



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گراگان

نشریه حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی

جلد اول، شماره اول، ۱۳۹۲

<http://ejang.gau.ac.ir>

## مرکززدایی خنثی جایگزین مناسب و دوست‌دار محیط زیست برای مرکززدایی متداول قلیایی

\*سید محسن میری<sup>۱</sup>، علی قاسمیان<sup>۲</sup> و محمدهادی آریایی منفرد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گراگان، آدانشیار گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گراگان، <sup>۲</sup>دانش‌آموخته دکتری صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گراگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۰۱

### چکیده

امروزه استفاده مجدد از کاغذهای بازیافتی به‌عنوان یکی از روش‌های تأمین مواد اولیه سلولزی مناسب برای صنایع خمیر و کاغذ مورد توجه جدی قرار گرفته است. به‌دلیل وجود آلاینده‌هایی مانند چسب‌ها و مرکب چاپ، ویژگی‌های نوری و مکانیکی کاغذهای بازیافتی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد، ولی به کمک روش مرکززدایی می‌توان از افت ویژگی‌های نام‌برده جلوگیری کرد. از طرف دیگر، به‌دلیل مشکلات ایجاد شده در این روش مانند تیره شدن خمیرکاغذ در محیط قلیایی و افزایش بار آلودگی پساب سبب ایجاد محدودیت‌هایی در استفاده از این روش شده است. در حال حاضر، روش مرکززدایی خنثی به‌عنوان جایگزین مناسبی برای مرکززدایی قلیایی در سطح دنیا مطرح می‌باشد. در مقاله حاضر به مزایا و محدودیت‌های این روش پرداخته می‌شود. به‌طور کلی، مرکززدایی خنثی به‌علت کاهش مصرف مواد شیمیایی، سبب صرفه‌جویی در هزینه‌های تولید شده و از لحاظ زیست‌محیطی نیز به‌دلیل حذف هیدروکسید سدیم، مقادیر COD و BOD پساب کارخانجات کاهش می‌یابد. به‌علاوه، کاهش انحلال مواد قابل حل موجود در کاغذ در آب فرآیند، منجر به افزایش بازده و کاهش زرد شدن الیاف خمیرهای کاغذ مکانیکی می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** کاغذ باطله، بازیافت، شیمی مرکززدایی قلیایی (متداول)، شیمی مرکززدایی خنثی

\*مسئول مکاتبه: [mhnmiri65@yahoo.com](mailto:mhnmiri65@yahoo.com)

## مقدمه

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. آمارهای موجود در دنیا بیانگر افزایش مصرف کاغذ به‌ویژه کاغذهای چاپ روزنامه و مجله می‌باشد. عوامل چندی بر این افزایش مصرف دخالت دارند که از آن جمله می‌توان به گسترش روز افزون جمعیت و توسعه فرهنگی جوامع اشاره نمود. کشور ایران 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 (قاسمیان و خلیلی، ۲۰۱۱).

با توجه به محدود بودن سطح جنگل‌های دنیا و تخریب شدید آن از یک طرف و کاهش منابع جهت تولید کاغذ از طرف دیگر، اهمیت بازیافت کاغذ در صنایع کاغذسازی را ضروری ساخته است. و در کشور ایران با توجه به میزان تولید و مصرف انواع فرآورده‌های کاغذی و افزایش شکاف موجود بین روند تولید و مصرف، لزوم توجه به امر بازیافت محصولات کاغذی روز به روز اهمیت بیشتری یافته است (قاسمیان و اکبرپور، ۲۰۱۱).

همچنین فشار مسائل حقوقی و تجاری باعث شده است که کاغذهای باطله بیشتری مرکب‌زدایی شوند. اما این به معنای افت کیفیت می‌باشد. زیرا در ابتدای امر تمامی کاغذهای باطله مناسب جهت مرکب‌زدایی جمع‌آوری و مصرف می‌شوند. ولی با ادامه فعالیت، کاغذهای باطله بعدی اختلاط بیشتری دارند و همچنین کهنه‌تر و کثیف‌تر هستند.

تنوع وسیعی از کاغذهای بازیافتی مرکب‌زدایی می‌شوند، که هر یک از این درجات کاغذ بازیافتی تفاوت‌هایی در منشاء الیاف دارند. به‌عنوان مثال کاغذ روزنامه کهنه<sup>۱</sup> عمدتاً شامل الیاف‌های خمیر مکانیکی رنگبری شده و یا الیاف بازیافت شده می‌باشد در صورتی که کاغذ مجله کهنه<sup>۲</sup> به‌طور معمول شامل مقداری خمیر شیمیایی رنگبری شده است. اما کاغذ باطله اداری<sup>۳</sup> تقریباً به‌طور کامل از خمیر شیمیایی رنگبری شده تشکیل شده است (هانوکسلا و روسنکرس، ۲۰۰۸).

- 
- 1- Old Newsprint(ONP)
  - 2- Old Magazines(OMG)
  - 3- Mixed Office Waste Paper(MOW)

مرکب‌زدایی کاغذهای اندود شده<sup>۱</sup> نسبت به کاغذهای اندود نشده<sup>۲</sup> مشکلات کمتری دارد. در کاغذهای اندود شده، ذرات مرکب همراه با ذرات ماده اندود از الیاف کاغذ جدا می‌شوند. در صورتی که قابلیت مرکب‌زدایی کاغذهای اندود نشده، تحت تأثیر میزان جذب مرکب درون کاغذ تا حدی کم و زیاد خواهد شد (گولیچسن و پائلوپیرو، ۱۹۹۹).

ویژگی‌های نوری و مکانیکی کاغذ بازیافتی به دلیل وجود آلاینده‌هایی مانند چسب‌ها و مرکب به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. در نتیجه به روشی برای حذف این آلاینده‌ها نیاز می‌باشد، که می‌توان مرکب‌زدایی را نام برد (قاسمیان، ۲۰۰۴).

مرکب‌زدایی<sup>۳</sup> اصطلاحی است که برای توصیف فرآیند جداسازی و حذف مرکب‌های چاپ از الیاف بازیافتی جهت بهبود خواص نوری خمیر و کاغذ با استفاده از کاغذهای چاپ شده باطله استفاده می‌شود. هدف از مرکب‌زدایی، حذف مرکب‌های چاپ و دیگر مواد که ممکن است بر فرآیندهای کاغذسازی و ویژگی‌های نهایی کاغذ تأثیر بگذارند. جداسازی نامطلوب، کاغذ با درجه روشنی پایین و دارای لکه می‌دهد. ذرات مرکب با اندازه بزرگتر از ۵۰ میکرون با چشم غیرمسلح به صورت لکه‌های سیاه و یا رنگی در کاغذ دیده می‌شوند. ذرات کوچکتر از آن سبب کاهش درجه روشنی و لزوم رنگ‌بری خمیر کاغذ حاصل می‌گردد (قاسمیان، ۲۰۰۴).

انتخاب مناسب شیمی مرکب‌زدایی اغلب موازنه بین هزینه‌ها و کارایی می‌باشد. برخی از کارخانه‌ها از مواد شیمیایی مرکب‌زدایی استفاده نمی‌کنند اما از سوی دیگر از کاغذ بازیافتی با کیفیت بهتر و قیمت بیشتر استفاده می‌کنند تا به هدف مورد نظر دست یابند. همچنین برخی از کارخانه‌ها با استفاده از کاغذ بازیافتی با فرنیس کیفیت پایین و سپس استفاده از مواد شیمیایی مرکب‌زدایی سعی در صرفه‌جویی در هزینه‌ها را دارند. نوع و منشأ کاغذ بازیافتی یکی از هزینه‌های تولید زیاد در کارخانه مرکب‌زدایی می‌باشد. هزینه‌های مواد شیمیایی خمیر سازی اغلب در حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد می‌باشد و رنگ‌بری ممکن است به همان اندازه یا بیشتر و یا به مقدار دو برابر که بسته به توالی‌های رنگ‌بری دارد، باشد (هانوکسلا و روسنکرس، ۲۰۰۸).

- 
- 1- Coated Paper
  - 2- Uncoated Paper
  - 3- Deinking

مرکب‌زدایی قلیایی متداول<sup>۱</sup>: در مرکب‌زدایی به روش متداول pH نهایی در خمیرسازی در محدوده قلیایی تنظیم می‌شود زیرا محیط قلیایی سبب واکنش‌دهی الیاف در اثر جذب آب و افزایش انعطاف‌پذیری آن‌ها می‌شود. دامنه مناسب pH برای خمیرسازی مجدد<sup>۲</sup> کاغذ باطله بین ۹/۵-۱۰/۵ می‌باشد.

به‌طور کلی مواد شیمیایی مختلفی در فرآیند مرکب‌زدایی کاغذهای باطله مصرف می‌شوند و هدف از به‌کارگیری آن‌ها، کمک به جداسازی ذرات مرکب و مواد چسبنده از الیاف و آماده‌سازی آن‌ها برای جدایی کامل و رفع از مایع خمیر در مرحله شناورسازی است. مواد شیمیایی مرکب‌زدایی عموماً در مرحله خمیرسازی به خمیرساز اضافه می‌شوند اما گاهی اوقات می‌توان بخشی یا همه مواد کمک‌کننده مرکب‌زدایی را به سلول شناورسازی اضافه کرد (لاسوس، ۲۰۰۰). انتخاب مواد شیمیایی برای فرآیند مرکب‌زدایی به عواملی مثل نوع فرآیند خمیرسازی، ویژگی‌های الیاف سلولزی، نوع کاغذ باطله و مواد موجود در آن مثل مرکب چاپ، مواد پرکننده، مواد اندودکننده، چسب‌ها و غیره بستگی دارد. همچنین حساسیت فرآیند شناورسازی به مواد شیمیایی بیشتر از روش شست‌وشو می‌باشد.

عمده‌ترین مواد شیمیایی مصرفی در فرآیند مرکب‌زدایی عبارتند از، سود سوزآور (هیدروکسید سدیم)، سیلیکات سدیم، پراکسید هیدروژن، عوامل کی‌لیت‌کننده<sup>۳</sup>، صابون‌ها<sup>۴</sup> و مواد پاک‌کننده<sup>۵</sup>، انواع عوامل فعال در سطح<sup>۶</sup> شامل مواد جمع‌کننده<sup>۷</sup>، مواد پراکنده ساز<sup>۸</sup> و غیره (قاسمیان، ۲۰۰۴).

#### نقش و عملکرد مواد شیمیایی در مرکب‌زدایی

هیدروکسید سدیم: هیدروکسید سدیم (سود) تقریباً قدیمی‌ترین ماده شیمیایی مورد استفاده در مرکب‌زدایی می‌باشد. این ماده نه تنها برای تنظیم pH در محیط قلیایی بلکه برای صابونی کردن یا هیدرولیز رزین‌های

- 1- Conventional Alkaline Deinking
- 2- Repulping
- 3- Chelating Agents
- 4- Soaps
- 5- Detergents
- 6- Surfactants
- 7- Collectors
- 8- Dispersants

مرکب به کار می‌رود. عمل اصلی هیدروکسید سدیم واکنش با این رزین‌ها یا روغن‌های موجود در مرکب، که برای معلق نگه داشتن ذرات رنگدانه در مرکب به کار می‌روند، می‌باشد.

یک اثر شناخته شده هیدروکسید سدیم، این است که مقاومت کاغذ ساخته شده از الیاف خشک را افزایش می‌دهد. این کار خصوصاً زمانی که الیاف مکانیکی را مرکب‌زدایی می‌کنیم، می‌تواند مفید باشد. این اثر ممکن است به علت واکنش الیاف یا هیدرولیز اتصالات استری دیواره الیاف باشد که در نتیجه باعث افزایش انعطاف‌پذیری الیاف و اتصالات داخل الیاف شده و این باعث افزایش مقاومت کاغذ می‌شود.

**پراکسید هیدروژن:** پراکسید هیدروژن برای رنگ‌بری گروه‌های رنگی کننده، که در اثر pH قلیایی در فرآیند خمیرسازی کاغذهای دارای خمیر مکانیکی<sup>۱</sup> ایجاد می‌شوند استفاده می‌شود. الیاف خمیر مکانیکی در اثر وجود هیدروکسید سدیم به رنگ زرد در می‌آیند و پراکسید هیدروژن به عنوان عامل اکسید کننده اثر معکوس روی این پدیده دارد. علاوه بر رنگ‌بری، نقش پراکسید هیدروژن در مرکب‌زدایی اثبات شده است (ابوالقاسمی و همکاران، ۲۰۰۸).

**سیلیکات سدیم:** سیلیکات سدیم، معروف به شیشه آبی یک پلیمر محلول در آب است که می‌تواند یون‌های چند بنیانی را به هم متصل نماید. و ماده‌ای است افزودنی که همراه پراکسید هیدروژن به کار برده می‌شود و به تثبیت محیطی که پراکسید در آن کار می‌کند کمک می‌نماید. افزودن سیلیکات سدیم در مرحله خمیرسازی میزان قلیائیت را افزایش می‌دهد زیرا این ماده به طور معمول دارای ۱۱ درصد وزنی هیدروکسید سدیم است. مقدار مصرف سیلیکات سدیم بستگی به کیفیت آب مصرفی برای رقیق‌سازی و کاغذ باطله دارد و به طور معمول بین ۱ تا ۳ درصد وزنی است (آریایی منفرد و رسالتی، ۲۰۰۸).

**عوامل کی‌لیت کننده:** نقش عوامل کی‌لیت کننده تشکیل کمپلکس‌های قابل حل با یون‌های فلزی است که این کمپلکس‌ها از تخریب پراکسید هیدروژن توسط این یون‌ها جلوگیری می‌کنند و یک محیط با ثبات جهت فعالیت پراکسید هیدروژن ایجاد می‌کند. قوی‌ترین عوامل کی‌لیت کننده ترکیبات چهارتایی آمونیوم هستند و متداول‌ترین آن‌ها، دی‌آمین تری‌اتیلن پنتااستیک اسید<sup>۲</sup> است. همچنین از

---

1- Wood Containing Paper

2- DTPA

اتیلن دی‌آمین تتراستیک اسید<sup>۱</sup> یا دی‌اتیلن تری‌آمین پنتامتیلن فسفونیک اسید<sup>۲</sup> نیز به‌عنوان کی‌لیت‌کننده استفاده می‌شود.

**عوامل فعال در سطح:** از این مواد می‌توان به‌عنوان عامل پراکنده‌ساز مرکب، عوامل خیس‌کننده، عوامل ضد رسوب مجدد و عوامل جمع‌کننده استفاده کرد. مواد فعال در سطح، مواد غیر یونی هستند و ساختمان آن‌ها اغلب شامل یک سر آب‌دوست و یک دم آب‌گریز است. متداول‌ترین مواد فعال در سطح بر اساس اسکلت کوپلیمر اتیلن اکسید- پلی‌پروپیلن اکسید (EO/PO) ساخته می‌شوند. نحوه عمل مواد فعال در سطح مشابه صابون‌ها است.

**مواد جمع‌کننده:** مواد شیمیایی هستند که ذرات مرکب را به‌صورت توده‌های درشت‌تر گرد هم جمع کرده و در همان حال به سطح آن‌ها خاصیت آب‌گریز می‌دهند. مواد جمع‌کننده به دستگاه خمیرساز یا بلافاصله قبل از شناورسازی به سلول شناورسازی افزوده می‌شوند. انواع مختلفی از مواد شیمیایی جمع‌کننده وجود دارند که شامل اسیدهای چرب، جمع‌کننده‌های نیمه‌مصنوعی و مصنوعی می‌شوند. متداول‌ترین اسیدهای چرب حاصل از روغن‌ها و چربی‌های طبیعی عبارتند از، لینولئیک‌اسید، لینولنیک‌اسید، اولئیک‌اسید، پالمیتیک‌اسید و استئاریک‌اسید می‌باشد.

**اسیدسولفوریک:** اسیدسولفوریک، برای کنترل pH خمیر مرکب‌زدایی شده استفاده می‌شود (گولپچسن و پائلوپپرو، ۱۹۹۹).

**مزایا و محدودیت‌های مرکب‌زدایی متداول:** در روش مرکب‌زدایی متداول pH نهایی در محدوده قلیایی تنظیم می‌شود برای رسیدن به این محدوده pH از هیدروکسید سدیم استفاده می‌شود. در محیط قلیایی الیاف کاغذ مقدار زیادی آب جذب کرده و واکنشیده شده و قابلیت انعطاف آن‌ها بیشتر شده که به حذف ذرات مرکب کمک می‌کند. همچنین واکنش صابونی شدن یا هیدرولیز رزین‌های مرکب چاپ در محیط قلیایی انجام می‌شود.

اثر شناخته شده محیط قلیایی افزایش مقاومت‌های کاغذهایی است که از الیاف خشک ساخته می‌شوند. که این مسئله در مرکب‌زدایی الیاف مکانیکی مشخص‌تر است. این اثر می‌تواند به‌خاطر واکنشیده شدن الیاف و یا هیدرولیز پیوندهای استری در دیواره الیاف باشد که در نتیجه میزان آب در دیواره الیاف افزایش یافته و منجر به افزایش استحکام می‌شود.

1- EDTA  
2- DTMPA

در یک مطالعه که بر روی بازیافت کاغذ روزنامه انجام شد نشان داد با افزایش pH (۱۱) به دلیل کاهش اندازه ذرات مرکب، کارایی شست‌وشو افزایش می‌یابد. pH زیاد، احتمالاً در شکسته شدن ذرات مرکب مؤثر است و باعث ایجاد ثبات هرچه بیشتر در ذرات مرکب شده و مانع تجمع مجدد آن‌ها می‌گردد. ولی در مطالعه دیگر نتایج نشان داد با افزایش pH تا سطح ۹، کارایی فرآیند شناورسازی افت می‌کند (بونسه، ۱۹۹۳).

استفاده از هیدروکسید سدیم برای خمیرهای کاغذ مکانیکی سبب تیرگی و زرد شدن رنگ خمیر می‌شود که این پدیده تیره شدن قلیایی<sup>۱</sup> نام دارد. سطوح زیاد pH منجر به زرد شدن رنگ خمیر می‌شود (ابوالقاسمی و همکاران، ۲۰۰۸).

مرکب‌زدایی خنثی: هزینه‌های کلی مواد شیمیایی برای مرکب‌زدایی، تصفیه و آبگیری لجن اصل معنی‌داری در تعیین سوددهی برنامه مرکب‌زدایی می‌باشد. کاربرد عوامل مرکب‌زدایی خنثی که به‌عنوان جایگزینی برای شیمی مرکب‌زدایی قلیایی متداول برای پیکربندی شناورسازی و شست‌وشو، علاقه‌ای که در حال رشد است (ترموت، ۱۹۹۳).

گرایش جدید برای فرآیندهای مطمئن و کارخانه‌ها در مرکب‌زدایی کاغذ روزنامه و مجله براساس مواد اولیه، حرکت از مرکب‌زدایی قلیایی متداول به طرف سطوح pH کمتر که به طور معمول به‌عنوان مرکب‌زدایی خنثی صحیح<sup>۲</sup> (pH حدود ۷/۲-۶/۸) و مرکب‌زدایی با قلیای کم یا کاهش یافته<sup>۳</sup> (pH حدود ۷/۲-۸/۸) منسوب شده است. اغلب این تمایل‌ها به واسطه صرفه‌جویی در هزینه مواد شیمیایی و یا فاکتورهای زیست‌محیطی مشتق شده است. معمولاً در مرکب‌زدایی خنثی صحیح فقط سورفکتانت به‌صورت مخلوطی از سورفکتانت مصنوعی به خمیرساز اضافه می‌شود (روسنکرس و همکاران، ۲۰۰۵). در مرکب‌زدایی با قلیای کم / کاهش یافته سیلیکات سدیم نیز به سورفکتانت اضافه می‌شود. دیگر سیستم با موفقیت کم، افزودن سولفیت سدیم به خمیرساز همراه با مواد کمک کننده به مرکب‌زدایی می‌باشد (لیپیر و همکاران، ۲۰۰۴). صرفه‌جویی در هزینه مواد شیمیایی در کمترین مقدار هیدروکسید سدیم و پراکسید هیدروژن و گاهی اوقات سیلیکات سدیم و یا کیلیت‌کننده به‌دست آمده است. اغلب در همه شکل‌های مرکب‌زدایی خنثی درجه‌روشنی خمیر در مقایسه با مرکب‌زدایی قلیایی به‌علت حذف پراکسید هیدروژن

- 
- 1- Alkaline Darkening
  - 2- True Neutral Deinking
  - 3- Reduced/Low Alkaline Deinking

از خمیرساز کمتر بوده هر چند حذف مرکب می‌تواند خیلی شبیه یکبار شیمی بهینه شده باشد. در حقیقت این اختلاف درجه‌روشنی به‌دست آمده با استفاده از سیستم مرکب‌زدایی خنثی می‌تواند جبران شود اگر فرآیند دارای پراکنده‌ساز یا مرحله رنگ‌بری با پراکسید هیدروژن باشد (والروس و همکاران، ۲۰۰۷). این به معنی افزایش صرفه‌جویی در هزینه مواد شیمیایی می‌باشد. دیگر مزایای کم کردن pH می‌تواند شامل بهبود یافتن حذف مواد چسبنده باشد (هانوکسلا و روسنکرس، ۲۰۰۸).

در حال حاضر تلاش بر این است که کارخانه مرکب‌زدایی در مقادیر pH یکنواخت‌تر کار کرده و از نواسانات زیاد از حد آن جلوگیری شود. برای این منظور، مقدار pH در دستگاه خمیر ساز به دقت تنظیم و بهینه‌سازی می‌شود، به این صورت که از مقادیر زیاد از حد هیدروکسید سدیم و سیلیکات سدیم اجتناب می‌شود. هم‌زمان با آن، در بسیاری از کارخانه‌ها مقدار pH کاغذسازی به‌صورت موفقیت‌آمیز به سطح خنثی یا شبه خنثی افزایش داده شده است. در عمل، اجرای فرآیند بدون مواد شیمیایی قلیایی مشکل است. بیشترین موفقیت مرکب‌زدایی خنثی هنگامی بوده است که از کاغذهای چاپ باطله با کیفیت مثل کاغذهای اداری (کاغذهای بدون خمیر مکانیکی) استفاده شده است (گولیچسن و پائلوپیرو، ۱۹۹۹).

تعدادی از تلاش‌ها در مرکب‌زدایی خنثی با فرنیس‌های روزنامه/مجله در طی سال‌ها انجام شده است بیشتر این تلاش‌ها با قلیای کم و یا نزدیک به خنثی با pH خمیرساز در محدوده ۸/۵-۸/۲ بوده است. تعداد خیلی کمی از این تلاش‌ها به‌صورت تجاری موفقیت‌آمیز بوده است (مورو و همکاران، ۲۰۰۵).

نسل آینده مواد شیمیایی مرکب‌زدایی، نه تنها مجبورند که از مواد رایج امروزی بهتر عمل کنند بلکه مجبور به پذیرفتن و عمل کردن به هزاران قوانین ضد آلاینده‌گی هستند. در تلاش برای رفع نیاز بازار، چندین ماده شیمیایی تهیه شده است و مراکز پژوهشی در حال پژوهش بر روی گسترش تکنولوژی‌های مرکب‌زدایی خنثی برای استفاده با کاغذ باطله روزنامه و مجله می‌باشند. فعالیت غالب در مرکب‌زدایی قلیای کم، استفاده از سولفیت سدیم به‌عنوان ترکیب اولیه در خمیرساز می‌باشد. اخیراً شرکت کمیرا<sup>۱</sup> هر دوی تکنولوژی مرکب‌زدایی نزدیک به خنثی و قلیای کم را با استفاده از سولفیت سدیم به‌صورت تجاری به‌کار گرفته است. در این پیشنهادها کارایی بهبود یافته و در مقایسه با

1- Kemira Chemicals Inc.



تکنیک‌های مرکب‌زدایی که نیاز به سولفیت سدیم دارند پتانسیل صرفه‌جویی افزایش یافته است. همچنین در سیستم عاری از سولفیت، نمک‌های اضافی که می‌تواند در تعدادی از کارخانه‌ها مشکل‌ساز شود حذف می‌شود. دو محصول سیستم برای تکنیک‌های مرکب‌زدایی خنثی<sup>۱</sup> Lionsurf NR و قلیایی کم استفاده می‌شود محصول اول برای برای بهبود جداسازی مرکب و ضد رسوب مناسب بوده در صورتی که محصول دوم برای بهبود جمع‌آوری و حذف مرکب مناسب است (مورو و همکاران، ۲۰۰۵).

اخیراً بعضی از کارخانجات مرکب‌زدایی به دلایلی در حال تجربه خمیرسازی و مرکب‌زدایی در محیط خنثی می‌باشند. زیرا در مورد بعضی کاغذهای باطله شیمیایی حذف لکه‌های مرکب در محیط با pH خنثی بهبود می‌یابد. در محیط با pH خنثی، صابون به سختی عمل کرده و اسید چرب مربوطه را ایجاد خواهد کرد که اثر کمی بر مرکب‌زدایی دارد. بیشتر کاغذهای باطله فرآوری شده با این روش، کاغذهایی هستند که با لیزر و تونرهای مشابه چاپ شده‌اند و به‌صورت شیمیایی با هیدروکسید سدیم واکنش نمی‌دهند. دلیل دیگر تلاش برای انجام عمل مرکب‌زدایی با مقادیر کمتر هیدروکسید سدیم یا بدون آن، مسئله میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD<sup>۲</sup>) در آب برگشتی است. افزودن مقادیر زیاد هیدروکسید سدیم به کمک حالت قلیایی ایجاد شده باعث خروج لیگنین و سایر مواد موجود در الیاف به خصوص الیاف مکانیکی، می‌شود. با افزایش فشارها جهت کاهش میزان COD در پساب‌ها، بعضی کارخانجات مرکب‌زدایی تلاش می‌کنند که در محیط خنثی به فعالیت پردازند (لتیباری و همکاران، ۲۰۰۸).

**مزایا و محدودیت‌های مرکب‌زدایی خنثی:** اجرای موفقیت‌آمیز مرکب‌زدایی خنثی چیره شدن بر موانعی مثل جداسازی مرکب بیشتر، تفکیک مرکب کمتر، رسوب مجدد مرکب بیشتر و حذف کمتر مرکب در شناورسازی می‌باشد (رورینگ و هینس، ۱۹۹۸).

چنانچه فرآیند مرکب‌زدایی در محیط خنثی اجرا شود مزایایی شامل حل شدن کمتر ترکیبات قابل حل در آب موجود در الیاف خمیر بازیافتی که منجر به افزایش بازده و کاهش اکسیژن خواهی شیمیایی<sup>۳</sup> و اکسیژن خواهی بیولوژیکی<sup>۴</sup> پساب فرآیند می‌شود و زرد شدن یا تیرگی الیاف خمیرهای

1- Deinking Agent

2- Chemical Oxygen Demand

3- Chemical Oxygen Demand(COD)

4- Biological Oxygen Demand(BOD)

مکانیکی جلوگیری می‌کند همچنین باعث صرفه جویی در هزینه مواد شیمیایی می‌شود (گولیچسن و پائلوپپرو، ۱۹۹۹).

از جمله مزایای مرکب‌زدایی خثی صرفه‌جویی در هزینه‌ها، بهبود قابلیت گذر با رسوب کمتر می‌شود همچنین از نقطه نظر ایمنی، به‌علت نداشتن جابجایی هیدروکسید سدیم و پراکسید هیدروژن مکان امنی برای کار به‌وجود می‌آید. موانع مرکب‌زدایی خثی شامل، جداسازی مرکب بیشتر، تفکیک مرکب کمتر، رسوب مجدد مرکب بیشتر و حذف مرکب در شناورسازی فقیرتر می‌باشد (نیکودیموس و هینس، ۲۰۱۱).

بونسه (۱۹۹۳) اعلام کرد که مرکب‌زدایی تحت pH خثی از زرد شدن الیاف مکانیکی به‌علت حذف سودسوزآور و سیلیکات سدیم از دستورالعمل مرکب‌زدایی خمیرساز جلوگیری می‌کند وی همچنین بیان داشت که به پراکسید هیدروژن و عوامل کی‌لیت‌کننده برای مدت طولانی در خمیرساز نیاز نیست. وی همچنین مزایای دیگری مثل خمیر بازیافت‌شده قوی‌تر تولید شده و کاهش در زباله کلوئیدی در پساب و تصفیه مواد چسبنده بیان نمود.

مزایای اولیه مرکب‌زدایی نزدیک به خثی می‌تواند قابل توجه باشد، شامل کاهش معنی‌دار هزینه مواد شیمیایی به‌علت حذف سود سوزآور، پراکسید هیدروژن، کی‌لیت‌کننده‌ها، عوامل کنترل زیست‌کش‌ها و کاتالازها و تمام یا بخشی از سیلیکات سدیم از خمیرساز می‌باشد (مورو و همکاران، ۲۰۰۵).

پژوهش‌های زیادی در مورد مرکب‌زدایی خثی در هر دو محیط صنعتی و آزمایشگاهی انجام شده است که با موفقیت‌هایی همراه بوده است. در مقیاس صنعتی شرکت کاغذ کاتاهیدن<sup>۱</sup> در شمال کشور آمریکا در سال ۲۰۰۴ شروع به مرکب‌زدایی خثی و جایگزینی آن با روش متداول با خمیر کاغذ روزنامه و مجله باطله کرده است. این کارخانه به‌طور معنی‌داری هزینه‌های خمیرسازی و رنگ‌بری را به وسیله حذف چندین ماده شیمیایی، کاهش داده و در عین حال کیفیت خمیر، بازده و تولید را حفظ کرده است.

نیکودیموس و هینس (۲۰۱۱) مرکب‌زدایی خثی با استفاده از سولفیت سدیم در مقایسه مرکب‌زدایی متداول را در مقیاس آزمایشگاهی و صنعتی انجام دادند. آن‌ها کارآیی برنامه مرکب‌زدایی

---

1- Katahdin Paper Company

جدید را براساس حذف مرکب، درجه‌روشنی، بازده و صرفه‌جویی هزینه‌ها نشان دادند و مزایای دیگری مثل کاهش مسئله رسوب در ماشین کاغذ به علت حذف هیدروکسید سدیم از شیمی خمیرساز را نیز عنوان کردند. همچنین قابلیت گذر ماشین کاغذ بهبود پیدا کرده است. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که در مرکب‌زدایی خنثی نسبت به قلیایی، جداسازی مرکب قابل قبول و مساوی است با مقدار مرکب بهتر و تجزیه و تفکیک مرکب بیشتر می‌باشد همچنین افت بازده قابل ملاحظه‌ای نداشت و حذف مرکب بهبود پیدا کرده است. درجه‌روشنی بعد از شناورسازی بیشتر نسبت به خمیرسازی قلیایی به علت حذف مرکب و تا دو درجه ایزو بیشتر شده است. نتایج در مقیاس صنعتی نشان داد که در مرکب‌زدایی خنثی جداسازی مرکب قابل قبول می‌باشد و کارایی حذف مرکب ۲ تا ۴ درصد افزایش یافته و درجه‌روشنی در شناورسازی بهبود یافته و درجه‌روشنی خمیر مرکب‌زدایی شده نهایی کمتر بوده است.

وانگ و همکاران (۲۰۱۱) شرایط بهینه و پارامترهای خمیرسازی در مرکب‌زدایی خنثی کاغذ روزنامه کهنه و تأثیر آن بر روی کارایی مرکب‌زدایی را بررسی کرده و آن را با مرکب‌زدایی قلیایی مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد درصد خشکی کم و زمان کوتاه خمیرسازی در حذف مرکب در مرحله خمیرسازی خنثی بیشترین سهم را داشته‌اند. شرایط بهینه برای خمیرسازی کاغذ روزنامه کهنه را عامل مرکب‌زدایی ۱-۶/۰ درصد، درصد خشکی خمیرسازی ۸-۶ درصد، زمان خمیرسازی ۱۵ دقیقه و درجه حرارت ۴۰ درجه سانتی‌گراد اعلام کردند. درجه حرارت کم در مرحله خمیرسازی مرکب‌زدایی خنثی می‌تواند بهبود بیشتری در کارایی مرکب‌زدایی و کاهش مصرف انرژی گرما داشته باشد. مقایسه مرکب‌زدایی خنثی و قلیایی کاغذ روزنامه کهنه نشان داد که درصد خشکی کم خمیرسازی در حذف مرکب در مرکب‌زدایی خنثی شرکت داشته در صورتی که درصد خشکی زیاد در مرکب‌زدایی قلیایی یک مزیت محسوب می‌شود. همچنین اعلام کردند خمیر مرکب‌زدایی شده خنثی نسبت به خمیر مرکب‌زدایی شده قلیایی قابلیت رنگ‌بری بهتری با پراکسید هیدروژن دارد و در مصرف پراکسید ۶۰ درصد صرفه‌جویی شده موقعی که درجه روشن‌ی مشابه خمیر قلیایی باشد.

ژیا لین ژانگ و وانگ (۲۰۱۱) مکانیسم و شرایط فنی مرکب‌زدایی خنثی کاغذ مجله کهنه را با استفاده از NTM-2 انجام دادند. آن‌ها از میکروسکوپ زیست شناختی وارونه المپیوس<sup>۱</sup> برای بیان

1- Olympus Inverted Biological Microscope

توزیع ذرات مرکب در خمیر بازیافتی قبل و بعد از تیمار مرکب‌زدایی و از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) برای آنالیز تغییرات سطوح الیاف در طول مرکب‌زدایی خنثی و رفتار پراکنده شدن ذرات مرکب در کاغذ استفاده کردند. نتایج نشان داد که NTM-2 اثر مرکب‌زدایی خوبی با کاغذ مجله کهنه دارد و شرایط عملیاتی بهینه ۰/۵ درصد NTM-2، درجه حرارت مرکب‌زدایی ۵۰ درجه سانتی‌گراد، زمان مرکب‌زدایی ۴۰ دقیقه، زمان خمیرساز ۲۵ ثانیه، درصد خشکی خمیر ۱ درصد و زمان شناورسازی ۶ دقیقه تعیین شده بود. با این شرایط درجه‌روشنی خمیر مرکب‌زدایی شده به ۸/۴ درصد ایزو افزایش یافته و کارایی حذف مرکب ۹۰ درصد به دست آمده بود. تصاویر میکروسکوپ زیست شناختی وارونه ال‌مپیس نشان داد که مقدار زیادی ذرات مرکب در خمیر تیمار نشده وجود داشت و این ذرات مرکب به الیاف به‌طور محکمی چسبیده‌اند. بعد از تیمار مرکب‌زدایی خنثی بیشتر ذرات مرکب از الیاف جدا و پراکنده شده و به‌صورت معلق در خمیر در آمده بودند. همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۱</sup> نشان داد که ذرات مرکب کمی در کاغذ بازیافتی وجود داشته و سطح الیاف نرمتر و درجه تمیزی تقریباً مشابه اثر مرکب‌زدایی قلیایی را دارد.

### نتیجه‌گیری

امروزه با پیشرفت الیاف بازیافتی در بازار کاغذ، مردم توجه بیشتری برای تکنولوژی بازیافت کاغذ باطله دارند. از این رو توجه به امر بازیافت کاغذ امری ضروری است. برای تأمین کیفیت موردنظر بازار و مردم نیاز به روش‌هایی برای بهبود ویژگی‌های و کاهش آلودگی‌های کاغذ بازیافتی می‌باشد از جمله این روش‌ها می‌توان به مرکب‌زدایی اشاره نمود. مرکب‌زدایی باعث حذف مرکب چاپ و سایر مواد آلاینده که بر کیفیت نهایی خمیر و کاغذ بازیافتی تأثیرگذارند شده و توجه دقیق و تعیین شرایط بهینه شیمی مرکب‌زدایی امری ضروری می‌باشد. مرکب‌زدایی به شیوه متداول معمولاً در محیط قلیایی انجام می‌شود و محدوده pH در حدود ۹/۵ تا ۱۰/۵ تنظیم می‌شود. مرکب‌زدایی قلیایی متداول معایب و محدودیت‌های مثل زرد شدن الیاف مکانیکی در محیط قلیایی (تیره شدن قلیایی)، حل شدن مواد چسبنده در خمیر بیشتر، بازده کمتر به‌علت حل شدن مواد قابل حل با استفاده از مواد شیمیایی بیشتر، افزایش بار آلودگی پساب به‌علت وجود مواد شیمیایی مثل سود سوزآور و سیلیکات سدیم و همچنین افزایش هزینه‌ها به‌علت استفاده از مواد شیمیایی دارد که این محدودیت‌ها و معایب باعث شده که

1- Scanning Electron Microscope (SEM)

دست‌اندرکاران صنعت بازیافت به فکر استفاده از روش جدیدی برای کاهش این معایب باشند این گرایش جدید حرکت از سوی مرکب‌زدایی قلیایی متداول به سوی سطوح کمتر pH و تا خنثی می‌باشد که به مرکب‌زدایی خنثی یا شبه خنثی معروف است. مرکب‌زدایی خنثی باعث کاهش مصرف مواد شیمیایی می‌شود و خود کاهش در مصرف مواد شیمیایی باعث مزایای زیادی از جمله صرفه جویی در هزینه‌ها، کاهش بار آلودگی پساب کارخانجات شده است. مزایای دیگر این روش شامل زرد شدن یا تیره شدن کمتر الیاف بازیافتی (خمیر مکانیکی)، بهبود قابلیت گذر و رسوب کمتر در ماشین کاغذ و از نظر ایمنی به علت کمتر شدن مواد شیمیایی مورد استفاده محیط امن‌تری برای کار کردن می‌باشد. تمام این مزایا باعث شده مرکب‌زدایی خنثی جایگزین مناسب از لحاظ فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی برای مرکب‌زدایی قلیایی متداول مطرح شود که امروزه به صورت وسیعی در سطح دنیا مورد استفاده صنعت بازیافت قرار گرفته است.

#### رهیافت ترویجی

صنعت بازیافت کاغذ در کشور ما رو به رشد می‌باشد و با توجه به این‌که بازیافت کاغذ در ایران بدون حذف آلاینده انجام می‌شود، و زمینه کار و فعالیت و پژوهش در این بخش احساس می‌شود. و تنها کارخانه‌ای که در این بخش مرکب‌زدایی انجام می‌دهد امروزه سیستم مرکب‌زدایی خود را تعطیل کرده و از کاغذهای حاصل از لبه‌بری رول‌های کاغذ استفاده می‌کند. با توجه به نیازهای پیش روی کشور در زمینه کاغذ، بازیافت کاغذ با حذف آلاینده نیازی ضروری برای تأمین نیاز جامعه می‌باشد. یکی از مهمترین آلاینده‌ها مرکب موجود در الیاف بازیافتی می‌باشد. و پژوهش‌های گسترده در سطح دنیا نشان می‌دهد که مرکب‌زدایی خنثی نه تنها خمیر با ویژگی‌های مشابه‌ای از مرکب‌زدایی قلیایی به دست می‌آید بلکه از لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی وضعیت بهتری دارد. این روش به صورت ویژه‌ای در تمام دنیا صنعتی شده است و با توجه به نیاز صنعت بازیافت در کشور، بهتر است از این روش در صنعت بازیافت استفاده شود.

#### منابع

1. Abolghaseme, H., Manzorolajdad, M. and Shafarody, A. 2008. Optimization of pulping operating condition on deinking yield from ONP by flotation method. Iranian, Journal of Chemistry Engineering, 31: 6. 28-41. (Translated in Persian)

2. Aryaie Monfared, M.H. and Resalati, H. 2008. The Effect of treatment time and enzyme dosage on the deinking efficiency of copy printed wood-free uncoated with cellulase from *aspergillus niger*. PTS-CTP deinking Symposium, Hannover, Germany, 27p. (Translated in Persian)
3. Bunce, P.G. 1993. Mill experiences in wastepaper processing with low cost operation under Neutral pulping conditions. Wastepaper IV Conference Proceedings, Section 15.
4. Ghasemian, A. 2004. Investigate properties deinked pulp of ONP.OMG compared with CMP Pulp. Tehran, Journal Natural Resources, 57: 3. 537-550. (Translated in Persian)
5. Ghasemian, A. and Akbarpour, I. 2011. Strategy of paper recycling and its position in the supply of raw material in the pulp and paper industries of Iran. The 1<sup>st</sup> national conference on Iranian road map at 1404 for supplying raw material and development of wood and paper industries. Iran, Gorgan, 22-23 Novembers. (Translated in Persian)
6. Ghasemian, A. and Khalili, A. 2011. Fundamentals and procedures of paper recycling. Aeeizh press, 157p. (Translated in Persian)
7. Gullichsen, J., and Paulapuro, H. 1999. Recycled fiber and deinking. Book 7, papermaking science and technology, Fapet Oy, Helsinki, Finland.
8. Hannuksela, T., and Rosencrance, S. 2008. Deinking chemistry. Kemira chemicals Inc.
9. Lapiere, L., Bouchard, J., Dorris, G., Pembroke, C., Allen, J. and Hill, G. 2004. Mill trials on near-neutral sulphite deinking. Part I, Pulp and Paper Canada. 105: 2. 42-46.
10. Lassus, A. 2000. Deinking chemistry. In: Papermaking science and technology, Book 7: Recycled fiber and deinking. Fapet Oy, Helsinki, Finland.
11. Latibari, A.J., Khosravani, A. and Rahmaninia, M. 2008. Technology of paper recycling. Arvich Press. 540p.
12. Morrow, H., Horacek, B., Hale, K. and Rosencrance, S. 2005. True neutral deinking, Paper age, Septembers/Octobers 2005.
13. Nicodimos, E., and Haynes, R.D. 2011. Introduction of sodium sulfite free neutral deinking. TAPPI Peers Conference.
14. Roring, A., and Haynes, R. 1998. What Are the Benefits and Barriers of Neutral Deinking? Progress in Paper Recycling, 7: 3. 73-79.
15. Rosencrance, S., Horacek, B., and Hale, K. 2005. A unique new ONP/OMG true neutral deinking technology. EXFOR Secondary Fabre Conference, Montreal, Canada.
16. Shou, J.W., Fan, G.K., Jia, Ch.Ch., and Gui, H.Y. 2011. Neutral deinking process optimization and comparison with alkaline deinking of Old Newsprint. Advanced Materials Research. 201: 203. 2850-2853.

17. Tremont, S.R. 1993. Impact of neutral deinking chemistry on DAF clarification and sludge dewatering of deink plant rejects. Pulping Conference, TAPPI Proceeding. 749-756.
18. Vahlroos, S., Korkko, M., Rosencrance, S., and Ninimaki, J. 2007. Comparison of DIP bleachability between traditional soap and reduced alkaline chemistries, proceeding from 8<sup>th</sup> Research Forum on Recycling, Niagara Falls, Ontario, Canada, 292-301.
19. Xiao, L.Z., and Ru, M.W. 2011. OMG Neutral Deinking Technical Conditions and Mechanism. Advanced Materials Research, 236-238: 1351-1354.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Conservation and Utilization of Natural Resources, Vol. 1 (1), 2013*  
<http://ejang.gau.ac.ir>

## **Neutral Deinking, Proper and Environmental Friendly Replacement for Conventional Alkaline Deinking**

**\*S.M. Miri<sup>1</sup>, A. Ghasemian<sup>2</sup> and M.H. Aryaie Monfared<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Graduated Student of Pulp and Paper Technology, Gorgan University of  
Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, <sup>2</sup>Associate Professor of Pulp  
and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,  
Gorgan, Iran, <sup>3</sup>Ph.D. Graduated Student of Pulp and Paper Technology, Gorgan University  
of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 2013/01/21 ; Accepted: 2013/04/21

### **Abstract**

Today, reuse of recycled paper is of importance as one of the ways to supply cellulosic raw materials for pulp and paper industry. Due to presence of contaminant such as adhesives and printing ink, optical and mechanical properties of recycled papers considerably reduce, but using the deinking method such problem can be prevented. On the other hand, some problems such as darkening of the pulp in an alkaline environment and increased contamination of effluent cause some limitations in usage of this method. Now, neutral deinking has been known as an alternative to alkaline deinking in the world. This paper studies the advantages and limitations of this method. Overall, neutral deinking because of the reduced use of chemicals results in significant saving in production costs and also, considering the environment, due to elimination of sodium hydroxide, reduces the amount of COD and BOD in the effluents. In addition, reduction in solubility of soluble substances in the paper in water process, results in increased yield and reduced yellowing of mechanical pulp fibers.

**Keywords:** Waste paper, Recycling, Conventional alkaline deinking chemistry, Neutral deinking chemistry

---

\* Corresponding author; mhnmiri65@yahoo.com