



دانشگاه گوارن کورزی و منابع طبیعی

مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد هفدهم، شماره دوم، ۱۳۸۹

www.gau.ac.ir/journals

## بررسی قابلیت مرکب‌زدایی کاغذ روزنامه باطله

\*ایمان اکبریور<sup>۱</sup>، حسین رسالتی<sup>۲</sup> و احمد رضا سرائیان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

<sup>۲</sup> دانشیار گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

<sup>۳</sup> استادیار گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۲/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱/۲۵

### چکیده

در این پژوهش قابلیت مرکب‌زدایی کاغذ روزنامه باطله به روش متداول شیمیایی و تأثیر استفاده از فرآیندهای شستشو، شناورسازی به‌طور مجزا و ترکیبی بر ویژگی‌های نوری و ظاهری کاغذهای ساخته شده بررسی شد. نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری و ظاهری کاغذهای ساخته شده نشان داد که با تیمار شیمیایی ۲۰ دقیقه و استفاده از یک مرحله شستشو، حداکثر درجه روشنی ۵۰/۹ درصد ایزو، حداقل درجه زردی ۱۴/۸ درصد ایزو، درجه ماتی ۹۷/۶ درصد ایزو، تعداد ذرات مرکب ۵۰۷ و سطح ذرات مرکب  $\text{mm}^2/\text{m}^2$  ۲۲۰۵/۵ حاصل می‌شود. زمانی که فقط از فرآیند شناورسازی جهت مرکب‌زدایی استفاده شد، درجه ماتی به ۹۹ درصد ایزو بهبود یافت، اما کاغذهای به‌دست آمده دارای درجه روشنی کمتر و درجه زردی تعداد و سطح ذرات مرکب بیشتری بودند. همچنین نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری تعداد و سطح ذرات مرکب در دو سمت توری و رویی کاغذهای به‌دست آمده نشان داد که سمت توری کاغذها تعداد ذرات مرکب بیشتر و سطح ذرات مرکب کمتری دارند. با توجه به شواهد به‌دست آمده از ویژگی‌های نوری و ظاهری کاغذهای ساخته شده از مرکب‌زدایی کاغذهای روزنامه باطله، استفاده از فرآیند شستشو در مرحله جداسازی ذرات مرکب اثربخشی و کارآمدی بیشتری دارد و کاغذهای حاصل از ویژگی‌های نوری و ظاهری مطلوب‌تری برخوردار می‌باشند.

**واژه‌های کلیدی:** کاغذ روزنامه باطله، مرکب‌زدایی، فرآیند شستشو، فرآیند شناورسازی، ویژگی‌های نوری، ویژگی‌های ظاهری

\* مسئول مکاتبه: iman.ak2010@gmail.com

## مقدمه

مرکب‌زدایی به‌عنوان یک مرحله تکمیلی در فن‌آوری بازیافت کاغذهای باطله محسوب می‌شود که در طی آن ذرات آلاینده و سایر ناخالصی‌های موجود در آن مانند چسب‌ها، مواد معدنی، عوامل اتصال‌دهنده‌ها و پلاستیک‌ها حذف می‌شوند و الیاف سلولزی بازیافتی به نسبت خالص برای استفاده دوباره در ساخت کاغذ به‌دست می‌آید (قاسمیان، ۲۰۰۳؛ مک‌کینی و هاچه، ۱۹۹۱؛ گولیچسن و هانو، ۲۰۰۰). سهولت و سختی زدودن مرکب به نوع مرکب، فرآیند چاپ و نوع الیاف بستگی دارد. بعضی از کاغذها مانند کاغذهای روزنامه چاپ شده با مرکب‌های بر پایه روغن تا حدودی به آسانی با فرآیندهای متداول مرکب‌زدایی می‌شوند اما کاغذهای چاپ شده به روش غیر تماسی به سختی مرکب‌زدایی می‌گردند (ولت، ۱۹۹۸؛ باجپای، ۱۹۹۸). کاغذ روزنامه باطله<sup>۱</sup> با توجه به این‌که ۵/۵ درصد از زباله‌های شهری را شامل می‌شود، اما می‌تواند به‌عنوان یک ماده اولیه با خمیرکاغذ بکر به نسبت ۵۰/۵۰ و یا با ۱۰۰ درصد خمیر کاغذ بکر جایگزین شود (وودوارد و همکاران، ۱۹۹۴).

نتایج به‌دست آمده از مقایسه قابلیت مرکب‌زدایی کاغذهای ساخته شده در ایران با کاغذهای روزنامه ساخته شده در کشورهای آمریکا و تایلند در دو مقیاس فاکتور قابلیت مرکب‌زدایی<sup>۲</sup> DEM نشان داد که کاغذهای روزنامه ایران (مخلوط خمیرکاغذ پهن‌برگ و سوزنی‌برگ) و یا خمیرهای کاغذ پهن‌برگ) بیشترین فاکتور قابلیت مرکب‌زدایی را در مقیاس فاکتور قابلیت مرکب‌زدایی در مقیاس آزمایشگاهی<sup>۳</sup> نشان داده‌اند. کاغذهای ساخته شده از خمیرکاغذ سوزنی‌برگ (روزنامه‌های آمریکا) و خمیرهای کاغذ بازیافتی مربوط به تایلند به‌ترتیب دارای فاکتور قابلیت مرکب‌زدایی متوسط و کم بودند. هم‌چنین نتایج مربوط به فاکتور قابلیت مرکب‌زدایی در مقیاس رنگی لب<sup>۴</sup> نشان داد که قابلیت مرکب‌زدایی کاغذهای روزنامه ایران متوسط، تایلند کم و روزنامه‌های آمریکا دارای بیشترین میزان قابلیت مرکب‌زدایی می‌باشند (فائزی‌پور و همکاران، ۲۰۰۵). بررسی‌های به‌عمل آمده از تأثیر کهنگی کاغذ روزنامه اطلاعات در ۴ سطح احتمال ۰، ۴، ۸ و ۱۲ ماه و ۵ سطح هیدروکسید سدیم صفر، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد بر قابلیت مرکب‌زدایی بیانگر آن است که افزایش کهنگی کاغذ به‌ویژه از صفر تا ۴ ماه موجب افت شدید درجه روشنی، طول پارگی و مقاومت به تاخوردگی و افزایش ضریب

1. Old Newspaper
2. DeinkbarkeitsmaBZahl
3. DEMw
4. DEMLab

جذب نور کاغذ بازیافتی و جذب آب می‌شود. این در حالی است که افزایش مصرف NaOH از صفر به ۲ درصد موجب افزایش درجه روشنی، درجه زردی، طول پارگی و مقاومت به تاخوردگی و کاهش ضریب جذب نور در کاغذ بازیافتی و جذب آب شده است (رحمانی‌نیا و همکاران، ۲۰۰۷). نتایج به‌دست آمده از مرکب‌زدایی کاغذهای باطله با چاپ لیزری و زیراکس تحت شرایط مختلف هوادهی در فرآیند شناورسازی نشان داد که هر چه اندازه حباب‌های هوا کوچک‌تر باشد، حذف ذرات مرکب در شناورسازی بیشتر شده و کاغذهای نهایی از درجه روشنی بیشتری برخوردار خواهند بود. با افزایش دبی هوای ورودی به سیستم تا ۳ لیتر در دقیقه کارآیی مرکب‌زدایی افزایش یافته و افزایش دبی هوای ورودی بیش از حد بهینه تعیین شده منجر به کاهش ذرات مرکب شده است. همچنین با افزایش زمان هوادهی در دبی ثابت تا آستانه ۸ دقیقه کارآیی حذف مرکب به حدود ۸۰ درصد افزایش یافت و افزایش بیش از حد زمان هوادهی منجر به کاهش کارآیی مرکب‌زدایی در فرآیند شناورسازی شد. کارآیی مرکب‌زدایی کاغذهای باطله چاپ لیزری در مقایسه با چاپ زیراکس تحت شرایط مختلف شناورسازی حدود ۱۰ درصد بیشتر مشاهده شده است (امینی‌راد و همکاران، ۲۰۰۷). نتایج به‌دست آمده از تأثیر ناقل و کهنگی در مرکب‌زدایی کاغذ روزنامه باطله نشان می‌دهد که مرکب‌های بر پایه روغن معدنی را به سختی می‌توان در مقایسه با مرکب‌های بر پایه روغن گیاهی از خمیر کاغذ بازیافتی خارج کرد (پان و نگوئن، ۲۰۰۷).

طی سال‌های اخیر با توجه به کاهش روزافزون منابع جنگلی، بازیافت کاغذهای باطله به‌عنوان یکی از روش‌های تأمین مواد اولیه سلولزی مناسب برای صنایع کاغذسازی به‌طور جدی مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش کاغذهای روزنامه باطله با استفاده از روش متداول شیمیایی مرکب‌زدایی شده و ویژگی‌های نوری و ظاهری کاغذهای تولید شده در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد (خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی بدون اضافه شدن مواد شیمیایی) مورد مقایسه قرار گرفتند.

## مواد و روش‌ها

جمع‌آوری، آماده‌سازی و خمیر کاغذسازی مجدد<sup>۱</sup> کاغذهای روزنامه باطله: کاغذهای روزنامه همشهری از دفاتر مرکزی فروش روزنامه خریداری شدند. این کاغذها به هیچ وجه در معرض نور آفتاب و دمای نامطلوب قرار نگرفته بودند. از زمان چاپ کاغذهای روزنامه ۵ روز گذشته بود. نمونه‌های آزمونی به

### 1. Re-Pulping

ابعاد ۲-۵ سانتی‌متر تبدیل و تهیه شدند. پس از تعیین مقدار مشخصی از نمونه‌های آزمونی بر اساس وزن خشک، فرآیند مرکب‌زدایی با استفاده از روش متداول شیمیایی (روش متداولی که در صنعت با استفاده از مواد شیمیایی برای بازیافت کاغذها استفاده می‌شود) انجام شد. نمونه‌های آزمونی تهیه شده پس از خیس شدن در آب به مدت ۲۴ ساعت، در دستگاه پراکنده‌ساز به مدت ۱۰ دقیقه با تعداد دور ۲۶۵۰۰ و درصد خشکی ۵ درصد دفییره شدند. مدت زمان خمیر کاغذسازی مجدد با انجام آزمایش‌های اولیه متوالی تعیین شده است. خمیر کاغذ حاوی ذرات مرکب و الیاف بر روی غربال با مش ۲۰۰ آب‌گیری شده و سپس تیمار شیمیایی در داخل کیسه‌های پلاستیکی مجزا در حمام آب گرم انجام شد.

**مرکب‌زدایی شیمیایی<sup>۱</sup>:** بخش عمده مرکب‌زدایی در مرحله خمیر کاغذسازی دوباره در دستگاه خمیرساز اتفاق می‌افتد که در طی آن اتصال فیزیکی بین ذرات مرکب و الیاف شکسته می‌شود. تیمار یا خمیر کاغذسازی شیمیایی به‌عنوان روش متداول در بازیافت کاغذهای باطله در مورد کاغذهای روزنامه باطله با استفاده از ۱ درصد هیدروکسید سدیم، ۱ درصد پروکسید هیدروژن، ۲ درصد سیلیکات سدیم، ۰/۱۵ درصد فعال‌ساز سطحی غیریونی (پلی‌سوربات ۸۰) و ۰/۳ درصد عامل کی‌لیت‌ساز DTPA<sup>۲</sup> بر اساس وزن خشک کاغذ باطله تحت شرایط ثابت درصد خشکی ۱۰ درصد، درجه حرارت  $50 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد و زمان‌های مختلف ۲۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه در کیسه‌های پلاستیکی در حمام آب گرم انجام شد. مواد شیمیایی بر اساس وزن خشک کاغذ باطله اضافه شده‌اند. تأثیر زمان تیمار شیمیایی همراه با شرایط مختلف مرکب‌زدایی یعنی پس از شستشو، شناورسازی و حالت ترکیبی از شستشو و شناورسازی در ویژگی‌های نوری و ظاهری کاغذهای تولید شده بررسی شدند. لازم به یادآوری است که pH اولیه و نهایی خمیر کاغذها قبل و بعد از تیمار شیمیایی اندازه‌گیری شدند. خمیر کاغذهای تیمار شده با مواد شیمیایی، با استفاده از فرآیندهای شستشو و شناورسازی به‌طور جداگانه و ترکیبی مرکب‌زدایی شدند. فرآیند شستشو بر روی غربال با مش ۶۰ به مدت ۱۰ دقیقه تحت فشار آب یکنواخت در زیر شیر آب صورت گرفته است، در حالی‌که فرآیند شناورسازی در داخل سلول شناورسازی به مدت ۲۰ دقیقه همراه با اضافه کردن کلرید کلسیم و ماده فعال‌ساز سطحی غیریونی (پلی‌سوربات ۸۰) به ترتیب به میزان ۰/۳۳ و ۰/۱۵ درصد وزن خشک خمیرکاغذ در محدوده pH ۸-۸/۵ درجه حرارت  $50 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد انجام شد. لازم به یادآوری است که زمان بهینه شناورسازی پس از شناورسازی خمیرهای کاغذ تیمار

1. Chemical Deinking

2. Diethylene Triamine Penta Acetic Acid

شده به روش شیمیایی در زمان‌های مختلف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه تعیین شده است. کاغذهای دست‌ساز ۶۰ گرمی مطابق با استاندارد تاپی<sup>۱</sup> با شماره ۸۸-om-۲۵۰ ساخته شدند. کاغذهای به‌دست آمده جهت خشک شدن کامل و یکنواخت در اتاق ویژه کلیما<sup>۲</sup> با شرایط ویژه دمایی  $23 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی  $50 \pm 2$  درصد قرار داده شدند. ویژگی‌های نوری کاغذ یعنی درجه روشنی و درجه زردی مطابق با شماره استاندارد ۹۲-om-۴۵۲ و درجه ماتی کاغذ نیز مطابق با شماره استاندارد ۹۱-om-۴۲۵ آئین‌نامه تاپی اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری ویژگی‌های ظاهری کاغذها یعنی تعداد و سطح ذرات مرکب کاغذها در دو سمت توری و رویی مطابق با شماره استاندارد ۹۶-om-۳۷ آئین‌نامه تاپی انجام گرفت. در پایان کاغذهای تولید شده به لحاظ ویژگی‌های نوری و ظاهری با یکدیگر مقایسه شدند.

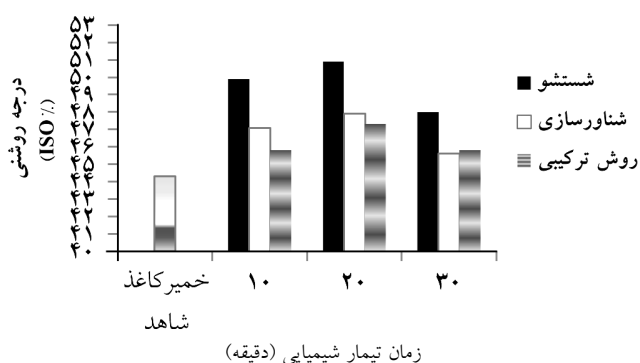
**تجزیه و تحلیل آماری:** در این پژوهش به‌منظور بررسی اثر فاکتورهای مستقل بر ویژگی‌های نوری و ظاهری کاغذهای تولید شده از خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی از آزمون تجزیه واریانس در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد و جهت مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن استفاده شده است. در تمامی تیمارهای شیمیایی انجام شده، تعداد کاغذهای ساخته شده در هر تیمار با ۵ تکرار بوده است.

## نتایج

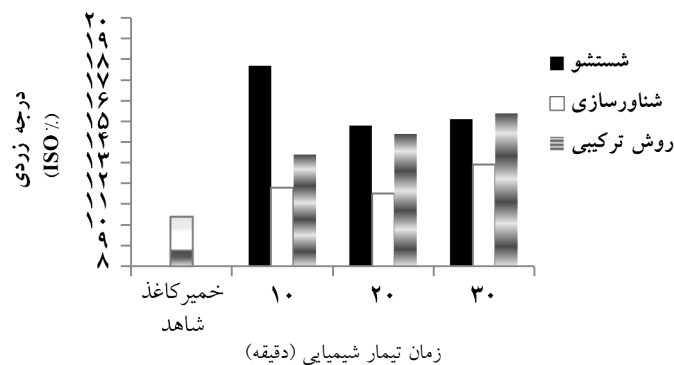
**تأثیر زمان تیمار شیمیایی و شرایط مختلف مرکب‌زدایی بر ویژگی‌های نوری خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی درجه روشنی و درجه زردی:** نتایج به‌دست آمده از تأثیر زمان‌های مختلف تیمار شیمیایی و همچنین مقایسه فرآیندهای مختلف شستشو و شناورسازی به‌طور مجزا و ترکیبی نشان داد که به‌طورکلی در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد، افزایش زمان تیمار شیمیایی از ۱۰ به ۳۰ دقیقه تأثیر معنی‌داری را در سطح اعتماد ۹۹ درصد در مقادیر درجه روشنی کاغذها ایجاد کرده است. بین مقادیر درجه روشنی خمیرهای کاغذ تیمار شده در زمان تیمار ۲۰ دقیقه با فرآیندهای شستشو، شناورسازی و ترکیب شستشو و شناورسازی و همچنین خمیرهای کاغذ تیمار شده در زمان ۳۰ دقیقه با فرآیندهای شناورسازی و ترکیب شستشو و شناورسازی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. به‌طورکلی در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد روزنامه، در صورت استفاده از فرآیندهای شستشو، شناورسازی و یا ترکیب شستشو و شناورسازی، افزایش مدت زمان تیمار شیمیایی از ۱۰ به ۳۰ دقیقه، تأثیر معنی‌داری را در مقادیر درجه

1. TAPPI
2. Conditioning Room

روشنی کاغذهای ساخته شده داشته است. آزمون دانکن مقادیر درجه روشنی به دست آمده از تیمارهای مختلف شیمیایی انجام شده در مورد کاغذ روزنامه باطله را در ۶ گروه مجزا قرار داده است به طوری که حداکثر درجه روشنی به میزان ۵۰/۹ درصد ایزو به خمیرهای کاغذ تیمار شده در زمان ۲۰ دقیقه با فرآیند شستشو اختصاص دارد. حداقل درجه روشنی به ترتیب به خمیر کاغذ شاهد و خمیرهای کاغذ تیمار شده در زمان ۳۰ دقیقه با فرآیندهای شناورسازی و ترکیب شستشو و شناورسازی اختصاص دارند. افزایش مدت زمان تیمار شیمیایی و استفاده از فرآیندهای مختلف شستشو و شناورسازی به طور مجزا و ترکیبی در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد تأثیر معنی داری را در مقادیر درجه زردی ایجاد کرده است. بین مقادیر درجه زردی به دست آمده از خمیرهای کاغذ تیمار شده در زمان ۳۰ دقیقه با فرآیندهای شستشو و یا ترکیب شستشو و شناورسازی و همچنین خمیرهای کاغذ تیمار شده به مدت ۲۰ دقیقه با فرآیندهای شناورسازی و ترکیب شستشو و شناورسازی با خمیرهای کاغذ تیمار شده به مدت ۳۰ دقیقه با شستشو اختلاف معنی داری دیده نشده است. همچنین بین درجه زردی به دست آمده از خمیرهای کاغذ تیمار شده در زمان ۱۰ و ۲۰ دقیقه با فرآیند ترکیبی شستشو و شناورسازی اختلاف معنی داری در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد دیده نشده است. در صورت استفاده از فرآیند شستشو، افزایش زمان تیمار شیمیایی از ۱۰ به ۲۰ دقیقه تأثیر معنی داری در مقادیر درجه زردی کاغذهای ساخته شده داشته، در حالی که در زمان بیشتر (۳۰ دقیقه) اختلاف معنی داری مشاهده نشده است. در صورت استفاده از فرآیند شستشو و یا ترکیب شستشو و شناورسازی، با افزایش زمان تیمار شیمیایی تا ۳۰ دقیقه تأثیر معنی داری در مقادیر درجه زردی کاغذ دیده نشده است (شکل‌های ۱ و ۲).



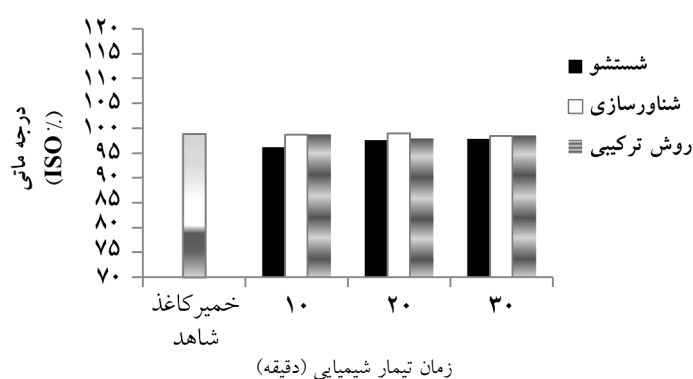
شکل ۱- تأثیر زمان تیمار شیمیایی و شرایط مختلف مرکب زدایی بر درجه روشنی خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی.



شکل ۲- تأثیر زمان تیمار شیمیایی و شرایط مختلف مرکب‌زدایی بر درجه زردی خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی.

درجه ماتی: نتایج به‌دست آمده از تأثیر افزایش زمان تیمار شیمیایی از ۱۰ به ۳۰ دقیقه و همچنین استفاده از فرآیندهای مختلف به‌طور جداگانه و ترکیبی بر روی ماتی کاغذهای ساخته شده نشان داد که در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد، زمان‌های مختلف تیمار شیمیایی و استفاده از فرآیندهای شستشو و شناورسازی تأثیر معنی‌داری را در سطح اعتماد ۹۹ درصد در مقادیر درجه ماتی ایجاد کرده است. بین مقادیر درجه ماتی به‌دست آمده از خمیر کاغذ شاهد و خمیر کاغذ مرکب‌زدایی شده در زمان ۱۰ دقیقه با فرآیند شناورسازی و ترکیب شستشو و شناورسازی با خمیرهای کاغذ مرکب‌زدایی شده در زمان ۳۰ دقیقه با فرآیند شناورسازی و ترکیب شستشو و شناورسازی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. همچنین بین درجه ماتی خمیرهای کاغذ مرکب‌زدایی شده در زمان ۲۰ دقیقه همراه با فرآیند شستشو و ترکیب شستشو و شناورسازی با خمیرهای کاغذ مرکب‌زدایی شده در زمان ۳۰ دقیقه با فرآیند شستشو و شناورسازی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. آزمون دانکن مقادیر درجه ماتی به‌دست آمده از کاغذهای ساخته شده از خمیر کاغذ شاهد روزنامه و کاغذهای روزنامه خمیرسازی شده در زمان‌های مختلف با استفاده از فرآیندهای شستشو و شناورسازی به‌طور مجزا و ترکیبی را در ۴ گروه مجزا قرار داده است. بیشترین درجه ماتی به تیمار شیمیایی انجام شده در زمان ۲۰ دقیقه با استفاده از فرآیند شناورسازی و کمترین درجه ماتی به تیمار شیمیایی انجام شده در زمان ۱۰ دقیقه با استفاده از فرآیند شستشو اختصاص دارد که این مقادیر به ترتیب ۹۹ و ۹۶/۱ درصد ایزو می‌باشند. نتایج به‌دست آمده از مقایسه فرآیندهای شستشو و شناورسازی در مرکب‌زدایی کاغذهای روزنامه باطله نشان داد که در صورت استفاده از فرآیند شستشو، افزایش زمان تیمار شیمیایی از ۱۰ به ۲۰ دقیقه تأثیر معنی‌داری را در مقادیر درجه ماتی نشان داد، در حالی که در

زمان ۳۰ دقیقه اختلاف معنی‌داری دیده نشده است. همچنین در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد با استفاده از فرآیند شناورسازی و یا ترکیب شستشو و شناورسازی، افزایش زمان تیمار شیمیایی تا ۳۰ دقیقه تأثیر معنی‌داری را در مقادیر درجه ماتی کاغذ نداشته است (شکل ۳).

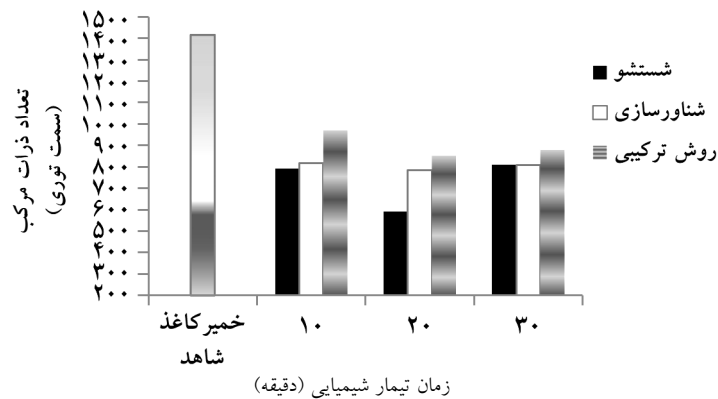


شکل ۳- تأثیر زمان تیمار شیمیایی و شرایط مختلف مرکب‌زدایی بر درجه ماتی خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی.

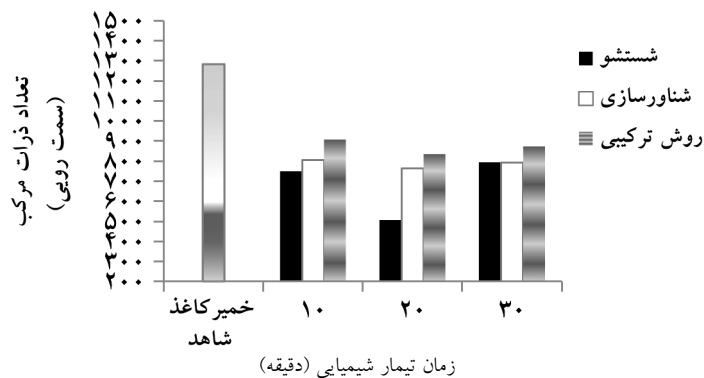
تأثیر زمان تیمار شیمیایی و شرایط مختلف مرکب‌زدایی بر ویژگی‌های ظاهری خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی ارزیابی تعداد ذرات مرکب: افزایش زمان تیمار شیمیایی از ۱۰ به ۳۰ دقیقه در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد تأثیر معنی‌داری را در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد بر تعداد ذرات مرکب سمت توری کاغذهای ساخته شده داشته است. در صورت استفاده از زمان تیمار شیمیایی از ۱۰ به ۳۰ دقیقه و استفاده از فرآیند شناورسازی و یا ترکیب شستشو و شناورسازی اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۹ درصد بر تعداد ذرات مرکب در سمت توری کاغذها دیده نشده است، این در حالی است که با استفاده از شستشو، افزایش زمان تیمار از ۱۰ به ۲۰ دقیقه منجر به کاهش معنی‌داری مقادیر تعداد ذرات مرکب سمت توری کاغذ شده و در زمان ۳۰ دقیقه اختلاف معنی‌داری دیده نشده است. حداقل ذرات مرکب به تعداد ۵۹۱/۳ در زمان ۲۰ دقیقه مشاهده شده است. همچنین با افزایش زمان تیمار از ۱۰ به ۳۰ دقیقه و استفاده از فرآیندهای شستشو و شناورسازی به‌طور مجزا و ترکیبی، مقادیر به‌دست آمده از تعداد ذرات مرکب شمارش شده در سمت رویی کاغذها اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. آزمون دانکن مقادیر به‌دست آمده از تعداد ذرات مرکب سمت رویی کاغذها را در ۳ گروه مجزا قرار داده و به استثنای تیمار انجام شده در زمان ۲۰ دقیقه همراه با فرآیند شستشو، اختلاف معنی‌داری در بین سایر تیمارهای شیمیایی



مشاهده نشده است. به طور متوسط کمترین ذرات مرکب در سمت رویی کاغذها به تعداد ۵۰۵ در زمان ۲۰ دقیقه همراه با یک مرحله شستشو مشاهده شده است و تیمار شیمیایی انجام شده در زمان ۲۰ دقیقه همراه با فرآیند شناورسازی به لحاظ تعداد ذرات مرکب در مرتبه دوم قرار دارد. به طور کلی نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری مربوط به تعداد ذرات مرکب موجود در سمت رویی و توری کاغذهای ساخته شده نشان داد که سمت توری کاغذ در تمامی تیمارهای شیمیایی انجام شده در مجموع تعداد ذرات مرکب بیشتر و سمت رویی کاغذ دارای تعداد ذرات مرکب کمتری می‌باشد (شکل‌های ۴ و ۵).



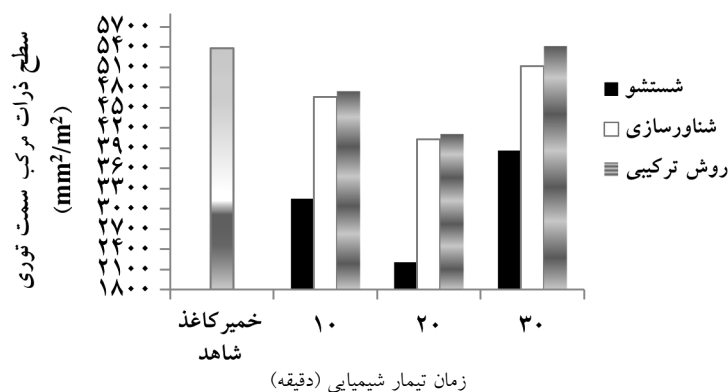
شکل ۴- تأثیر زمان تیمار شیمیایی و شرایط مختلف مرکب‌زدایی بر تعداد ذرات مرکب خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی در سمت توری.



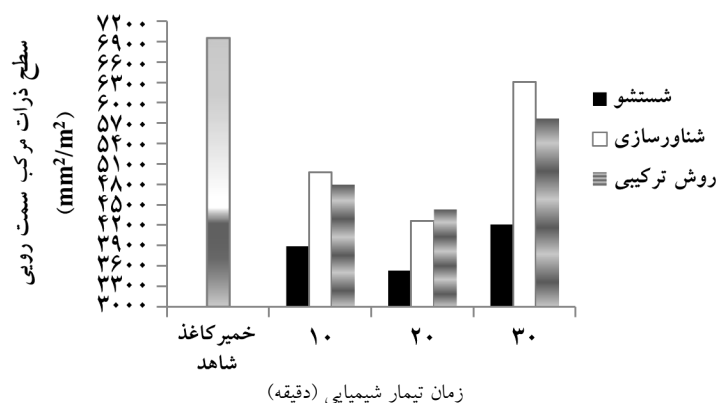
شکل ۵- تأثیر زمان تیمار شیمیایی و شرایط مختلف مرکب‌زدایی بر تعداد ذرات مرکب خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی در سمت رویی.

ارزیابی سطح ذرات مرکب: نتایج به‌دست آمده از ارزیابی سطح ذرات مرکب در سمت توری نشان داد که در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد روزنامه، افزایش زمان تیمار شیمیایی از ۱۰ به ۳۰ دقیقه تأثیر معنی‌داری را در سطح ذرات مرکب کاغذهای ساخته شده داشته است. آزمون دانکن مقادیر سطح ذرات مرکب در سمت توری کاغذها را در ۵ گروه مجزا قرار داده و بیشترین سطح ذرات مرکب بعد از خمیر کاغذ شاهد به تیمار شیمیایی انجام شده در زمان ۳۰ دقیقه همراه با فرآیند شستشو و شناورسازی می‌باشد که معادل  $5170 \text{ mm}^2/\text{m}^2$  است. کمترین سطح ذرات مرکب به ترتیب مربوط به زمان‌های خمیرسازی ۲۰ و ۱۰ دقیقه همراه با یک فرآیند شستشو می‌باشد. این مقادیر به ترتیب  $2205/5 \text{ mm}^2/\text{m}^2$  و  $3238 \text{ mm}^2/\text{m}^2$  می‌باشند. بین مقادیر سطح ذرات مرکب سمت توری کاغذهای ساخته شده در زمان تیمار مشخص همراه با فرآیندهای شناورسازی و یا ترکیب شستشو و شناورسازی اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد مشاهده نشده است. این در حالی است که در صورت استفاده از فرآیند شستشو در بخش مرکب‌زدایی، افزایش زمان تیمار از ۱۰ به ۳۰ دقیقه تأثیر معنی‌داری را در مقادیر سطح ذرات مرکب سمت توری کاغذ ایجاد کرده است. همچنین ارزیابی مقادیر سطح ذرات مرکب سمت رویی کاغذها نشان داده که با افزایش زمان تیمار شیمیایی تا ۳۰ دقیقه و استفاده از فرآیندهای شستشو، شناورسازی و یا ترکیب شستشو و شناورسازی، سطح ذرات مرکب به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. آزمون دانکن مقادیر سطح ذرات مرکب سمت رویی کاغذها را در ۶ گروه مجزا قرار داده و در بین تیمارهای انجام شده، کاغذهای روزنامه خمیر کاغذسازی شده در زمان‌های ۲۰ و ۱۰ دقیقه دارای کمترین سطح ذرات مرکب در سمت رویی می‌باشند. این مقادیر به ترتیب  $3521/25 \text{ mm}^2/\text{m}^2$  و  $394/5 \text{ mm}^2/\text{m}^2$  هستند. بیشترین سطح ذرات مرکب بعد از خمیر کاغذ شاهد روزنامه باطله به ترتیب به کاغذهای روزنامه خمیر کاغذسازی شده در زمان ۳۰ دقیقه همراه با فرآیندهای شناورسازی و ترکیب شستشو و شناورسازی مربوط می‌باشد. این مقادیر به ترتیب  $6283/25 \text{ mm}^2/\text{m}^2$  و  $5840 \text{ mm}^2/\text{m}^2$  می‌باشند. با استفاده از فرآیندهای شناورسازی و یا ترکیب شستشو و شناورسازی در مرحله مرکب‌زدایی در زمان تیمار ثابت ۱۰ و یا ۲۰ دقیقه، اختلاف معنی‌داری در مقادیر سطح ذرات مرکب سمت رویی کاغذها دیده نشده است. شواهد به‌دست آمده از این پژوهش بیانگر آن است که در صورت خمیر کاغذسازی دوباره از کاغذهای روزنامه باطله، استفاده از فرآیندهای شناورسازی و یا ترکیب شستشو و شناورسازی در مرحله مرکب‌زدایی نهایی کاغذها مؤثر و کارآمد نیست و کاغذهای به‌دست آمده از آنها دارای تعداد و سطح ذرات مرکب بیشتری در سمت توری و رویی می‌باشند. استفاده از یک مرحله شستشو در مقایسه با شناورسازی و یا

ترکیب شستشو و شناورسازی جهت خارج‌سازی نهایی ذرات مرکب منجر به تولید کاغذهای با تعداد و سطح ذرات مرکب کمتری در سمت توری و رویی شده است. نتایج به‌دست آمده از مقایسه تعداد و سطح ذرات مرکب در دو سمت توری و رویی کاغذهای ساخته شده در تمامی تیمارهای شیمیایی انجام شده نشان می‌دهد که سمت توری کاغذها با داشتن تعداد ذرات ریز مرکب بیشتر، سطح کمتری را در مقایسه با سطح رویی کاغذها داشته و سطح رویی کاغذها با داشتن تعداد کمتر ذرات ریز و تعداد بیشتر ذرات درشت مرکب دارای سطح بیشتری می‌باشند (شکل‌های ۶ و ۷).



شکل ۶- تأثیر زمان تیمار شیمیایی و شرایط مختلف مرکب‌زدایی بر سطح ذرات مرکب خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی در سمت توری.



شکل ۷- تأثیر زمان تیمار شیمیایی و شرایط مختلف مرکب‌زدایی بر سطح ذرات مرکب خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی در سمت رویی.

## بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش کاغذهای روزنامه باطله جمع‌آوری شده با استفاده از روش متداول شیمیایی در زمان‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه به خمیر کاغذ تبدیل شده و سپس با استفاده از فرآیندهای شستشو و شناورسازی به‌طور مجزا و ترکیبی مرکب‌زدایی شدند. نتایج به‌دست آمده از آزمون تجزیه واریانس و دانکن ویژگی‌های نوری و ظاهری کاغذها نشان داد که با زمان تیمار شیمیایی ۲۰ دقیقه و استفاده از یک مرحله شستشو می‌توان به حداکثر درجه روشنی ۵۰/۹ درصد ایزو، حداقل درجه زردی ۱۴/۸ درصد ایزو، حداقل درجه ماتی ۹۷/۶ درصد ایزو، حداقل تعداد ذرات مرکب ۵۰۷ و حداقل سطح ذرات مرکب  $220.5 \text{ mm}^2/\text{m}^2$  رسید. سود سوزآور علاوه بر داشتن تأثیر مثبت بر روی واکنش‌پذیری الیاف، بر روی تفکیک و جداسازی ذرات مرکب اثربخشی داشته است. سود سوزآور می‌تواند به‌طور مستقیم بر روی فیلم مرکب عمل کند و در نهایت موجب گسیختن و پخش شدن مرکب شود (آزودو و درلیچ، ۱۹۹۹؛ سک‌کیم و هیون‌پایک، ۱۹۹۶). در زمان‌های تیمار بیشتر از ۲۰ دقیقه به‌دلیل تأثیر بیشتر سود بر روی ابعاد ذرات مرکب و امکان رسوب دوباره این ذرات بر سطح الیاف و یا بخش‌های متخلخل الیاف منجر به کاهش درجه روشنی شده است. مرکب‌زدایی شیمیایی کاغذهای روزنامه باطله در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد منجر به افزایش درجه زردی کاغذها شده که دلیل عمده آن می‌تواند، ظاهر شدن دوباره گروه‌های رنگ‌ساز موجود در لیگنین باشد (گولیچسن و هانو، ۲۰۰۰). چون کاغذهای روزنامه از خمیر کاغذ مکانیکی ساخته شده و خمیر کاغذ مکانیکی نیز دارای لیگنین می‌باشد، طبق شرایط به‌کار گرفته شده در مرکب‌زدایی، گروه‌های رنگ‌ساز موجود در لیگنین ممکن است دوباره تشکیل شده باشند به همین دلیل خمیرهای کاغذ مرکب‌زدایی شده روزنامه باطله درجه زردی بیشتری را در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد نشان داده‌اند. برای تحلیل این مسأله که چرا در طی مرکب‌زدایی کاغذهای روزنامه باطله، درجه روشنی و درجه زردی کاغذهای حاصل از خمیرهای کاغذ تیمار شده در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد افزایش یافتند، می‌توان گفت که به‌نظر می‌رسد پتانسیل افزایش درجه روشنی کاغذ به‌دلیل حذف ذرات مرکب توانمندتر و بیشتر از کاهش درجه روشنی آن به‌دلیل تشکیل گروه‌های رنگ‌ساز موجود در لیگنین باشد، به‌عبارت دیگر تأثیر حذف ذرات مرکب در افزایش درجه روشنی کاغذ به مراتب بیشتر از تأثیر گروه‌های رنگ‌ساز لیگنین در کاهش درجه روشنی کاغذ بوده است. به همین دلیل در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد، در مجموع در خمیر کاغذ تیمار شده، افزایش درجه روشنی در کنار افزایش درجه زردی کاغذ مشاهده شده است. وقتی که از فرآیند

شناورسازی به‌طور مجزا در مرحله مرکب‌زدایی استفاده شده، درجه ماتی کاغذهای به‌دست آمده به ۹۹ درصد ایزو بهبود یافت، اما کاغذهای ساخته شده دارای درجه روشنی کمتر و درجه زردی و تعداد و سطح ذرات مرکب بیشتری می‌باشند. نتیجه بالا نشان‌دهنده رسوب مجدد بخشی از ذرات مرکب و یا ترکیبات رنگی خمیر کاغذ بر روی الیاف در بخش شناورسازی است که در اثر رسوب دوباره ذرات مرکب و یا ترکیبات رنگی، درجه روشنی کاغذ کاهش یافته و به درجه ماتی کاغذ افزوده شده است. افزایش درجه ماتی کاغذ را می‌توان به قابلیت جذب نور بیشتر خمیر کاغذ مرکب‌زدایی شده در بخش شناورسازی نسبت داد به‌طوری‌که با افزودن قابلیت جذب نور کاغذ، درجه ماتی کاغذ افزایش یافته است. استفاده از یک مرحله شستشو در مرحله مرکب‌زدایی در یک زمان تیمار مشخص در مقایسه با حالتی که از فرآیندهای شناورسازی و یا ترکیب شستشو و شناورسازی استفاده شود، کاغذهای با ویژگی‌های نوری و ظاهری مطلوب‌تری را نتیجه داده است. با این نتیجه می‌توان گفت که در بخش شستشو بخش اعظم ذرات ریز مرکب، پرکننده‌ها و ترکیبات رنگی از خمیرکاغذ خارج شده‌اند و خروج بیشتر ذرات مرکب و ترکیبات رنگی منجر به بهبود درجه روشنی کاغذ شده، این در حالی است که به‌نظر می‌رسد در بخش شناورسازی و یا ترکیب شستشو و شناورسازی ذرات مرکب دوباره بر روی الیاف رسوب داده‌اند و رسوب دوباره این ذرات با افزایش درجه ماتی، درجه روشنی کاغذ را کاهش دادند. نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری ویژگی‌های ظاهری کاغذها یعنی تعداد و سطح ذرات مرکب در دو سمت توری و رویی کاغذهای ساخته شده نشان داد که زمان تیمار ۲۰ دقیقه و استفاده از یک مرحله شستشو منجر به تولید کاغذهای با تعداد و سطح ذرات مرکب کمتر خواهد شد. همچنین شواهد به‌دست آمده از این پژوهش بیانگر آن است که تعداد ذرات مرکب در سمت توری کاغذ در مقایسه با سمت رویی کاغذها بیشتر است اما سطح ذرات مرکب در سمت توری کاغذها کمتر از سمت رویی مشاهده شده است. این نتیجه نشانگر آن است که در اثر عمل مکش دستگاه ورقه‌ساز، تجمع ذرات ریز مرکب در سمت توری بیشتر بوده و ذرات درشت‌تر مرکب بیشتر بر روی سطح رویی تجمع یافته‌اند (فائزی‌پور و همکاران، ۲۰۰۵). نتایج حاصل از مقایسه استفاده از فرآیندهای شناورسازی و یا ترکیب شستشو و شناورسازی در مرحله جداسازی نهایی ذرات مرکب از کاغذهای روزنامه خمیرسازی شده نشان داد که کاغذهای حاصل به لحاظ ویژگی‌های ظاهری اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۹ درصد ندارند. با توجه به این‌که با استفاده از فرآیند ترکیبی شستشو و شناورسازی جهت جداسازی نهایی ذرات مرکب، کاغذهای با درجه روشنی کمتر و درجه زردی، تعداد و سطح

ذرات مرکب بیشتری به دست آمده است، می‌توان گفت که در مرکب‌زدایی کاغذهای روزنامه باطله استفاده از توالی‌های بالا کارآیی و اثربخشی مطلوبی ندارد و استفاده از یک مرحله شستشو علاوه بر تولید کاغذهای با درجه روشنی بیشتر و درجه زردی کمتر منجر به تولید کاغذهای با تعداد و سطح کمتر ذرات مرکب خواهد شد.

### منابع

1. Aminirad, H., Jabari, H. and Rashtchian, D. 2007. Deinking from waste papers using flotation column method. Chem. and chem. Eng. J. Iran. 26:2. 1-11. (In Persian)
2. Azevedo, M.A.D. and Drelich, J.C. 1999. The effect of pH on pulping and flotation of mixed office waste paper. J. Pul. and Pap. Sci. 25:9.317-320.
3. Bajpai, P. 1998. Biotechnology for Environmental Protection in pulp and paper Industry. Germany springer. Pp: 91-107.
4. Faezipour, M., Khalafi, A., Mirshokraei, A., Mohammadnezhad, M. and Lohrasbi, A. 2005. Investigation of ONP type on deinkability. J. Iran. Nat. Res. 58:4. 887-897. (In Persian)
5. Ghasemian, A. 2003. Study on the properties of local ONP/OMG deinked pulp in comparison with local CMP pulp. J. Iran. Nat. Res. 57:3. 537-550. (In Persian)
6. Gullichsen, J. and Hannu, P. 2000. Recycled fiber and deinking. Pp: 241-263.
7. McKinney, T. and Hache, M. 1991. Technology of paper recycling. Blackie Academic and Professional, UK, 401p.
8. Pan, J. and Nguyen, K.L. 2007. Energy required for detachment of inks from printed newsprint in fiber slurry-effects of vehicles and aging. Colloids and Surfaces A: Physicochemistry. Eng. Aspects, 302:354-359.
9. Rahmaninia, M., Latibari, A., Mirshokraei, A. and Azadefallah, M. 2007. The influence of newspaper aging on optical properties of its de-inked pulp. Turkish J. Eng. Env. Sci. 32:35-39.
10. Sek Kim, Y. and Hyon Paik, K. 1996. The effect of offset ink formulation on deinking of old newspaper. J. Kore. Ind. and Eng. Chem. 7:4. 787-793.
11. Welt, T. 1998. Enzymatic deinking effectiveness and mechanisms. Ph.D. Thesis. The Institute of Paper Science and Technology. Atlanta, Georgia. 126:9. 396-407.
12. Wilkins, T. 2006. Old newspaper recycling summary for 2005. Statistic of paper recycling. Access 2008, Pp: 1-3.
13. Woodward, Jonathan., Koran, L.J. and Stephan, L.M. 1994. Development of a novel and environmentally method for the separation of non-inked and inked cellulose fibers in waste paper. J. Pul. and Pape. Scie. 25:1. 311-318.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 17(2), 2010*  
[www.gau.ac.ir/journals](http://www.gau.ac.ir/journals)

## **Investigation on The Deinkability of Old Newspaper**

**\*I. Akbarpour<sup>1</sup>, H. Resalati<sup>2</sup> and A.R. Saraeian<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Pulp and Paper Industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Pulp and Paper Industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Pulp and Paper Industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

### **Abstract**

In this study, deinkability of old newspaper by conventional method and the effect of washing, flotation and combined washing/flotation processes were investigated on optical and superficial properties of the produced papers. The results from measuring of the optical and superficial properties indicated that using chemical treatment time of 20 minute and one stage washing resulted the papers with the highest brightness degree of 50.9% ISO and the lowest yellowness degree of 14.8% ISO, opacity degree of 97.8% ISO, dirt count of 507 and dirt area of 2205.5 mm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. When the flotation process applied solely to deinking, opacity degree was improved to 99% ISO while the papers produced had lower brightness and higher yellowness, dirt count and dirt area. Also, the results obtained from distribution and the area of ink particles on both wire and felt sides of the papers showed that wire side of papers contained the higher ink count and ink area. With regard to the results obtained from optical and superficial properties of the made papers from deinking of old newspaper, application of washing process has more efficiency for removing of ink particles compared to flotation or combined washing and flotation processes, and the made papers have more desirable optical and superficial properties.

**Keywords:** Old Newspaper, Deinking, Washing Process, Flotation Process, Optical Properties, Superficial Properties

---

\* Corresponding Author: Email:iman.ak2010@gmail.com

