. لذا دیده می‌شود در شرایطی که هر دو عامل افزایش جمعیت و توسعه فرهنگی به صورت توأم تاثیر بگذارند، رشد مصرف سرانه کاغذ نیز به صورت تصاعدی خواهد بود. کشور ما نیز از این قاعده مستثنی نبوده و در سال‌های اخیر، افزایش مصرف کاغذ به‌ویژه کاغذهای روزنامه و مجله از نرخ رشد بالایی برخوردار بوده است.

در سال‌های اخیر به دلیل کاهش منابع چوبی، افزایش تقاضا برای محصولات کاغذی، افزایش نگرانی‌های زیست محیطی ناشی از تولید کاغذهای بکر و حجم بالای کاغذ موجود در زباله‌های شهری، ضرورت امر بازیافت منابع کاغذ موجود بیش از پیش احساس می‌شود. یکی از مراحل مهم در فرآیند بازیافت کاغذ و استفاده مجدد از آن، مرکب‌زدایی است. در سال‌های اخیر توجه محققین در سطح بین‌المللی به سوی

بهینه‌سازی و یافتن راه‌های جدید در زمینه زدودن آلاینده‌ها به‌ویژه مرکب از کاغذهای باطله معطوف شده است. طبق آمارهای موجود در سال ۱۹۹۸ میلادی، ۲۲ درصد از کل کاغذ حاوی مرکب توسط کارخانجات تولید کننده کاغذهای روزنامه و چاپ و تحریر بازیافت شده، در صورتی که این مقدار در سال ۲۰۰۱ به ۳۱ درصد افزایش یافته است. سهولت و یا سختی زدودن مرکب در ابتدا به نوع مرکب، فرآیند چاپ و نوع الیاف بستگی دارد. برخی از انواع کاغذ مانند روزنامه‌های چاپ شده با مرکب‌های از جنس روغن نسبتاً به آسانی با فرآیندهای متداول شیمیایی مرکب‌زدایی می‌شوند. اما کاغذهای چاپ‌شده به روش غیر تماسی به سختی مرکب‌زدایی می‌شوند و این در حالی است که مقدار چنین کاغذهایی نسبت به حجم کل کاغذ بازیافت شده پیوسته در حال افزایش است.

جهت پاسخگویی به مصرف داخلی کاغذ به‌ویژه کاغذهای روزنامه و مجله در سال‌های اخیر علاوه بر تولید داخلی، این فرآورده‌ها عمدتاً از طریق افزایش واردات تامین شده‌اند. به دلیل ارزبری واردات کاغذ، تلاش بر این بوده است که تا حد امکان از طریق افزایش تولید داخلی نسبت به تامین کمبودها اقدام شود.

در حال حاضر علی‌رغم اقدامات مختلف برای توسعه کشت و پرورش گونه‌های مناسب تندرشد از جمله صنوبر برای تامین ماده اولیه مورد نیاز، باز هم کمبود مواد اولیه سلولزی مناسب به عنوان یک مشکل عمده در صنایع چوب و کاغذ محسوب می‌شود. به دلیل محدودیت سطح جنگل‌های شمال کشور و افزایش روند تخریبی آنها طی سال‌های اخیر، تامین تمامی مواد اولیه مورد نیاز از این جنگل‌ها امکان‌پذیر نیست و بنابراین ضرورت دارد راه‌حل‌های مختلف جهت جبران این کمبود بررسی شده و در صورتی که از نظر فنی و اقتصادی مناسب باشند، مورد استفاده قرار گیرند.

یکی از روش‌های تامین مواد اولیه سلولزی مناسب برای صنایع کاغذسازی، که طی سالیان اخیر در سطح جهانی مورد توجه جدی قرار گرفته است، بازیافت کاغذهای باطله^۱ می‌باشد. در نیمه دوم قرن بیستم در بسیاری از کشورهای دنیا به دلایل مختلف از جمله محدودیت منابع سلولزی، مصرف روزافزون فرآورده‌های کاغذی، مشکلات زیست محیطی، هزینه بالا و روزافزون تولید کاغذ و مقوا از مواد خام سلولزی، هزینه بالای انرژی و غیره، استفاده از فناوری بازیافت به صورت بسیار جدی مورد توجه قرار گرفته است و در آستانه قرن بیست و یکم، توسعه استفاده از الیاف بازیافتی به عنوان ماده اولیه سلولزی در صنعت کاغذسازی، قادر است بخش قابل ملاحظه‌ای از کمبودهای مواد خام سلولزی در این صنعت را به صورت رضایت بخشی جبران نماید.

جایگاه بازیافت کاغذ در صنعت کاغذسازی

امروزه کاغذ و محصولات کاغذی نقش مهمی در زندگی روزمره ایفا می‌کنند. سالانه حدود ۳۶۵ میلیون تن محصولات کاغذی تولید و مصرف می‌شوند. این محصولات به شکل‌های بسیار گوناگونی عرضه می‌شوند و این تنوع به کاغذ این امکان را می‌دهد تا رقابت‌پذیری خود را در مقایسه با سایر فرآورده‌های مشابه حفظ کند. آمارهای جهانی از افزایش روزافزون مصرف کاغذ حکایت دارد. عوامل زیادی در افزایش مصرف کاغذ نقش دارند که از آن جمله می‌توان به گسترش روز افزون جمعیت و توسعه فرهنگی جوامع اشاره نمود.

هم‌اکنون برای تهیه ماده اولیه مورد نیاز برای تامین مصرف جهانی کاغذ، سالانه به حدود ۷۸۶ میلیون اصله درخت نیاز می‌باشد و صنعت کاغذ برای تامین این مقدار ماده اولیه با چالش روبرو است، این در حالی

¹ Waste Paper Recycling

است که کاغذ و محصولات کاغذی بیشترین سهم را در زباله‌های دفن شده یعنی حدود ۳۸ درصد از این مواد را تشکیل می‌دهد.

کاغذ باطله یک کالای جهانی است و ماده خام حیاتی برای تولید کاغذ و مقوا به‌شمار می‌آید. آن گونه که عده زیادی معتقدند بازیافت کاغذ باطله فعالیت جدیدی نبوده، بلکه فعالیتی رو به گسترش است. در گذشته، کاغذ باطله را صرفاً به دلایل اقتصادی مورد استفاده قرار می‌دادند، اما به تدریج تاثیرهای سیاسی و زیست محیطی نیز اهمیت یافته‌اند. بازیافت کاغذ علاوه بر کاهش حجم مواد ورودی به زمین‌های دفن زباله و تامین ماده اولیه مورد نیاز برای تولید بخشی از تقاضای رو به ازدیاد جهانی محصولات کاغذی، مزایای دیگری را نیز دارا می‌باشد.

استفاده از کاغذهای بازیافتی برای تولید کاغذ نسبت به الیاف بکر موجب صرفه‌جویی ۵۵ درصدی منابع آب و ۷۰ درصدی مصرف انرژی می‌شود. کاهش ۷۴ درصدی در میزان انتشار آلاینده‌های هوا نسبت به ارسال کاغذ به زمین‌های دفن زباله و یا سوزاندن آن نیز از مزایای دیگر بازیافت است. در مجموع بازیافت موجب کاهش هزینه‌ها و در عین حال کاهش انتشار آلاینده‌ها می‌شود. بازیافت موجب کاهش بهره‌برداری از درختان شده و در عین حال باعث اشتغال‌زایی بیشتری نسبت به حالتی می‌شود که خمیر مستقیماً حاصل از چوب تهیه می‌شود.

طبق آمار ارائه شده توسط اداره محیط زیست ایالات متحده جایگزینی ۲۵ درصد از ماده اولیه کارخانجات تولید کاغذ روزنامه با الیاف بازیافتی موجب کاهش ۱۰ درصدی در مصرف انرژی، کاهش ۱۴

درصدی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و ۱۳ درصد کاهش در انتشار مواد زائد جامد می‌شود. تمام عوامل زیست‌محیطی و اقتصادی فوق‌موجب تغییر گرایش جهانی به سوی بازیافت محصولات کاغذی شده است.

در کشور ما نیز ضرورت استفاده از فناوری بازیافت به‌عنوان یکی از روش‌های مناسب تامین مواد اولیه سلولزی احساس می‌شود. گسترش این صنعت در کشور علاوه بر کاهش مقدار ارز خروجی از کشور جهت تامین کاغذ و محصولات کاغذی مورد نیاز داخلی می‌تواند موجب اشتغال‌زایی گسترده و کند نمودن روند بهره‌برداری از جنگل‌های طبیعی توسط مجتمع‌های بزرگ خمیر و کاغذ و پویایی و تحرک مطلوب در صنایع خمیر و کاغذ کشور گردد.

مرکب‌زدایی^۱ به‌عنوان یک مرحله تکمیلی در فناوری بازیافت کاغذهای باطله محسوب شده و طی آن با حذف مرکب‌های چاپ و سایر مواد موجود در کاغذهای باطله مثل چسب‌ها، عوامل اتصال دهنده، پلاستیک‌ها و غیره، که در این مرحله به‌عنوان مواد آلاینده^۲ تلقی می‌شوند، الیاف سلولزی بازیافتی به صورت نسبتاً خالص و عاری از مواد مزاحم برای استفاده مجدد در ساخت کاغذ به‌دست می‌آیند. در واقع می‌توان گفت که توسعه و بهبود روش‌های مرکب‌زدایی یکی از عوامل مهم افزایش مصرف کاغذهای بازیافتی در سطح دنیا بوده است.

در مجموع با توجه به مشکلات موجود در رابطه با تامین مواد اولیه سلولزی مناسب برای صنایع چوب و کاغذ در سطح کشور، بررسی امکان استفاده از فرآیند بازیافت و مرکب‌زدایی کاغذهای باطله بسیار ضروری و مهم است.

¹ Deinking

² Contaminants

مزایا و محدودیت‌های استفاده از الیاف بازیافتی

به‌طور کلی استفاده از الیاف بازیافتی برای تولید کاغذ از جمله کاغذ روزنامه مزایای زیادی دارد که به‌طور خلاصه می‌توان آنها را به شرح زیر بر شمرد.

✓ صرفه‌جویی در مصرف چوب برای تولید کاغذ و جلوگیری از قطع بی‌رویه جنگل‌ها به‌ویژه جنگل‌های ارزشمند شمال کشور.

✓ صرفه‌جویی در هزینه‌های ارزی برای واردات کاغذ.

✓ صرفه‌جویی در مصرف انرژی و مواد شیمیایی برای تولید خمیر کاغذ.

✓ کاهش هزینه‌های تمام شده تولید.

✓ بهبود ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای حاصل در صورت استفاده از کاغذ درجه بالاتر به‌عنوان کاغذ باطله برای تولید کاغذ درجه پایین‌تر، به‌عنوان مثال استفاده از کاغذ مجله باطله برای تولید کاغذ روزنامه.

✓ کاهش خطر آلودگی‌های زیست محیطی در محیط زندگی از طریق جلوگیری از ورود کاغذهای باطله به چرخه زباله و دفع آن در محیط زیست.

✓ کاهش آلودگی‌های زیست محیطی تولید کاغذ از طریق کم کردن مصرف مواد شیمیایی.

✓ کاهش حجم و وزن زباله شهری.

✓ کاهش نیاز به زمین و امکانات جمع‌آوری و حمل و دفع زباله.

از طرف دیگر، تفاوت‌های موجود بین الیاف خمیر بازیافتی و خمیر بکر موجب محدود شدن مصرف

الیاف خمیر بازیافتی به‌صورت خالص یا مخلوط با خمیر بکر می‌شود. از جنبه تئوری، فرآوری کاغذهای باطله

بایستی منجر به تهیه خمیر بازیافتی شده‌ای شود که با استفاده از آن بتوان همان درجه کاغذ اولیه را ساخت. به

عنوان مثال با استفاده از DIP حاصل از کاغذ روزنامه باطله بایستی بتوان مجدداً کاغذ روزنامه ساخت، ولی بنا به دلایل مختلف این اصل تئوری کاملاً قابل پیاده شدن نیست. اغلب اوقات استفاده از خمیر بازیافتی بایستی محدود به ساخت کاغذی با درجه پایین تر شود. این به معنای کم شدن درجه کاغذ باطله است که دلایل آن نیز به شرح زیر می باشند:

✓ کیفیت الیاف یا حذف مواد آلاینده در فرآیند بازیافت در حدی نیست که اجازه استفاده مجدد از خمیر بازیافتی برای تولید کاغذ اولیه را بدهد.

✓ اگر کاغذ باطله مصرفی مخلوطی از انواع مختلف کاغذهای چاپ شده باشد، وجود الیاف با کیفیت کمتر در مخلوط کاغذها موجب محدودیت استفاده نهایی از خمیر بازیافتی می شود. در چنین موردی کاغذهای باطله با درجه برتر نیز تنزل درجه پیدا می کنند.

✓ کاغذ باطله درجه برتر را می توان برای تولید کاغذی با درجه کمتر مصرف نمود تا کمبودهای ناشی از سایر اجزای خمیر جبران شود. به عنوان مثال تولیدکنندگان کاغذ روزنامه بر پایه DIP، اغلب از مقادیر مشخصی کاغذ مجله باطله نیز استفاده می کنند تا کارایی مرکب زدایی و نیز درجه شفافیت خمیر حاصل بهبود پیدا کند.

در مجموع استفاده از درجات مختلف اختلاط خمیر DIP سفید شده حاصل از کاغذهای مجله باطله با خمیر بکر حاصل از مواد خام سلولزی می تواند روش مناسبی برای تولید کاغذ روزنامه باشد. تجربه جهانی نیز نشان داده است که بازیافت کاغذ مجله باطله و استفاده از DIP حاصل به صورت مخلوط با خمیر بکر حاصل از مواد خام سلولزی (به عنوان مثال خمیر مکانیکی پربازده حاصل از چوب) برای تولید کاغذ از نظر

فنی، اقتصادی، زیست محیطی و مصرف انرژی توجیه‌پذیر بوده و کارخانه‌های زیادی در دنیا بر این اساس مشغول تولید می‌باشند.

انواع کاغذهای باطله

اغلب بنگاه‌ها و شرکت‌ها کاغذهای باطله را بسته به کیفیت و میزان آلودگی‌شان به چند دسته تقسیم می‌کنند. البته این کار بسیار ضروری است زیرا هر نوع کاغذ باطله را صرفاً می‌توان به فرآورده یا فرآورده‌های خاصی تبدیل نمود. بالغ بر ۵۰ نوع مختلف از کاغذهای باطله به‌طور معمول شناسایی و جمع‌آوری می‌شوند با این وجود برای تسهیل در گزارشات و نگهداری آمار در بخش تجارت این ۵۰ نوع به ۵ نوع عمده دسته‌بندی می‌شوند که عبارتند از:

جایگزین‌های خمیر^۱

این دسته شامل کاغذهای دارای کیفیت بالا، تمیز و چاپ نشده به‌دست آمده از کارخانه‌های تبدیلی از قبیل بسته‌بندی و تولید پاکت‌های کاغذی و برش‌کاری در بخش‌های مختلف تبدیلی است. این دسته از سال‌های گذشته تا حدود ۹۰ درصد بازیافت می‌شده و از آنها کاغذهای ظریف ساخته می‌شود.

¹ Pulp Substitutes

کاغذهای مرکب‌زدایی شده با کیفیت^۱

این بخش شامل کاغذهای تمیز، کمی چاپ‌شده و کاغذهای رنگی از قبیل پوشش‌های رنگی، کاغذ دفاتر رسمی، خمیر کاغذ کتاب و کاغذهای چاپ‌شده با چاپگرهای لیزری و دستگاه‌های فتوکپی است. در سال ۱۹۹۰، ۹/۲ میلیون تن از کاغذهای مرکب‌زدایی شده خوب در ایالت متحده بازیافت و صادر شده‌اند. این مقدار بیانگر حدود ۴۰ درصد از منابع در دسترس این دسته است و این دسته از کاغذهای باطله حاوی الیاف با کیفیتی است که با تکنولوژی جدید در زمینه مرکب و فرآیندهای چاپ آلوده شده‌اند. چاپ لیزری نمونه جدید خوبی است و تکنولوژی چاپ و مرکب در آینده به ایجاد و گسترش مواد خام در این بخش از بازار با سرعت زیادی ادامه خواهد داشت. این نوع از مواد خام با تکنولوژی‌های پیشرفته‌تری نسبت به روش‌های رایج امروزی برای مرکب‌زدایی نیازمندند و در حال حاضر نیروی پیش‌برنده‌ای برای بهبود تکنولوژی مرکب‌زدایی می‌باشند.

مقوای کنگره‌ای کهنه^۲

این دسته کاغذهای باطله‌ای هستند که از جعبه‌های کنگره‌ای (کارتن‌های) جمع‌آوری شده از خرده‌فروشی‌ها، تجارت‌خانه‌ها و مصارف صنعتی و برخی از مصرف‌کنندگان به دست می‌آیند. این دسته ترکیبی از حدود ۶۰-۸۰ درصد خمیر رنگ‌بری نشده سوزنی‌برگ الیاف بلند و ۲۰ تا ۴۰ درصد مقوای موج‌دانسیده متوسط بازده بالای دارای الیاف کوتاه است و اغلب دارای مقادیر بالای الیاف بازیافتی می‌باشد. این دسته منبع بزرگی از الیاف محکم است و در حال حاضر با نسبت‌های بالای ۵۰ درصد بازیافت می‌شود.

^۱ High- Grade Deinked Papers

^۲ Old carogated Containeres

روزنامه‌های باطله^۱

این دسته بالغ بر ۱۵ میلیون تن الیاف باطله در هر سال در ایالات متحده را شامل می‌شود. ۱۵ درصد از روزنامه‌های بازیافت‌شده مجدداً به کاغذ روزنامه تبدیل می‌شود و حدود ۱۰ درصد مقادیر باقی‌مانده در جعبه‌های مقوایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ترکیب به تنهایی حدود ۵/۵ درصد از فضای زمین‌های دفن زباله را اشغال می‌کند و بنابراین بخش عمده‌ای از تلاش شهرداری‌ها به بازیافت این دسته اختصاص دارد.

کاغذهای مخلوط^۲

کاغذهای مخلوط یک دسته وسیع را شامل می‌شود که عبارت است از کاغذهای گوناگون چاپ‌شده و غیره می‌باشد. این دسته در سطوح کم بازیافت می‌شود. کاغذهای مخلوط منبع بزرگی از الیاف هستند که پتانسیل‌های خوبی را برای بازیافت دارا می‌باشد، اما استفاده از آن نیازمند تکنولوژی جداسازی پیشرفته و یا تفکیک از مبدا است که در حال حاضر در دسترس نبوده و یا از نظر اقتصادی امکان‌پذیر نمی‌باشد. معمولاً این دسته اغلب در طبقه کاغذهای ساختمانی و در لایه داخلی مقوهای چند لایه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کاغذهای مجله باطله^۳

برای چاپ مجلات، کاتالوگ‌ها و انواع مختلف موارد تبلیغاتی از انواع کاغذهای اندودشده و نشده عمدتاً از کاغذهای نوع SC و LWC حاوی خمیر مکانیکی و کاغذهای روزنامه بهبود یافته استفاده می‌شود.

¹ Old Newspapers

² Mixed Papers

³ Old Magazines

برای چاپ کاغذهای مجله از روش‌های چاپ روتوگراور و افست استفاده می‌گردد. معمولاً مرکب‌زدایی کاغذهای اندود شده نسبت به کاغذهای اندود نشده مشکلات کمتری دارد. در کاغذهای اندود شده، مرکب همراه با ذرات ماده اندود از الیاف کاغذ جدا می‌شوند. در مقابل، قابلیت مرکب‌زدایی کاغذهای اندود نشده تحت تاثیر میزان جذب مرکب درون کاغذ تا حدی کم و زیاد خواهد شد. نتایج بررسی‌های انجام‌شده روی مرکب‌زدایی کاغذهای مجله اندود شده و نشده نشان داد که قابلیت مرکب‌زدایی کاغذهای اندود شده بیش‌تر از کاغذهای اندود نشده می‌باشد. نوع خمیر نیز بر قابلیت مرکب‌زدایی کاغذهای اندود شده و نشده موثر است.

مرکب‌زدایی

صنایع کاغذ و بازیافت از ۵۰ سال پیش با فن مرکب‌زدایی آشناست، و هر روزه بر اهمیت آن به‌عنوان یک فرآیند صنعتی افزوده می‌شود. امروزه در سطح جهان، بیش از ۱۱ میلیون تن الیاف توسط ۴۰۰ کارخانه بازیافت مرکب‌زدایی می‌شود.

مرکب‌زدایی، همان‌گونه که از نام آن پیداست، فرآیند زدودن و خارج کردن مرکب از کاغذ چاپ‌شده است. مرکب‌زدایی مهم‌ترین مرحله برای استفاده مجدد از کاغذهای بازیافتی به‌عنوان ماده اولیه‌ای برای تولید کاغذهایی از قبیل کاغذ چاپ و تحریر، کاغذ روزنامه و مجله، کاغذهای بهداشتی و یا لایه رویی مقوای چندلایه^۱ با صفحه رویی سفید محسوب می‌شود. در اثر مرکب‌زدایی از کاغذهای باطله و الیاف بازیافتی

¹ Chipboard

محصولی با کیفیت مطلوب به دست می‌آید که از سفیدی، میزان شفافیت و ویژگی‌های مقاومتی خوبی برخوردار است.

معمولاً مرکب‌ها حاوی رنگ‌دانه‌های غیرقطبی، حامل‌ها و تسهیل‌کننده‌های اتصال آنها به کاغذ هستند. این عوامل معمولاً شامل روغن‌های نامحلول در آب و یا پلیمرها (مثل مرکب‌های تونر) هستند، بنابراین زدودن آنها فرآیند ساده‌ای نیست. شستشو و شناورسازی دو روش بسیار متداول مرکب‌زدایی هستند، سایر روش‌ها مانند رنگ‌زدایی گرمایی، پرتوافکنی، مرکب‌زدایی بر پایه حلال‌های آلی و مرکب‌زدایی مغناطیسی هنوز در مرحله آزمایشگاهی قرار دارند.

زدودن مرکب از کاغذ باطله طی فرآیند مرکب‌زدایی در مراحل مشخصی انجام می‌شود. مهم‌ترین مرحله، جداسازی مرکب از الیاف است، پراکنده‌سازی ذرات مرکب و خارج نمودن مرکب از سوسپانسیون الیاف نیز مراحل بعدی فرآیند می‌باشند. تجهیزات و مواد شیمیایی مورد استفاده برای مرکب‌زدایی به نوع مرکب موجود در کاغذ باطله بستگی دارد. برخی مرکب‌ها به کمک عمل مکانیکی خمیرسازی به سهولت از الیاف جدا می‌شوند، در حالی که سایر مرکب‌ها نسبت به چنین تیمارهایی مقاوم‌اند. طی فرآیند مرکب‌زدایی از یک خمیرساز برای دفییره‌کردن کاغذ و جدا نمودن ذرات مرکب از الیاف مورد استفاده می‌شود. عمل برشی-مکانیکی سبب می‌شود که کاغذ به الیاف جدا تبدیل شود، در نتیجه این عمل ذرات مرکب که به دو یا چند فیبر متصل شده‌اند به داخل سوسپانسیون رها می‌شوند.

کاغذ باطله در حضور هیدروکسید سدیم، سیلیکات سدیم، هیدروژن پراکسید و پایدار ساز پراکسید با نام تری آمین پنتا استیک اسید (DTPA) به خمیر تبدیل می‌شود. جداسازی مرکب از سطح لیف از طریق

واکسیدگی لیف تحت شرایط قلیایی تسهیل می‌شود. افزودن هیدروکسید سدیم به خمیر حاوی الیاف مکانیکی مکانیکی سبب زردگی و تیرگی خمیر به علت تشکیل گروه‌های رنگی لیگنین می‌شود، این پدیده تیرگی قلیایی نامیده می‌شود پراکسید هیدروژن برای رنگ‌بری عوامل رنگی تولید شده در PH قلیایی افزوده می‌شود. به علاوه، مطالعات اخیر نشان می‌دهد که پراکسید، آزادسازی انواع خاصی از مرکب را از سطح فیبر تسهیل می‌کند. سیلیکات سدیم برای جلوگیری از تخریب پراکسید هیدروژن توسط یون‌های فلزات سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرد. وجود این یون‌ها در مقادیر زیاد باعث تسریع واکنش‌های تجزیه پراکسید هیدروژن به اکسیژن غیر فعال و آب شده و از تشکیل یون‌های فعال پرهیدروکسیل (HO_2) جلوگیری می‌کنند. گمان می‌رود سیلیکات مسئول تشکیل ساختار کلوئیدی با یون‌های فلزات سنگین باشد، بنابراین موجب جلوگیری از اثر کاتالیزی آن‌ها می‌شود. علاوه بر این سیلیکات سدیم سبب پراکنده شدن ذرات مرکب آزاد شده نیز می‌شود.

در فرآیند شیمیایی، DTPA نیز به عنوان عاملی برای جلوگیری از تخریب پراکسید هیدروژن توسط کمپلکس یون‌های فلزات سنگین (عامل کی لیت ساز) مورد استفاده قرار می‌گیرد. دیگر مواد شیمیایی مهم مورد استفاده در مرکب‌زدایی، مواد فعال ساز سطحی از قبیل پراکنده‌سازها، جمع‌کننده‌ها و مواد کمک‌کننده برای جلوگیری از رسوب مجدد ذرات مرکب بر روی الیاف مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مواد معمولاً ذرات روغنی هستند که از طریق اتصال گروه‌های آب‌دوست اصلاح شده‌اند، به طوری که تا حدودی در آب حل می‌شوند. مواد فعال‌ساز سطحی بر کشش سطحی بین مایعات و جامدات اثر می‌گذارند، سه نوع از این مواد در مرکب‌زدایی کاربرد بیشتری دارند.

❖ پاک‌کننده‌ها: برای خارج ساختن مرکب از الیاف.

❖ پخش‌کننده‌ها: برای پراکنده نگه داشتن ذرات مرکب و جلوگیری از رسوب مجدد آن‌ها روی الیاف.

❖ عوامل کف‌زا: برای کاستن از کشش سطحی آب و افزایش مقدار کف تشکیل شده.

سایر مواد شیمیایی از قبیل سود سوزآور، سیلیکات سدیم و بوراکس برای تشدید اثر مواد فعال سطحی به کار می‌روند. عوامل زیادی وجود دارد که مشخص می‌کند چه نوع ماده فعال سطحی مورد استفاده قرار گیرد، یکی از این عوامل فرآیند مرکب‌زدایی است. برای مثال در مرکب‌زدایی از طریق شستشو عمل پراکنده‌سازی برای نگهداری ذرات آزاد مرکب در سوسپانسیون به کار می‌رود.

مواد فعال‌ساز سطحی غیر یونی اغلب به دلیل داشتن دو بخش آب‌گریز و آب‌دوست دوگانه دوست بوده و به عنوان مواد شیمیایی جمع‌کننده مورد استفاده قرار می‌گیرند. جمع‌کننده‌ها در شناورسازی برای جمع‌آوری ذرات پراکنده مرکب از سوسپانسیون و ایجاد توده‌ای بزرگ آب‌گریز مورد استفاده قرار می‌گیرند. جمع‌کننده‌ها همچنین برای ایجاد یک کف پایدار طی شناورسازی افزوده می‌شوند. جمع‌کننده‌ها می‌توانند از موادی که به‌طور طبیعی ایجاد شده‌اند مانند صابون‌های اسیده‌ای چرب و یا از مواد سنتزی از قبیل کویلمراتین اکسید/ پلی پروپیلن اکسید ساخته می‌شوند.

انتخاب نوع فرآیند جداسازی به نوع فرآیند مرکب‌زدایی و نوع مرکب مورد استفاده برای چاپ و

کیفیت مورد نظر برای خمیر نهایی بستگی دارد.

مرکب‌زدایی به روش شستشو^۱

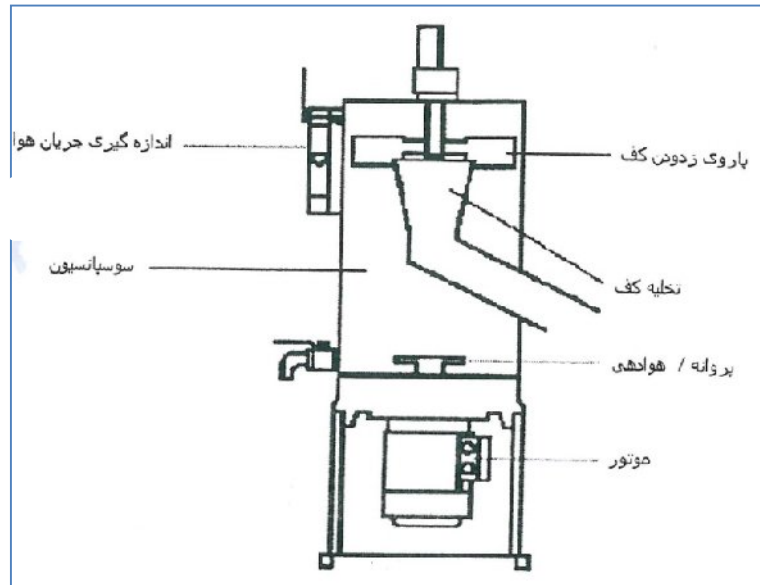
شستشو یک فرآیند هیدرولیکی است که طی آن آب حاوی ذرات مرکب از دوغاب خمیر گرفته می‌شود. فرآیند شستشو شامل شستشوی خمیر در حضور مواد شیمیایی پخش‌کننده و پاک‌کننده و در مرحله بعد آب‌گیری از آن است. این روش برای زدودن ذرات بسیار ریز (زیر ۳۰ میکرومتر)، به‌ویژه هنگامی که این ذرات آب‌دوست هستند کارآمد خواهد بود. این ذرات شامل نرمه‌ها و پرکننده‌ها و برخی از مرکب‌ها و مواد چسبناک هستند. باید توجه نمود ذرات مرکب بین ۵/۰ تا ۵ میکرومتر به‌طور موثری خارج می‌شوند. به‌هنگام خارج کردن آب، ذرات درشت مرکب بین توده الیاف گیر می‌کنند. بنابراین، روش شستشو در مورد مرکب‌هایی مانند مرکب‌های چاپ افست و لترپرس که به خوبی پخش می‌شوند مناسب است.

مرکب‌زدایی به روش شناورسازی^۲

شناورسازی یک فرآیند فیزیکی شیمیایی است که پیش از این، در صنعت برای جداسازی سنگ‌های معدنی مورد استفاده قرار می‌گرفته است. شناورسازی شامل زدودن مرکب و سایر آلاینده‌ها از طریق عبور حباب‌های هوا از میان خمیر در حضور مواد شیمیایی ویژه است. این روش برای زدودن ذرات آب‌گریز، که تمایل به اتصال به حباب‌های هوا دارند مناسب است. در شناورسازی نسبت به شستشو ذرات بزرگ‌تری که معمولاً در دامنه ابعاد ۱۰ تا ۲۵۰ میکرومتر قرار دارند، جداسازی می‌شوند. برخی از سیستم‌های شناورسازی حتی قادرند ذرات دارای قطر بیش از ۵۰۰ میکرومتر را نیز بزایند. نمونه‌ای از یک سلول شناورساز در شکل ۱ نشان داده شده است.

¹ Washing Deinking

² Flotation Deinking



شکل ۱: نمونه‌ای از یک سلول شناورسازی آزمایشگاهی.

خمیر عموماً با درصد خشکی ۱ و PH ۷ تا ۹ و دمای ۴۰ تا ۷۰ درجه سانتی گراد وارد دستگاه می‌شود. هوا به نسبت حدود ۳ برابر حجم خمیر در حال چرخش به دستگاه تزریق شده و یک پروانه سبب شکسته شدن هوای ورودی به حباب‌های ریز و اختلاط آن با سوسپانسیون الیاف می‌شود. کف تولیدشده در دستگاه نیز توسط یک پارو از سطح سوسپانسیون زدوده می‌شود. چهار مرحله مکانیکی مرکب‌زدایی عبارت‌اند از: جداسازی، رسوب مجدد، تعلیق و کف‌سازی.

جداسازی اغلب طی خمیرسازی، یعنی هنگامی که نیروی برشی ناشی از واکنشیدگی حاصل از سود و افزایش دما سبب شکسته شدن اتصال مرکب و جداسازی آنها از الیاف می‌شود، اتفاق می‌افتد. رسوب مجدد یک پدیده نامطلوب است که ممکن است در حین خمیرسازی اتفاق بیفتد و مرکب به دلیل واکنشیدگی قلیایی، جذب سطح و یا وارد حفره الیاف شود. رسوب مجدد مرکب طی خمیرسازی تقریباً اجتناب‌ناپذیر است و با افزایش زمان خمیرسازی و درصد خشکی خمیر افزایش می‌یابد. طی شناورسازی ذرات جوهر در فاز آبی رها

می‌شوند و یا ارتباط ضعیفی با الیاف خواهند داشت، این مرحله تعلیق نام دارد. اهداف این مرحله شامل جلوگیری از رسوب مجدد مرکب بر روی الیاف و اجازه به آن برای زدوده‌شدن از سوسپانسیون از طریق اتصال به حباب‌های هوا می‌باشد. مخلوطی از مواد شیمیایی گوناگون که معمولاً طی خمیرسازی و یا بلافاصله قبل از شناورسازی افزوده می‌شوند این اعمال را انجام می‌دهند.

روش ترکیبی

از آنجا که هرکدام از دو روش شناورسازی و شستشو مزیت‌های خاص خود را دارند، اخیراً روش‌های ترکیبی مورد توجه قرار گرفته‌اند. اما با توجه به این که اصول کار و مواد شیمیایی مورد استفاده در دو روش متفاوت است، تا حدی مشکل سازگاری پیش می‌آید. در شستشو، هدف خردکردن ذرات مرکب تا کمتر از ۱۵ میکرون است تا این ذرات آب‌دوست به راحتی پراکنده شوند و این در حالی است که در فرآیند شناورسازی، ذرات باید آب‌گریز و درشت با اندازه‌ای در حدود ۳۰ تا ۶۰ میکرون باشند. با ابداع مواد فعال‌ساز سطحی پراکنده‌ساز - جمع‌کننده، مشکل ناسازگاری دو فرآیند رفع شده است. این مواد آن‌قدر آب‌دوست هستند که ذرات مرکب را ضمن شستشو پراکنده نگه‌دارند، در حالی که چسبندگی بین ذرات و حباب‌های هوا به قدری است که توده‌های ذرات مرکب شناور می‌شوند.

معمولاً ابتدا مرحله شستشو و سپس مرحله شناورسازی به کار گرفته می‌شود. در مرحله شستشو ذرات ریز مرکب، پرکننده‌ها و نرمه‌های الیاف حذف می‌شوند. علاوه بر این مشخص شده است که بعضی از مواد موجود در خمیر که از چسبیدن مواد آلاینده حذف شده به حباب‌های هوا در مرحله شناورسازی جلوگیری می‌کنند نیز در مرحله شستشو حذف می‌شوند که سبب بهبود عملکرد شناورسازی می‌شود. در سیستم دو

مرحله‌ای، مرحله شناورسازی روی حذف بعضی مرکب‌هایی که به سختی قابل پراکنش هستند، عملکرد و نتیجه بهتری دارد. همچنین مواد آلاینده سبک وزن نیز در این مرحله به خوبی حذف می‌شوند.

معایب مرکب‌زدایی شیمیایی

مرکب‌زدایی شیمیایی در PH قلیایی برای طیف گسترده‌ای از مرکب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با وجود این مرکب‌زدایی شیمیایی معایبی نیز دارا می‌باشد. برای مثال سیلیکات‌ها گاهی اوقات باعث ایجاد رسوب‌ها و یا ته‌نشست‌های نامطلوب در سیستم کاغذسازی می‌شوند، همچنین زردشدگی الیاف خمیرهای مکانیکی در PH بالا و نیز مواد شیمیایی گران قیمت مورد استفاده در این فرآیندها از موانع جدی مورد استفاده در این فرآیندها از موانع جدی به‌شمار می‌آیند.

تیمار با هیدروکسید سدیم سبب تجزیه همی‌سلولزها و لیگنین موجود در الیاف می‌شود و در نتیجه میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی در سیستم پساب افزایش می‌یابد. و در نهایت استفاده بیش از اندازه مواد فعال‌ساز سطحی سبب اختلال در عمل آهارزنی، تشکیل اسید، خوردگی و کف اضافی در کاغذسازی و سیستم تیمار پساب می‌شود. به علت وجود این معایب یک روش جایگزین براساس مواد فعال‌ساز غیر یونی در PH خنثی یا اسیدی مورد بررسی قرار گرفت. هرچند اغلب مرکب‌زدایی‌های انجام گرفته در محیط خنثی کم هزینه‌اند اما با مقادیر بیشتر ذرات مرکب باقی‌مانده و لکه‌های قابل دید و قابلیت دفیبره شدن ضعیف‌تر در مرحله خمیرسازی همراه‌اند. این نتایج به از دست رفتن مقادیر زیادی الیاف در طی غربال مقدماتی و یا از دست دادن انرژی به علت زمان خمیرسازی طولانی منجر می‌شوند.

عوامل موثر بر فرآیند مرکب‌زدایی

عوامل مختلفی بر فرآیند مرکب‌زدایی کاغذهای باطله موثر هستند که می‌توان آنها را به صورت خلاصه

به شرح زیر تقسیم‌بندی نمود:

نوع و سن کاغذ

انواع مختلف کاغذ مثل کاغذهای روزنامه، مجله، نوشتنی، کپی و غیره به دلیل خواص متفاوت خود، تأثیرات متفاوتی بر فرآیند مرکب‌زدایی دارند. سن کاغذهای چاپ‌شده نیز عامل موثری در مرکب‌زدایی آنها به‌شمار می‌رود زیرا این گونه کاغذها در اثر مرور زمان کهنه می‌شوند و مرکب‌زدایی آنها در این حالت مشکل‌تر خواهد بود.

فرآیند خمیرسازی

نوع و منشأ خمیر اولیه‌ای که کاغذ چاپ از آن تهیه شده است (مثلاً خمیرهای شیمیایی، مکانیکی و غیره) در فرآیند مرکب‌زدایی این خمیرها موثر هستند. خمیرهای شیمیایی و مکانیکی در هر دو حالت اندودشده و اندود نشده تأثیرات متفاوت بر فرآیند مرکب‌زدایی داشته و خواص نوری و مکانیکی خمیرهای کاغذ بازیافتی حاصل نیز تغییرات مختلفی خواهند کرد. به‌عنوان مثال، مرکب‌زدایی کاغذهای اندودشده^۱ معمولاً موثرتر از کاغذهای اندود نشده^۲ می‌باشد.

^۱ Coated paper

^۲ Uncoated paper

نوع مرکب و روش چاپ

در روش‌های مختلف چاپ از انواع مختلف مرکب‌های چاپ استفاده می‌شود و این تنوع روش‌ها و مرکب‌های چاپ بر کیفیت مرکب‌زدایی کاغذهای چاپ‌شده تأثیرات تعیین‌کننده‌ای دارد. در واقع روش چاپ و نوع مرکب مصرفی یکی از عوامل مهم تعیین‌کننده روش مرکب‌زدایی است. به‌عنوان مثال، حذف مرکب‌های چاپ لترپرس آسان است. در مورد مرکب‌های چاپ افست بعد از کهنه‌شدن کاغذ و تقویت اتصالات الکید مرکب، مرکب‌زدایی مشکل‌تر است.

روش مرکب‌زدایی

برحسب روش مورد استفاده برای مرکب‌زدایی، کیفیت جداسازی و حذف ذرات مرکب چاپ و سایر مواد آلاینده و ویژگی‌های نهایی خمیر بازیافتی حاصل، متفاوت خواهند بود. به‌عنوان مثال روش شناورسازی برای حذف ذرات مرکب آب‌گریز با ابعاد ۲۰ تا ۴۰ میکرون و بالاتر و روش شستشو برای ذرات مرکب آب‌دوست با اندازه کوچک‌تر از ۳۰ میکرون مناسب هستند.

شرایط فرآیند مرکب‌زدایی

در فرآیند مرکب‌زدایی متغیرهای مختلفی وجود دارند که بر اساس روش مرکب‌زدایی و نوع کاغذ باطله مصرفی تنظیم می‌شوند. مهم‌ترین این متغیرها عبارت‌اند از:

PH نهایی

PH نهایی در مرحله خمیرسازی در محدوده قلیایی تنظیم می‌شود زیرا محیط قلیایی سبب واکنش‌دهی الیاف در اثر جذب آب و افزایش انعطاف‌پذیری آنها می‌شود. همچنین واکنش‌های صابونی شدن^۱ یا هیدرولیز رزین-های مرکب چاپ نیز در این محدوده PH اتفاق می‌افتد. دامنه مناسب PH برای خمیرسازی مجدد کاغذهای باطله بین ۵/۹ تا ۵/۱۰ می‌باشد. مقادیر PH زیاد منجر به زردشدن رنگ خمیر می‌شود.

درصد خشکی

درصد خشکی خمیر در مرحله خمیرسازی اثر قابل ملاحظه‌ای روی ویژگی‌های نهایی خمیر کاغذ بازیافتی دارد. استفاده از درصد خشکی زیادتر سبب صرفه‌جویی در مصرف انرژی حرارتی، مواد شیمیایی و گاهی نیز منجر به کاهش زمان خمیرسازی، بهبود حذف مرکب و کیفیت بهتر خمیرکاغذ بازیافتی می‌شود. به‌علاوه، درصد خشکی زیادتر سبب می‌شود کلوخ‌های کاغذ یا خمیر سنگین در اثر نیروی برشی حاصل از جریان مایع خمیر به هم برخورد کرده و خردشدن آنها بهتر صورت گیرد. معمولاً در خمیرسازی با دانسیته کم از درصد خشکی ۵ تا ۸ درصد و در خمیرسازی با دانسیته زیاد از درصد خشکی ۱۵ تا ۲۰ درصد استفاده می‌شود که گاهی ممکن است به ۴۰ درصد نیز برسد.

¹ Saponification

درجه حرارت و فشار

درجه حرارت فرآیند مرکب‌زدایی بستگی به نوع کاغذ باطله، مواد شیمیایی، نوع عملیات رنگ‌بری و نوع خمیر مرکب‌زدایی شده مطلوب دارد. معمولاً در مرکب‌زدایی کاغذهای باطله حاصل از خمیرهای مکانیکی، درجه حرارت‌های متوسط حدود ۴۵ تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد بهترین نتیجه را می‌دهند. استفاده از این درجه حرارت‌ها از تیرگی یا زرد شدن رنگ خمیر تا حد زیادی جلوگیری می‌کند ولی درجه حرارت‌های زیاد موجب زرد شدن رنگ خمیر می‌گردد. افزایش حرارت سبب نرم‌شدن مرکب و سایر مواد غیر فیبری و در نتیجه کاهش زمان خمیرسازی و همچنین افزایش تأثیر عمل مواد شیمیایی می‌شود. به‌علاوه درجه حرارت‌های زیاد موجب تسریع دفیبره‌شدن الیاف خمیر شده ولی چنانکه گفته شد به‌دلیل زرد شدن رنگ خمیر، برای خمیرهای مکانیکی مناسب نمی‌باشد.

زمان

این عامل با توجه به سایر متغیرها مثل درجه حرارت، غلظت مواد شیمیایی و درصد خشکی خمیر تنظیم می‌شود. معمولاً برای مرکب‌زدایی خمیرهای مکانیکی در مقیاس آزمایشگاهی از زمان‌های بین ۵ تا ۶۰ دقیقه استفاده می‌شود. در مرحله شناورسازی نیز استفاده از زمان ۱۰ تا ۲۰ دقیقه متداول است.

سرعت جریان خمیر و اندازه حباب‌های هوا

سرعت جریان خمیر بر چگونگی خردشدن کلوخ‌های تشکیل شده در مرحله خمیرسازی موثر است و معمولاً افزایش این سرعت سبب افزایش نیروی برشی حاصل از جریان مایع خمیر و خردشدن کلوخ‌های خمیر تشکیل شده می‌گردد. در مرحله خمیرسازی معمولاً از سرعت جریان حدود ۵۰۰ تا ۸۰۰ دور در دقیقه و در مرحله شناورسازی از سرعت جریان حدود ۱۰۰۰ دور در دقیقه استفاده می‌شود.

اندازه حباب‌های هوا در مرحله شناورسازی نباید خیلی کوچک یا درشت باشد زیرا وجود این گونه حباب‌ها سبب افزایش برخورد آن‌ها با الیاف خمیر و در نتیجه شل شدن و جداشدن ذرات مرکب از آن‌ها خواهد شد. با کوچک یا درشت شدن اندازه حباب‌های هوا عملاً میزان هدر رفت الیاف افزایش می‌یابد.

انواع مواد شیمیایی و درصد مصرف آن‌ها

به‌طور کلی مواد شیمیایی مختلفی در فرآیند مرکب‌زدایی کاغذهای باطله مصرف می‌شوند و هدف از به‌کارگیری آن‌ها، که عمدتاً در مرحله خمیرسازی مجدد به دستگاه خمیرساز اضافه می‌شوند، کمک به جداسازی ذرات مرکب و مواد چسبنده^۱ از الیاف و آماده‌سازی آن‌ها برای جدایی کامل و دفع از مایع خمیر در مرحله شناورسازی است. کاربرد این مواد، به‌ویژه در مقیاس تولید انبوه باید به‌گونه‌ای باشد که بیشترین کارایی با صرف کمترین هزینه به‌دست آمده و از مصرف مواد شیمیایی اضافی خودداری شود.

در مرحله خمیرسازی، درصد خشکی خمیر برای تنظیم مقدار مواد شیمیایی مورد نیاز اهمیت دارد، زیرا مقدار این مواد براساس وزن خشک کاغذ(خشک‌شده در هوای آزاد) محاسبه می‌گردد. بنابراین درصد

^۱Stikies

خشکی زیادتر به معنی آب کمتر و غلظت زیادتر مواد شیمیایی در دستگاه خمیرساز می‌باشد. این امر سبب افزایش میزان کارایی مواد شیمیایی و امکان بهینه‌سازی مقادیر آنها می‌شود.

حساسیت فرآیند شناورسازی به مواد شیمیایی بیش‌تر از روش شستشو است. در صورتی‌که کاغذهای بازیافتی فاقد خمیرهای مکانیکی بوده و از خمیرهای شیمیایی تولید شده باشند، معمولاً مواد شیمیایی کمتری برای مرکب‌زدایی مورد نیاز است ولی در مورد کاغذهای بازیافتی جمع‌آوری شده از مصارف خانگی که حاوی خمیر مکانیکی هستند مقدار بیشتری از مواد شیمیایی مورد نیاز می‌باشد.

عمده‌ترین مواد شیمیایی مصرفی در فرآیند مرکب‌زدایی عبارت‌اند از: سود سوزآور (هیدروکسید سدیم)، سیلیکات سدیم، پراکسید هیدروژن، عوامل کیلات‌کننده، صابون‌ها^۱ و مواد پاک‌کننده^۲، انواع عوامل فعال در سطح، شامل مواد جمع‌کننده^۳، مواد پراکنده‌ساز^۴ و غیره. صابون‌ها را می‌توان به شکل صابون به فرآیند مرکب‌زدایی اضافه کرد یا بر اثر واکنش ماده قلیایی با اسیدهای چرب افزوده شده به فرآیند خمیرسازی مجدد تشکیل می‌شوند. در مرحله شناورسازی از مواد کف‌ساز^۵ برای تولید حباب‌های هوا استفاده می‌شود.

نقش و عملکرد مواد شیمیایی در مرکب‌زدایی

در مورد عملکرد مواد شیمیایی در مرکب‌زدایی مطالعات زیادی به عمل آمده است که معمولاً هدف آنها یافتن یک ترکیب بهتر و ارزان‌تر از تیمارهای مختلف مواد شیمیایی بوده است. مواد شیمیایی اصلی و محل کاربرد آنها در عملیات مرکب‌زدایی به روش شناورسازی به شرح زیر می‌باشند:

¹ Soaps

² Detergents

³ Collectors

⁴ Dispersants

⁵ Foamers

شناورسازی	کلرید کلسیم	خمیرساز	هیدروکسید سدیم
رنگ‌بری	هیپوکلرید سدیم	خمیرساز	سیلیکات سدیم
رنگ‌بری	هیدروسولفیت سدیم	خمیرساز	عامل کیلات کننده
خمیرساز	تالک	خمیرساز، رنگ‌بری	پراکسید هیدروژن
ذخیره‌سازی خمیر	اسید سولفوریک	خمیرساز، شناورسازی	مواد فعال در سطح
		خمیرساز، شناورسازی	مواد شیمیایی جمع‌کننده

دلیل افزودن این مواد شیمیایی به دستگاه خمیرساز، کمک به حذف مواد نامطلوب مثل مرکب و مواد چسبنده از کاغذ و قابل دسترس ساختن آن‌ها جهت حذف کامل در مرحله شناورسازی است. به‌خاطر سپردن این نکته ضروری است که این مواد شیمیایی با بخش رزین ذرات مرکب واکنش انجام می‌دهند نه با ذرات رنگی آن، به عبارت دیگر رنگ‌دانه‌های موجود در مرکب مورد حمله مواد شیمیایی قرار نمی‌گیرند بلکه مواد شیمیایی با حمله به بخش رزین موجود در چسب‌های به‌کار رفته در مرکب، اتصال ذرات مرکب با الیاف را می‌شکنند.

قابلیت مرکب‌زدایی انواع مرکب‌های چاپ

قابلیت مرکب‌زدایی کاغذهای باطله، معرف میزان حذف مرکب چاپ توسط فرآیند مرکب‌زدایی است که از طریق اندازه‌گیری مقدار افزایش و بهبود پارامترهای نوری، تعیین می‌شود. این ویژگی‌ها شامل روشنایی¹ و درجه روشنی² خمیرهای مرکب‌زدایی نشده و مرکب‌زدایی شده می‌باشند. علاوه بر مرکب‌های چاپ سایر عوامل موثر بر قابلیت مرکب‌زدایی کاغذهای چاپ شده عبارت‌اند از: روش چاپ، ماده زمینه چاپ (کاغذ و

¹ Luminance

² Brightness

غیره)، سن چاپ، شرایط و پارامترهای فرآیندی مرکب‌زدایی از نظر شرایط شیمیایی، مکانیکی و هیدرولیکی. یکی از مشکلات صنعت بازیافت برای تولید کاغذهای مرغوب چاپ و تحریر از کاغذهای باطله، تنوع فرآیندها و مرکب‌های مورد استفاده در صنعت چاپ است. در نتیجه وقتی مخلوط کاغذهای باطله خمیر می‌شود، انواع ذرات مرکب از نظر جنس و اندازه که مربوط به فرآیندهای مختلف چاپ هستند در خمیر به‌وجود می‌آیند. نمونه‌هایی از اندازه ذرات مرکبی که در این گونه خمیرها یافت می‌شوند در جدول ۱-۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: اندازه ذرات مرکب تولید شده در خمیرسازی به عنوان تابعی از نوع مرکب

نوع مرکب	میانگین اندازه ذرات (میکرون)
وارنیش UV	۴۰-۴۰۰
افست	۵/۰-۱۰
فلکسوگرافی	۱
لیزر گرمایی (نوع ۱)	۱۰-۱۰۰
لیزر گرمایی (نوع ۲)	۱۰۰ و بیشتر
زیراکس	۱۰۰ و بیشتر

در خمیرسازی، مرکب فلکسوگرافی به صورت ذرات بسیار ریز پخش می‌شود (اندازه متوسط ذرات یک میکرون یا کمتر). این ذرات آن‌قدر ریز هستند که حتی می‌توانند به داخل خفزه درونی لیف نفوذ کنند و

جداکردن آن‌ها از مخلوط عملاً غیر ممکن است. ایجاد محیط‌های شیمیایی مختلف (به عنوان مثال PH اسیدی) و خمیرسازی در غلظت‌های کم تا حدی از شدت مشکل می‌کاهد. در سوی دیگر مرکب‌های عمل آمده با تابش UV و براق قرار دارد که بزرگی ذرات آن‌ها به ۲۰ میکرومتر و بیشتر هم می‌رسد و با روش‌های سنتی مرکب‌زدایی قابل حذف نیستند.

روش‌های چاپ

فرآیندهای چاپ را می‌توان به دو گروه اصلی طبق‌بندی نمود: ۱- چاپ تماسی ۲- چاپ غیر تماسی.

چاپ تماسی

در روش‌های تماسی (برای مثال لتر پرس، افست، گراور و فلکسوگرافی) تصویر مورد نظر به وسیله تماس یا اثر یک صفحه آغشته به مرکب بر روی کاغذ ایجاد می‌شود. مرکب‌های مورد استفاده در این روش اساساً حاوی سه ترکیب رنگدانه، اصلاح کننده و ناقل می‌باشند. رنگدانه اصلی مورد استفاده در مرکب‌های چاپ از جنس کربن سیاه است. اصلاح کننده‌ها شامل واکس‌ها، حلال‌ها، نرم‌کننده‌ها و عوامل خشک‌کننده‌ای هستند که به مرکب افزوده می‌شوند تا ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاصی به آن ببخشند. ناقل مرکب حاوی حلال و اتصال‌دهنده‌هاست. حلال رنگدانه‌ها را پراکنده می‌سازد و حالت مایع مناسب را برای

انتقال و رسوب مرکب تضمین می‌کند. اتصال‌دهنده ذرات رنگدانه را محکم کرده و آن‌ها را به سطح کاغذ متصل می‌کند. روغن‌های معدنی و گیاهی دو نوع اتصال‌دهنده‌اند که بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند.

روش خشک کردن مرکب تاثیر تعیین‌کننده‌ای بر انتخاب نوع چسب و ناقل و نیز بر ترکیب شیمیایی مرکب و قابلیت مرکب‌زدایی کاغذ چاپ‌شده دارد. روش‌های مختلف خشک کردن مرکب معمولاً به دو دسته فیزیکی و شیمیایی تقسیم می‌شود. در روش‌های خشک کردن فیزیکی جذب مواد ناقل توسط ماده چاپ‌شده پس از تبخیر حلال‌ها اتفاق افتاده و هیچ‌گونه تغییر دیگری در مواد رخ نمی‌دهد. به علت این‌که در این روش‌ها معمولاً مرکب به صورت فیزیکی و از طریق خشک‌شدن و تبخیر حلال و بدون تغییر شیمیایی بر روی کاغذ می‌چسبد. معمولاً این اتصال به سطح الیاف و یا تنها بر روی پرکننده‌ها و لعاب‌های موجود در سطح کاغذ صورت می‌گیرد. اما در روش‌های خشک کردن شیمیایی، مولکول‌های چسب از طریق جذب اکسیژن از هوای آزاد پلیمر می‌شوند.

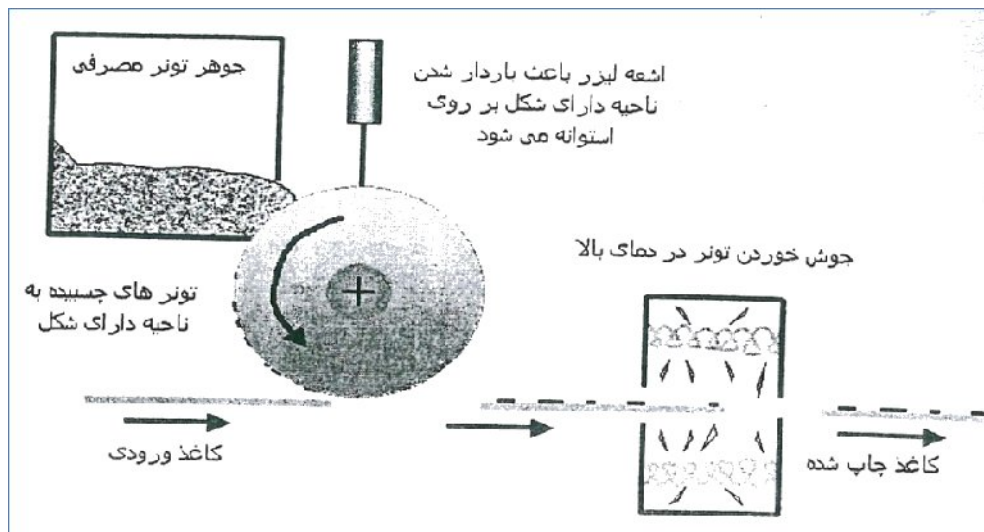
نوع اتصال‌دهنده در سهولت مرکب‌زدایی معمولاً نقش مهمی دارد. ماده حامل در مرکب‌زدایی مورد استفاده در روش تماسی عبارت‌انداز: روغن‌های معدنی، روغن‌های گیاهی، آب و حلال‌های آبی. مرکب‌های از جنس روغن‌های معدنی در هنگام مطالعه و جابجایی روزنامه نیز تمایل به زدوده‌شدن دارند. در مقابل مرکب‌های از جنس روغن‌های گیاهی به‌وسیله پلیمریزاسیون رادیکال آزاد خشک خواهند شد که باعث بهبود مقاومت به مالش در روزنامه‌ها می‌شود. اتصال خوب به کاغذ مرکب‌های از جنس روغن‌های گیاهی تا حدودی موجب سختی زدودن آن‌ها طی فرآیند مرکب‌زدایی می‌شود.

مرکب‌های چاپ به روش فلکسوگرافی از آب به عنوان ناقل استفاده می‌کنند و این مرکب‌های از جنس آب توسط جذب و تبخیر آب موجود در آن‌ها خشک می‌شوند. آب به دلیل ویژگی فیزیکی خود سریع‌تر از روغن‌های معدنی تبخیر می‌شود. در روش متداول مرکب‌زدایی به طریق شناورسازی، چسب موجود در مرکب‌های فلکسوگرافی بر اثر حل شدن به حالت پراکنده و خیلی ریز در می‌آید و در حالت کلی قابلیت مرکب‌زدایی چاپ فلکسوگرافی ضعیف است.

چاپ غیر تماسی

کاغذهای چاپ‌شده به روش غیر تماسی نوع دیگری از کاغذهای باطله‌اند که به سختی مرکب‌زدایی می‌شوند. چاپ غیر تماسی فرآیندی است که به‌طور گسترده و در وسایلی از قبیل چاپگرهای لیزری و دستگاه‌های زیراکس و کپی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش به سطحی که چاپ بر روی آن انجام می‌شود، تماس یا ضربه‌ای وارد نمی‌شود. تصویر مورد نظر با استفاده از نور مرئی یا فرابنفش (از طریق یک دیود لیزر "لامپ دو قطبی") به شکل باردار و نامرئی در یک دریافت‌کننده تصویر ایجاد می‌شود. پس از آن تونرهای خشک به تصویر نامرئی متصل می‌شوند که در مرحله بعدی به کاغذ منتقل شده و در دمای بالایی که توسط پرتوهای پرانرژی تامین می‌شود، برای ایجاد یک تصویر ثابت در جزئی از ثانیه به کاغذ جوش می‌خورند. مرکب مورد استفاده در چاپ غیر تماسی تونر¹ نام دارد.

¹ Toner



شکل ۲: طرح نمونه‌ای از یک فرآیند چاپ به روش غیر تماسی.

تونرها پودرهای رنگی هستند که حاوی ذراتی به ابعاد حدود ۷ تا ۱۱ میکرومتر می‌باشند و ۸۰ تا ۹۵ درصد وزنی از چسب‌های ترموپلاستیک، ۵ تا ۱۲ درصد رنگدانه (یعنی کربن سیاه) و کمتر از ۲ درصد مواد افزودنی برای کنترل حرکت‌پذیر پودر و تامین ویژگی‌های الکتریکی آن، تشکیل شده‌اند. پلیمر شدن شیمیایی سبب تشکیل مولکول‌های بزرگی می‌شود که در اکثر حلال‌ها غیر قابل حل بوده و مقاومت‌های مکانیکی زیادی را از خود نشان می‌دهند. این اتصال قوی باعث شده است که روش‌های متداول مرکب‌زدایی شیمیایی برای این نوع کاغذها کارایی اندکی داشته باشند. ابعاد ذرات تونر تا حد زیادی متغیر است، ذرات تونر درشت‌تر به سختی از طریق شناورسازی و یا شستشو از سوسپانسیون خمیر جدا می‌شوند.