

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱/۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۱۱

ص ۵۱۷-۵۲۹

استفاده از هیدروکسید منیزیم به جای هیدروکسید سدیم در

مرکب‌زدایی مخلوط کاغذهای روزنامه و مجله باطله

- ❖ حمیدرضا مهری ابرائی؛ دانشجوی مقطع دکتری، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ❖ علی قاسمیان؛ دانشیار، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ❖ محمدهادی آریائی منفرد*؛ استادیار، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده

هدف این تحقیق، ارزیابی امکان جایگزینی هیدروکسید سدیم با هیدروکسید منیزیم به‌منزله منبع قلیا در مرکب‌زدایی مخلوط کاغذهای روزنامه و مجله باطله است. مخلوط روزنامه کهنه و مجله به ترتیب به نسبت ۷۰-۳۰ در سه سطح ۱، ۱/۵ و ۲ درصد (براساس وزن خشک خمیر) هیدروکسید منیزیم به مدت ۲۰ دقیقه تیمار شد. ویژگی‌های نوری و مکانیکی و بار COD پساب حاصل با نمونه شاهد و نمونه تیمار شده با هیدروکسید سدیم مقایسه شد. نتایج نشان داد که بار COD پساب در تیمارهای شیمیایی انجام شده با استفاده از هیدروکسید منیزیم کمتر از نمونه تیمار شده با هیدروکسید سدیم است. بررسی نتایج تیمارها نشان داد، تیماری که در آن از ۱/۵ درصد هیدروکسید منیزیم (برمبنای وزن خشک خمیر کاغذ) استفاده شده است، از نظر مجموع ویژگی‌های نوری و مقاومتی بهترین تیمار است. در مجموع، با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان استفاده از هیدروکسید منیزیم به جای هیدروکسید سدیم را به‌منزله منبع قلیایی در فرایند مرکب‌زدایی مخلوط کاغذ روزنامه و مجله پیشنهاد کرد.

واژگان کلیدی: اکسیژن‌خواهی شیمیایی، کاغذ روزنامه باطله، کاغذ مجله باطله، مرکب‌زدایی، هیدروکسید منیزیم، هیدروکسید سدیم.

مقدمه

در سال‌های اخیر، با کاهش روزافزون منابع جنگلی در سطح دنیا و افزایش فشارهای زیست‌محیطی، بازیافت کاغذ باطله به یکی از روش‌های مناسب جهت تأمین مواد اولیه سلولزی برای صنایع کاغذسازی تبدیل شده است و بسیاری از کارخانه‌ها از مخلوط الیاف بازیافتی و خمیر بکر حاصل از گونه‌های مختلف چوبی، به‌منزله ماد| اولیه برای تولید کاغذ استفاده می‌کنند [۱].

کاغذهای باطله عموماً چاپ‌شده بوده و ویژگی‌های نوری آن‌ها به دلیل وجود مرکب، برای استفاده مجدد در محصولاتی که این ویژگی‌ها در آن‌ها اهمیت دارند- مانند کاغذهای چاپ و تحریر- مناسب نیست. بنابراین، حذف این آلاینده از طریق فرایند مرکب‌زدایی ضروری است. در مرکب‌زدایی، همچون خمیرسازی و رنگ‌بری، یکی از مواد شیمیایی مهم استفاده‌شده هیدروکسید سدیم است. هیدروکسید سدیم در تیمار شیمیایی مرکب‌زدایی، سبب شکستن پیوند بین مرکب، الیاف و همچنین فعال‌سازی پراکسید هیدروژن می‌شود و از سوی دیگر از طریق بهبود واکنشیدگی مجدد الیاف، انعطاف‌پذیری و قابلیت‌های پیوندپذیری الیاف را بهبود می‌بخشد [۲]. همچنین، هیدروکسید سدیم نوعی ماده قلیایی قوی است و با ایجاد pH بالا، سبب انحلال و خروج لیگنین و سایر مواد موجود در الیاف به‌خصوص در الیاف مکانیکی می‌شود و بار اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)^۱ پساب را افزایش می‌دهد [۳]. پژوهشگران جهت کاهش بار COD

پساب رنگ‌بری و خمیرسازی مکانیکی، استفاده از سایر منابع قلیایی مانند هیدروکسید منیزیم را بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که استفاده از این ماده قلیایی سبب کاهش بار آلودگی پساب می‌شود. آن‌ها دلیل این امر را قدرت قلیایی متوسط هیدروکسید منیزیم ذکر کرده‌اند [۴؛ ۶]. هم‌اکنون نیز، به دلیل به اثبات رسیدن کاهش بار آلودگی پساب با استفاده از هیدروکسید منیزیم در فرایند رنگ‌بری، رنگ‌بری پراکسید با استفاده از هیدروکسید منیزیم، در صنعت خمیر و کاغذ توسعه پیدا کرده است و بررسی‌های تحقیقاتی نیز مؤید این امر است [۷].

سوئز^۲ و همکاران [۸] استفاده از هیدروکسید منیزیم، اکسید منیزیم و کربنات سدیم را در رنگ‌بری خمیرکاغذ مکانیکی بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که استفاده از این مواد شیمیایی سبب کاهش بار COD در مقایسه با هیدروکسید سدیم می‌شود، اما فقط هیدروکسید منیزیم ویژگی‌های نوری و مقاومتی مشابه با رنگ‌بری پراکسید با استفاده از هیدروکسید سدیم را ارائه داد.

جانسون^۳ و همکاران [۵] رنگ‌بری خمیر TMP را با استفاده از پراکسید هیدروژن و هیدروکسید منیزیم بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که وقتی هیدروکسید سدیم و سیلیکات سدیم با سطح بهینه‌ای از هیدروکسید منیزیم جایگزین شوند، درجه روشنایی خمیرکاغذ حاصل، معادل یا بیشتر از درجه روشنایی خمیرکاغذ حاصل از رنگ‌بری متداول بوده و بار اکسیژن‌خواهی شیمیایی و پراکسید باقی‌مانده در پساب رنگ‌بری حاصل از رنگ‌بری با هیدروکسید

2. Suess
3. Johnson

1. Chemical Oxygen Demand

از بازده و ویژگی‌های نوری و مقاومتی بالاتر و ویژگی‌های فیزیکی یکسان برخوردار است. آن‌ها همچنین دریافتند با استفاده از هیدروکسید منیزیم میزان بار اکسیژن‌خواهی شیمیایی پساب رنگ‌بری به میزان درخور توجهی کاهش یافته است.

قاسمی و همکاران [۱۰] ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ و بار آلودگی پساب حاصل از رنگ‌بری با هیدروکسید منیزیم و هیدروکسید سدیم را نیز بررسی کردند و دریافتند که ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ رنگ‌بری‌شده با هیدروکسید منیزیم کمتر از ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ رنگ‌بری‌شده با هیدروکسید سدیم بوده است، ولی بار COD پساب آن در مقایسه با رنگ‌بری با هیدروکسید سدیم کمتر است.

با توجه به اینکه در مرکب‌زدایی استفاده از یک منبع قلیایی جایگزین با هیدروکسید سدیم، به منظور کاهش بار آلودگی پساب، ضروری به نظر می‌رسد، در پژوهش انجام‌شده، تأثیر استفاده از هیدروکسید منیزیم به جای هیدروکسید سدیم در فرایند مرکب‌زدایی مخلوط کاغذ روزنامه و مجله باطله و تأثیر آن بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیرکاغذ مرکب‌زدایی‌شده و بار COD پساب حاصل بررسی شد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه: کاغذهای باطله استفاده‌شده در این تحقیق، کاغذهای روزنامه و مجله باطله تازه‌چاپ‌شده به ترتیب با نسبت ۳۰ و ۷۰ درصد بود.

مواد شیمیایی استفاده‌شده عبارت است از پلی‌سوربات ۸۰ (ماده فعال‌ساز سطحی)، محصول شرکت

منیزیم، به ترتیب کمتر و بیشتر از رنگ‌بری متداول است.

استک^۱ و همکاران [۹] تأثیر استفاده از اکسید منیزیم به جای هیدروکسید سدیم را در کارایی مرکب‌زدایی و افزایش درجه روشن‌ی خمیرکاغذ مرکب‌زدایی‌شده حاصل از کاغذ روزنامه باطله بررسی کردند و دریافتند که در مرکب‌زدایی با اکسید منیزیم، میزان کارایی به دلیل نشست مجدد ذرات مرکب بر روی الیاف، در مقایسه با مرکب‌زدایی با استفاده از هیدروکسید سدیم، کمتر است. آن‌ها همچنین دریافتند که با افزایش میزان هیدراته کردن اکسید منیزیم و استفاده از ماده فعال‌ساز سطحی، میزان کارایی مرکب‌زدایی و حذف ذرات مرکب افزایش و درجه روشن‌ی خمیرکاغذ بهبود پیدا می‌کند.

هریسون^۲ و همکاران [۴] استفاده از هیدروکسید منیزیم در حین پالایش خمیر TMP سوزنی‌برگان با هدف رنگ‌بری از آن را بررسی کردند و دریافتند که رنگ‌بری پالایشی با استفاده از هیدروکسید منیزیم در مقایسه با هیدروکسید سدیم، سبب افزایش بازده و ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ و کاهش بار اکسیژن‌خواهی پساب و انرژی مورد نیاز برای پالایش می‌شود.

زینلی و همکاران [۶] تأثیر استفاده از هیدروکسید منیزیم به جای هیدروکسید سدیم در رنگ‌بری خمیرکاغذ CMP با استفاده از پراکسید هیدروژن را مطالعه کردند و دریافتند که در مقدار یکسان مواد شیمیایی، خمیرکاغذ رنگ‌بری‌شده با استفاده از هیدروکسید منیزیم، در مقایسه با هیدروکسید سدیم،

1. Stack
2. Harrison

شناورسازی و شست‌وشو: شناورسازی

خمیرکاغذهای تیمارشده در درصد خشکی ۰/۸ درصد همراه با افزودن ۰/۳۳ درصد کلرید کلسیم، در یک سلول ۲۰ لیتری استفاده شده از سوی آریائی منفرد و همکاران [۱۱]، که در محل آزمایشگاه خمیر و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان موجود است (شکل ۱)، به مدت ۲۰ دقیقه و با اعمال جریان هوای حدود ۶ لیتر بر دقیقه و در دمای محیط انجام شد. سپس کلیه نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه بر روی الک با مش ۲۰۰ و توسط آب تحت فشار (سرشلنگی دستی) شست‌وشو داده شدند.



شکل ۱. سلول شناورسازی آزمایشگاهی مورد استفاده برای جداکردن ذرات مرکب

پس از شناورسازی پساب زیر الک مش ۲۰۰ خمیر جمع‌آوری شده و دوباره با کاغذ صافی واتمن برای جداسازی نرمة‌ها صاف شد. اندازه‌گیری COD طبق استاندارد شماره ۶۰۶۰ استاندارد ISO اندازه‌گیری شد [۱۲].

تعیین ویژگی‌ها: ساخت کاغذهای دست‌ساز

استاندارد ۶۰ گرمی براساس استاندارد شماره (۲-۰۲ sp-T205) دستورالعمل‌های آیین‌نامه تاپی^۲ انجام شد و ویژگی‌های نوری، فیزیکی، و مکانیکی کاغذهای دست‌ساز مرکب‌زدایی شده نیز طبق همین

فلوکا کشور ژاپن، هیدروکسید سدیم، هیدروکسید منیزیم، پراکسید هیدروژن، کلرید کلسیم، سیلیکات سدیم و ماده کی‌لیت‌ساز با نام دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید (DTPA)^۱، همگی ساخت شرکت مرک کشور آلمان بودند.

خمیرسازی مجدد: ۱۰۰ گرم (براساس وزن خشک)

مخلوط روزنامه و مجله با درصد خشکی ۵ درصد تهیه شده و به مدت یک ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا الیاف کاغذ کمی نرم شوند. سپس نمونه‌های خمیرکاغذ به همراه ۰/۲ درصد پلی سوربات ۸۰ (برمبنای وزن خشک خمیرکاغذ)، در داخل دستگاه پراکنده‌ساز ساخت شرکت PTS موجود در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان قرار گرفتند و تحت ۲۵۰۰۰ دور الیاف آن جدا شد و در ادامه درصد خشکی آن‌ها به ۸ درصد رسانده شد. سپس نمونه‌ها به حمام آب گرم با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد انتقال داده شدند و طی ۲۰ دقیقه تحت تیمار شیمیایی قرار گرفتند [۱۱]. مقادیر مواد شیمیایی استفاده شده و شرایط تیمارهای شیمیایی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. مقادیر مواد شیمیایی در خمیرسازی مجدد

نوع ماده	مقدار (درصد)
هیدروکسید سدیم	۱
هیدروکسید منیزیم (به‌ازای وزن خشک خمیرکاغذ)	۱، ۱/۵ و ۲
پراکسید هیدروژن	۱
سیلیکات سدیم	۲
پلی سوربات ۸۰	۰/۲
دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید	۰/۳

با NaOH انتخاب شده است که نشان‌دهنده قدرت قلیایی معادل است.

نتایج و بحث

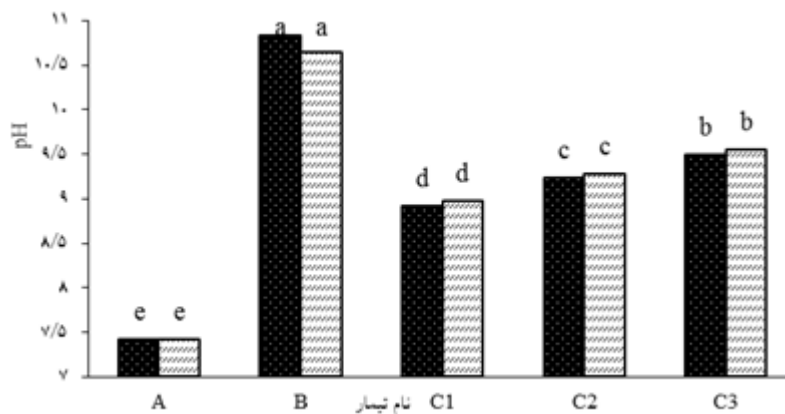
pH اولیه و نهایی: نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین pH اولیه و نهایی خمیرکاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف آزمایش در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معناداری وجود دارد و آزمون دانکن مقادیر pH اولیه و نهایی اندازه‌گیری شده را در ۵ گروه قرار داده است (شکل ۲). میزان pH اولیه و نهایی تیمار B نسبت به تیمارهای C_۱، C_۲ و C_۳ بیشتر شده است که دلیل آن قدرت انحلال و در نتیجه قدرت قلیایی بیشتر هیدروکسید سدیم نسبت به هیدروکسید منیزیم است [۶].

آیین‌نامه و به ترتیب زیر اندازه‌گیری شد: درجه روشنی (T_{۴۵۲} om-۰۲)، ماتی (T_{۴۲۵} om-۰۱)، ضخامت (T_{۴۱۱} om-۰۵)، مقاومت به کشش (۰۱- T_{۴۹۴} om)، مقاومت به ترکیدن (T_{۴۰۳} om-۰۲)، مقاومت به پارگی (T_{۴۱۴} om-۰۴) [۱۳].

تجزیه و تحلیل آماری: برای تحلیل نتایج این تحقیق از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. آزمون تجزیه واریانس نمونه‌ها با روش ANOVA و مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن، با نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای معرفی تیمارهای آزمایش علامت‌های اختصاری به شرح جدول ۲ مورد استفاده قرار گرفتند. شایان ذکر است که از هر تیمار سه تکرار انجام گرفت و ویژگی‌های آن اندازه‌گیری شد. میزان Mg(OH)_۲ بر مبنای نسبت اکی‌والانی برابر

جدول ۲. علائم اختصاری استفاده‌شده برای معرفی تیمارهای آزمایش

کد تیمار	توضیحات
A	نمونه شاهد
B	مرکب‌زدایی با ادرصد NaOH، به منزله منبع قلیا
C _۱	مرکب‌زدایی با ادرصد Mg(OH) _۲ بر مبنای نسبت اکی‌والانی برابر با NaOH
C _۲	مرکب‌زدایی با ۱/۵ ادرصد Mg(OH) _۲ بر مبنای نسبت اکی‌والانی برابر با NaOH
C _۳	مرکب‌زدایی با ۲ ادرصد Mg(OH) _۲ بر مبنای نسبت اکی‌والانی برابر با NaOH



شکل ۲. تغییرات pH برای تیمارهای هیدروکسید سدیم و هیدروکسید منیزیم

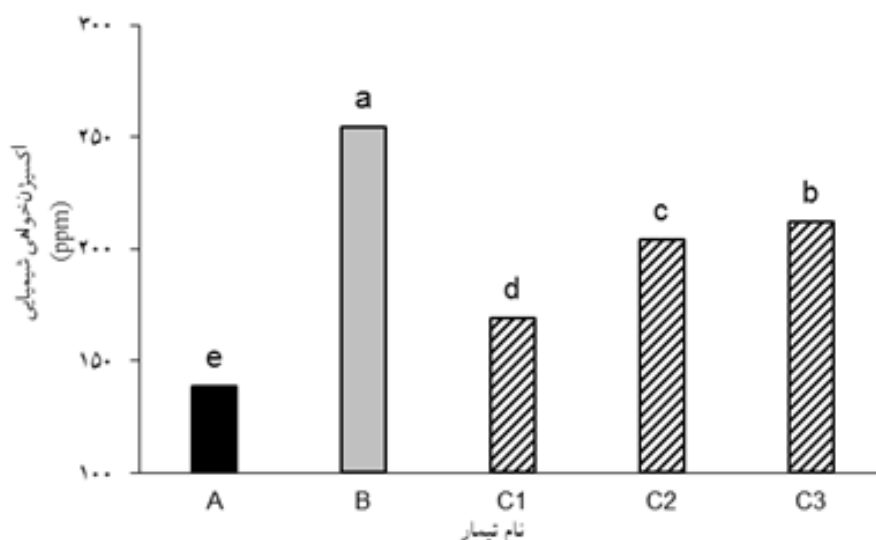
قلیایی متوسط هیدروکسید منیزیم و در نتیجه کمتر بودن pH محیط واکنش است، زیرا هرچه pH محیط واکنش کمتر باشد، انحلال لیگنین و کربوهیدرات‌ها کمتر می‌شود و در نتیجه آن بار COD پساب کاهش می‌یابد.

ویژگی‌های نوری

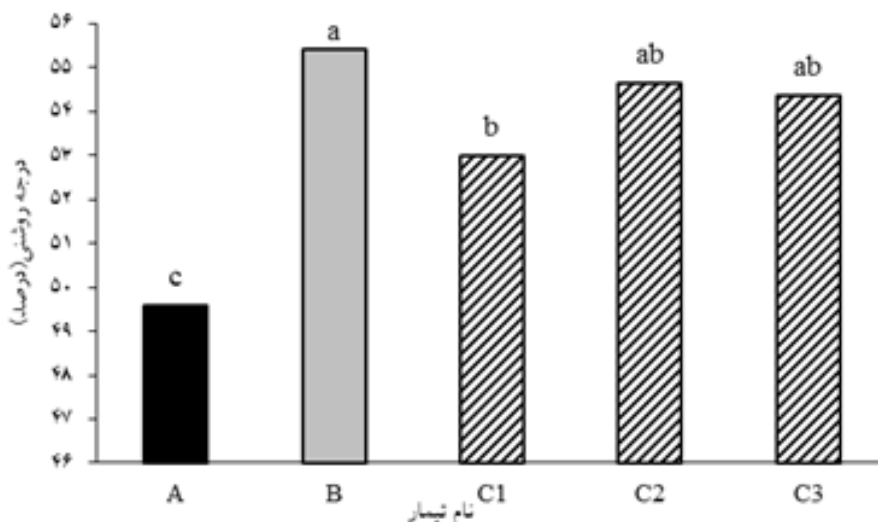
درجه روشنایی: نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین درجه روشنایی خمیرکاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف آزمایش در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معناداری وجود دارد. آزمون دانکن مقادیر درجه روشنایی اندازه‌گیری شده را در ۳ گروه قرار داده است؛ به طوری که بین درجه روشنایی خمیرکاغذهای حاصل از تیمارهای B، C_۲ و C_۳، و C_۱، C_۲ و C_۳ اختلاف معناداری مشاهده نشد (شکل ۴).

ویژگی‌های پساب

اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD): نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین بار COD پساب حاصل از تیمارهای مختلف آزمایش، در سطح اطمینان ۹۹ درصد، اختلاف معناداری وجود دارد و آزمون دانکن مقادیر اندازه‌گیری شده را در ۵ گروه قرار داده است؛ به طوری که در بین تیمارهای شیمیایی انجام شده بیشترین مقدار COD مربوط به تیمار B و کمترین آن مربوط به تیمار C_۱ است (شکل ۳). بار COD پساب، به لیگنین، کربوهیدرات و سایر ترکیبات آلی حل شده در پساب بستگی دارد و با افزایش میزان انحلال این مواد در پساب، COD افزایش می‌یابد [۱۴]. بار COD پساب حاصل از تیمارهای انجام شده با هیدروکسید منیزیم نسبت به بار COD پساب حاصل از تیمار انجام شده با هیدروکسید سدیم کمتر شده است که دلیل آن قدرت



شکل ۳. تغییرات اکسیژن‌خواهی شیمیایی پساب حاصل از تیمارهای مختلف



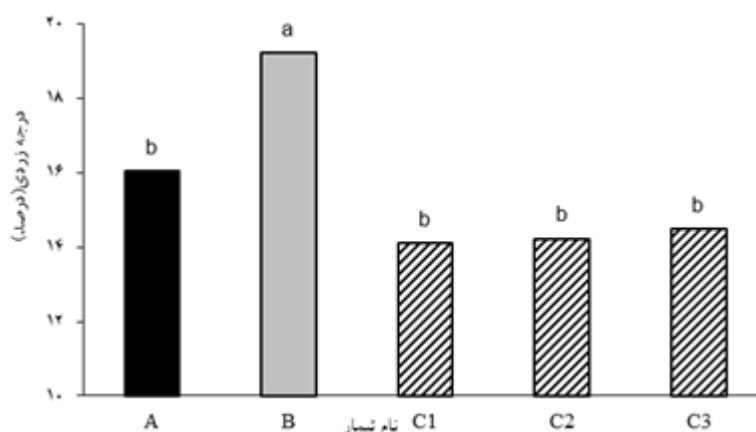
شکل ۴. تغییرات درجه روشنی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف

درجه زردی اندازه‌گیری شده را در ۳ گروه قرار داده است؛ به طوری که بین درجه زردی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای C_1 ، C_2 و C_3 اختلاف معناداری مشاهده نشده است (شکل ۵). نتایج نشان می‌دهد که تیمار B درجه زردی خمیر کاغذ را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش می‌دهد؛ در حالی که تیمارهای C درجه زردی خمیر کاغذ را در مقایسه با تیمار شاهد تغییری نداده که دلیل آن قدرت قلیایی متوسط هیدروکسید منیزیم و کمتر بودن pH محیط واکنش در طول تیمار شیمیایی با استفاده از هیدروکسید منیزیم است [۶].

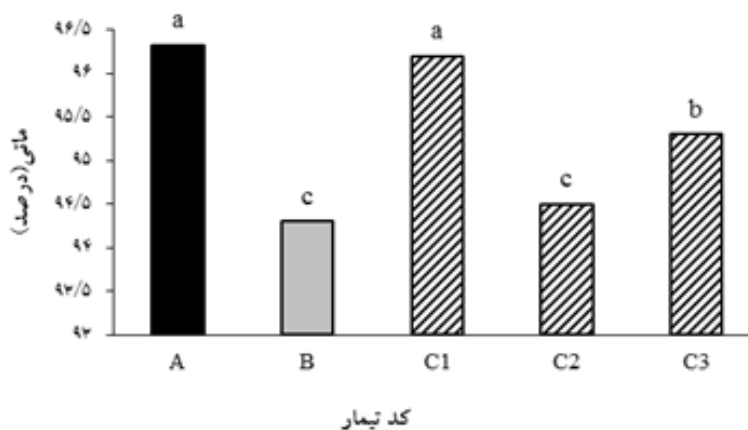
ماتی: نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین ماتی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف آزمایش در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معناداری وجود دارد. آزمون دانکن مقادیر ماتی اندازه‌گیری شده را در ۳ گروه قرار داده است؛ به طوری که بین ماتی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای A و C_1 و B و C_2 اختلاف معناداری مشاهده نشده است (شکل ۶).

درجه روشنی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای انجام شده نسبت به درجه روشنی خمیر کاغذ حاصل از تیمار شاهد افزایش پیدا کرده است که دلیل آن جداسازی ذرات مرکب در نتیجه واکنش الیاف و دسترسی ماده فعال قلیایی به شبکه ذرات مرکب و انحلال چسب مرکب است [۳؛ ۱۵]. در بین تیمارهای C، بیشترین درجه روشنی مربوط به درجه روشنی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای C_2 و C_3 بوده است که دلیل آن افزایش واکنش الیاف بر اثر بیشتر شدن pH محیط واکنش در نتیجه افزایش میزان درصد استفاده از هیدروکسید منیزیم است. درجه روشنی خمیر کاغذ حاصل از تیمار B تفاوت معناداری با تیمارهای C_2 و C_3 نداشته است.

درجه زردی: نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین درجه زردی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف آزمایش در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معناداری وجود دارد. آزمون دانکن مقادیر



شکل ۵. تغییرات درجه زردی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف



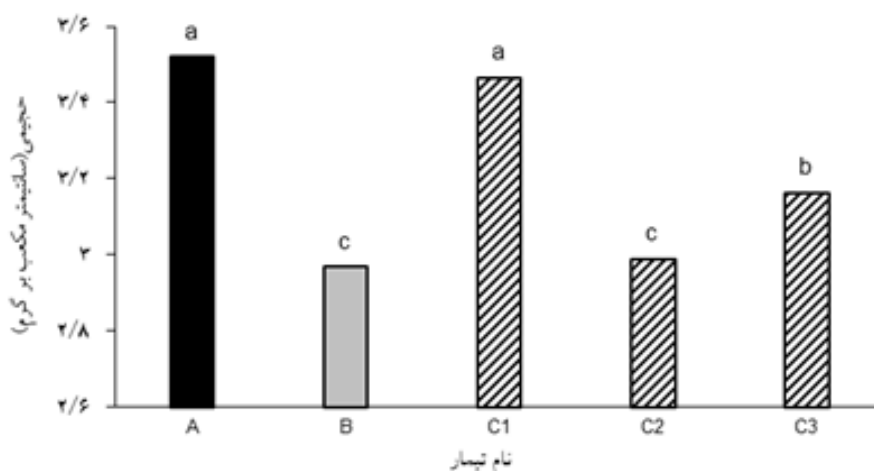
شکل ۶. تغییرات ماتی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف

حاصل از تیمار B شده است که دلیل آن کاهش حجمی کاغذ حاصل در نتیجه افزایش واکنشیدگی و لهیده شدن الیاف بر اثر افزایش pH محیط واکنش با افزایش مصرف هیدروکسید منیزیم است. با افزایش میزان مصرف هیدروکسید منیزیم از ۱/۵ به ۲ درصد، ماتی خمیر کاغذ در نتیجه افزایش حجمی کاغذ کمی افزایش یافته است. گزارش شده است که جذب یون منیزیم بر سطح الیاف میزان واکنشیدگی الیاف را کاهش می‌دهد [۱۶]. به نظر می‌رسد که احتمالاً با

ماتی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای انجام شده نسبت به ماتی خمیر کاغذ حاصل از تیمار شاهد کاهش پیدا کرده است که دلیل آن کاهش پخش نور در ضخامت کاغذ به علت کاهش حجمی کاغذ بر اثر واکنشیدگی و لهیده شدن الیاف طی تیمار شیمیایی در حضور قلیا است [۲؛ ۳؛ ۱۵]. در تیمارهای انجام شده با هیدروکسید منیزیم، با افزایش میزان مصرف هیدروکسید منیزیم از ۱ به ۱/۵ درصد ماتی کاهش یافته و تقریباً معادل با ماتی خمیر کاغذ

کاغذ، پخش نور در ضخامت الیاف افزایش یافته و ماتی افزایش یافته است. زینلی و همکاران [۶] نیز هیدروکسید منیزیم را در رنگ‌بری خمیر کاغذ CMP استفاده و گزارش کرده‌اند که تفاوت معناداری بین ماتی کاغذهای رنگ‌بری شده با هیدروکسید منیزیم و هیدروکسید سدیم وجود ندارد.

افزایش میزان مصرف هیدروکسید منیزیم از ۱/۵ به ۲ درصد، واکنش هرچه بیشتر به سمت تولید یون منیزیم متمایل شده و در نتیجه مقدار یون منیزیم بیش از حد افزایش پیدا کرده و با جذب یون منیزیم بر سطح الیاف واکنش‌دهی الیاف کمی کاهش یافته و در نتیجه کاهش اتصال بین الیاف و افزایش حجمی



شکل ۷. تغییرات حجمی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف

است که دلیل آن واکنش‌دهی و لهیده شدن الیاف طی تیمار شیمیایی در حضور قلیاست [۳، ۱۵]. کمترین حجمی مربوط به خمیر کاغذ حاصل از تیمار B بوده است که دلیل آن واکنش‌دهی و لهیده شدن بیشتر الیاف بر اثر بیشتر بودن pH محیط واکنش طی تیمار شیمیایی در حضور هیدروکسید سدیم است. در تیمارهای انجام شده با هیدروکسید منیزیم، با افزایش میزان مصرف هیدروکسید منیزیم از ۱ به ۱/۵ درصد حجمی کاهش یافته و تقریباً معادل با حجمی خمیر کاغذ حاصل از تیمار B شده است که دلیل آن افزایش واکنش‌دهی و لهیده شدن الیاف بر اثر افزایش pH محیط واکنش با افزایش مصرف هیدروکسید منیزیم است.

ویژگی‌های فیزیکی

حجمی: نتایج آزمون تجزیه و آریانس نشان داد که بین حجمی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف آزمایش در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معناداری وجود دارد. آزمون دانکن مقادیر حجمی اندازه‌گیری شده را در ۳ گروه قرار داده است؛ به طوری که بین حجمی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای A و C₁، B و C₂ اختلاف معناداری مشاهده نشده است (شکل ۷). حجمی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای انجام شده نسبت به حجمی خمیر کاغذ حاصل از تیمار شاهد کاهش پیدا کرده

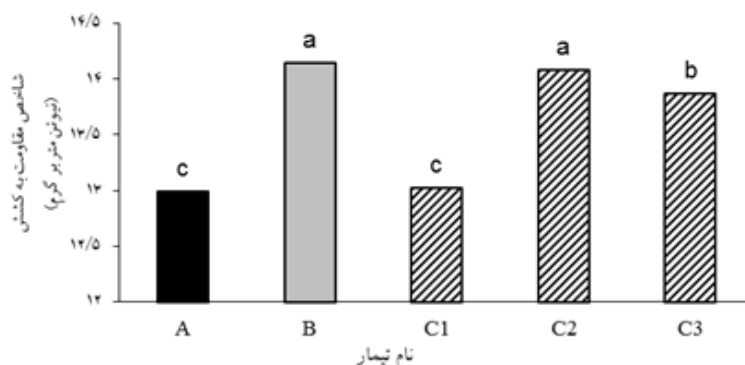
لهیده شدن بیشتر الیاف بر اثر بیشتر بودن pH محیط واکنش طی تیمار شیمیایی در حضور هیدروکسید سدیم است. در تیمارهای انجام شده با هیدروکسید منیزیم، با افزایش میزان مصرف هیدروکسید منیزیم از ۱ به ۱/۵ درصد، شاخص مقاومت به کشش افزایش یافته و تقریباً معادل با شاخص مقاومت به کشش خمیرکاغذ حاصل از تیمار B شده است که دلیل آن افزایش واکنش و لهیده شدن، و اتصال بین الیاف در نتیجه افزایش pH محیط واکنش با افزایش مصرف هیدروکسید منیزیم است. همچنین، با افزایش میزان مصرف هیدروکسید منیزیم از ۱/۵ به ۲ درصد، شاخص مقاومت به کشش کاهش یافته است. به نظر می‌رسد که احتمالاً با افزایش میزان مصرف هیدروکسید منیزیم از ۱/۵ به ۲ درصد، واکنش هرچه بیشتر به سمت تولید یون منیزیم متمایل شده و در نتیجه مقدار یون منیزیم بیش از حد افزایش پیدا کرده و در نتیجه کاهش واکنش الیاف، اتصال بین الیاف نیز کم شده و مقاومت به کشش کاغذ نیز کاهش یافته است. قاسمی و همکاران [۱۰] نیز هیدروکسید منیزیم را در رنگ‌بری خمیرکاغذ CMP استفاده و گزارش کرده‌اند که با افزایش درصد استفاده هیدروکسید منیزیم از ۱/۵ به ۲ درصد مقاومت به کشش کاهش می‌یابد. زینلی و همکاران [۶] نتایج مشابهی برای مقاومت‌های کاغذ حاصل از رنگ‌بری خمیر CMP پهن‌برگان با هیدروکسید منیزیم و هیدروکسید سدیم گزارش کرده‌اند.

مقاومت به ترکیدن: نتایج آزمون تجزیه واریانس مقاومت به ترکیدن نیز نتایج مشابهی با مقاومت به کشش کاغذها نشان داده و از روندی مشابه تبعیت می‌کند (شکل ۹).

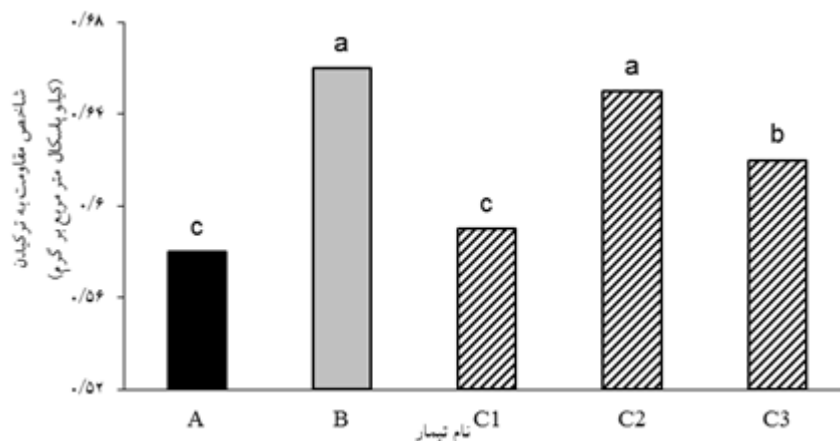
با افزایش میزان مصرف هیدروکسید منیزیم از ۱/۵ به ۲ درصد، حجمی خمیرکاغذ کمی افزایش یافته است. به نظر می‌رسد که احتمالاً با افزایش میزان مصرف هیدروکسید منیزیم از ۱/۵ به ۲ درصد، واکنش به سمت تولید یون منیزیم متمایل شده و با جذب یون منیزیم بر سطح الیاف واکنش الیاف کمی کاهش یافته و در نتیجه کاهش اتصال بین الیاف، حجمی کاغذ افزایش یافته است. قاسمی و همکاران [۱۰] نیز هیدروکسید منیزیم را در رنگ‌بری خمیرکاغذ CMP استفاده و گزارش کرده‌اند که با افزایش درصد استفاده هیدروکسید منیزیم از ۱/۵ به ۲ درصد حجمی افزایش می‌یابد.

ویژگی‌های مکانیکی

مقاومت کششی: نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین شاخص مقاومت به کشش خمیرکاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف آزمایش در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معناداری وجود دارد. آزمون دانکن مقادیر شاخص مقاومت به کشش اندازه‌گیری شده را در ۳ گروه قرار داده است؛ به طوری که بین شاخص مقاومت به کشش خمیرکاغذهای حاصل از تیمارهای A و C_۱ و B و C_۲ اختلاف معناداری مشاهده نشده است (شکل ۸). تیمارهای شیمیایی انجام شده شاخص مقاومت به کشش خمیرکاغذهای حاصله را نسبت به شاخص مقاومت به کشش خمیرکاغذ حاصل از تیمار شاهد افزایش داده است که دلیل آن افزایش واکنش و لهیده شدن و اتصال بین الیاف در نتیجه حضور قلیا در تیمارهای انجام شده است [۳؛ ۱۵]. بیشترین شاخص مقاومت به کشش مربوط به خمیرکاغذ حاصل از تیمارهای B بوده است که دلیل آن واکنش و



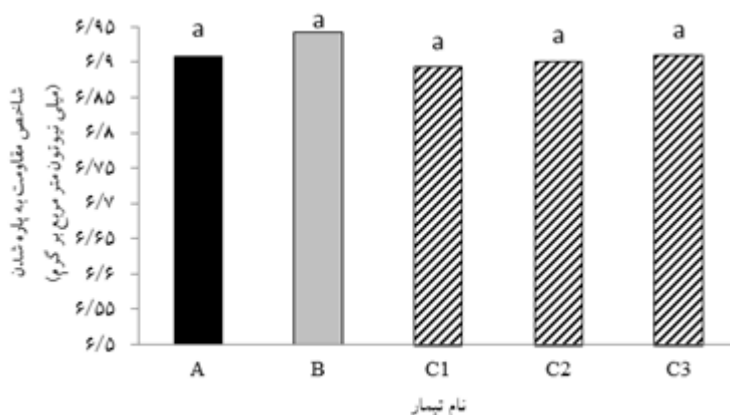
شکل ۸. تغییرات شاخص مقاومت به کشتش خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف



شکل ۹. تغییرات شاخص مقاومت به ترکیدن خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف آزمایش

درحالی‌که همان‌گونه که در شکل‌های ۴-۸ مشاهده می‌شود، افزایش مقاومت به پاره‌شدن بین الیاف معنادار نیست. با انجام دادن تیمار، اتصال بین الیاف افزایش می‌یابد، اما مقاومت ذاتی فیبر به دلیل انحلال لیگنین و کربوهیدرات و همچنین کاهش درجهٔ بسپارش کربوهیدرات‌های موجود در دیوارهٔ الیاف کاهش می‌یابد و شاید علت معنادار نبودن این مقاومت در تیمارهای انجام‌شده با تیمار شاهد، اثر متقابل و معکوس این دو عامل بر روی مقاومت به پاره‌شدن باشد.

مقاومت به پاره‌شدن: نتایج آزمون تجزیهٔ واریانس نشان داد که بین شاخص مقاومت به پاره‌شدن خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف آزمایش در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معناداری وجود ندارد. آزمون دانکن مقادیر شاخص مقاومت به پاره‌شدن اندازه‌گیری شده را در یک گروه قرار داده است (شکل ۱۰). شاخص مقاومت به پاره‌شدن به مقاومت تک‌تک الیاف و اتصال بین الیاف بستگی دارد [۱۵]. انتظار می‌رفت که تیمارهای انجام‌شده به دلیل له کردن الیاف و افزایش سطح اتصال بین آن‌ها مقاومت به پاره‌شدن را افزایش دهند؛



شکل ۱۰. تغییرات شاخص مقاومت به پاره شدن خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف آزمایش

هیدروکسید منیزیم نسبت به هیدروکسید سدیم و انحلال کمتر لیگنین و کربوهیدرات‌هاست. همچنین، با توجه به اینکه مقادیر عددی ویژگی‌های نوری و مکانیکی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف آزمایشی باهم متفاوت بوده‌اند، در بین تیمارهای شیمیایی انجام‌شده با هیدروکسید منیزیم، خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای ۱/۵ و ۲ درصد، دارای نتایج بهتری نسبت به خمیر کاغذ حاصل از تیمار انجام‌شده با هیدروکسید سدیم بوده‌اند که نشان می‌دهد می‌توان از ۱/۵ درصد هیدروکسید منیزیم (بر مبنای وزن خشک خمیر کاغذ)، جهت جایگزینی با هیدروکسید سدیم در مرکب‌زدایی استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این تحقیق، بررسی امکان جایگزینی هیدروکسید سدیم با هیدروکسید منیزیم در مرکب‌زدایی مخلوط کاغذهای روزنامه و مجله باطله، به منظور کاهش بار COD پساب در مرکب‌زدایی بوده است. تیمارهای شیمیایی انجام‌شده سبب افزایش ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیر کاغذ مرکب‌زدایی شده نسبت به خمیر کاغذ حاصل از تیمار شاهد شده‌اند که دلیل آن حذف ذرات مرکب از سطح الیاف و افزایش لهیده شدن الیاف در نتیجه واکنش الیاف در محیط قلیایی است. مزیت اصلی استفاده از هیدروکسید منیزیم نسبت به هیدروکسید سدیم بار COD کمتر از پساب حاصل از تیمارهاست، که دلیل آن نیز قدرت قلیایی کمتر

References

- [1]. Ghasemian, A., Khaliligashtroodkhani, A., and Ali Abadi, M. (2008). The Role and Place of Paper Recycling in Cellulosic Raw Materials Supply for Local Pulp and Paper Industries. The 1th Iranian Conference on Supplying Raw Materials and Development of Wood and Paper Industries.
- [2]. Hubbe, M.A., Venditti, R.A., and Rojas, O.J. (2007). What happens to cellulosic fibers during papermaking and recycling? A review. *Bioresources*, 2(4): 739-788.
- [3]. Latibari, A., Khosravani, A., and Rahmaninia, M. (2007). Paper Recycling Technology. Aieej Publication. 221-230
- [4]. Harrison, R., Parrish, T., Gibson, A, Knapp, C., Wajer, M., and Johnsin, D. (2008). Refiner bleaching with magnesium hydroxide $Mg(OH)_2$ and hydrogen peroxide. *TAPPI Journal*, 4(6) 16-20.
- [5]. Johnson, D.A., Park, S., Genco, J.M., Gibson, A., Wajer, M., and Branch, B. (2002). Hydrogen peroxide bleaching of TMP pulps using $Mg(OH)_2$. *TAPPI Pulping Conference Proceeding*.
- [6]. Zeinaly, F., Shakhes, J., DehghaniFirozabadi, M., and Shakery, A. (2009). Hydrogen peroxide bleaching of CMP pulp using magnesium hydroxide. *BioResources*, 4(4): 1409-1416.
- [7]. Li, Z., Court, G.D., Belliveau, R., Crowell, M., Murphy, R., Gibon, A., Wajer, M., Branch, B., and Ni, Y. (2005). Using magnesium hydroxide $Mg(OH)_2$ as the alkali source in peroxide bleaching at Irving Paper. *Pulp and Paper Canada*, 106 (6): 24-28.
- [8]. Suess, J.U., Del Grosso, M., Schmidt, K., and Hopf, B. (2001). Option for bleaching mechanical pulp with a lower COD load. *APPITA Proceeding General Conference*, Hobart, Australia. 419-425.
- [9]. Stack, k., Trlat, J., andRichrdsonI, D. (2005). Ink detachment and redeposition alkali flotation deinking systems. *Appita Journal*, 58(4): 297-301.
- [10]. Ghasemi, S., Eshkiki, R., Fatehi, P., and Ni, Y. (2010). Impact of acid washing and chelation on $Mg(OH)_2$ based hydrogen peroxide bleaching of mixed hardwood CMP at a high consistency. *BioResources*, 5(4): 2258-2267.
- [11]. Aryaie Monfared, M.H., Resalati, H., and Ghasemian, A. (2012). Enzymatic deinking of office waste papers in the comparison with conventional chemical method: part1-appearance and optical properties of pulp, *Journal of Wood and Forest Science and Technology*. 18(14): 59-76.

