

## بررسی ویژگی‌های کاغذهای دست‌ساز حاصل از بازیافت کاغذ اسکناس باطله با تاکید بر اثر پالایش

کامیار بصیری مقدم، اصغر تابعی\* و مصطفی معدنی‌پور

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آستارا، گروه مهندسی چوب و کاغذ، آستارا، ایران. \*رایانامه نویسنده مسئول: tabei\_asr@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۸/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۳/۲۶

### چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر پالایش بر ویژگی‌های نوری و مکانیکی کاغذهای حاصل از بازیافت کاغذ اسکناس باطله انجام شد. بدین ترتیب، کاغذهای اسکناس باطله ۵۰۰ ریالی به نوارهای با عرض ۱۵ میلی‌متر تبدیل شد. سپس خرده اسکناس‌ها در محیطی با اسیدیته ۳ به مدت ۴ ساعت در دمای محیط، پیش‌ تیمار اسیدی شده و پس از آن تیمار اسیدی در محیطی با pH برابر ۳ در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱/۵ تا ۲ ساعت و در ۰/۳ درصد وزن خرده اسکناس‌ها صورت گرفت. یک مرحله تیمار قلیایی برای جدا کردن ذرات جوهر از سطح الیاف بعد از تیمار اسیدی انجام شد که این تیمار قلیایی در ۳ درصد وزن الیاف به مدت ۲ ساعت در ۹۵ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. خمیر حاصله پس از تیمار وارد مخلوط‌کن آزمایشگاهی شده و ۲ دقیقه در دور پایین هم زده شد تا الیاف از یکدیگر باز شوند (نمونه شاهد) و درجه روانی آن اندازه‌گیری شد. خمیر کاغذ حاصله توسط پالایش‌گر PFI در دورهای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ پالایش شد و بعد از اندازه‌گیری درجه روانی هر کدام از خمیرها، از آنها به صورت جداگانه کاغذهای دست‌ساز تهیه و ویژگی‌های آنها تعیین گردید. نتایج این بررسی نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بین ویژگی‌های کاغذهای حاصله با دورهای مختلف پالایش‌گر وجود دارد. مقاومت به ترکیدگی، مقاومت به کشش، مقاومت به تا شدن و درجه روشنی کاغذهای حاصله با افزایش میزان پالایش افزایش ولی مقاومت به پارگی و درجه روانی آنها کاهش پیدا کرد.

**واژه‌های کلیدی:** کاغذ بازیافتی، پالایش، کاغذ دست‌ساز، ویژگی‌های مکانیکی، ویژگی‌های نوری.

### مقدمه

پسماندهای ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، محدودیت‌های عمده رشد تولید در صنعت کاغذ هستند (Soni et al., 2008). استفاده از کاغذهای باطله طی چند دهه اخیر برای تولید انواع محصولات کاغذی حرکت رو به رشدی داشته است. با توجه به عواملی از قبیل افزایش مصرف سرانه کاغذ در کشور، کمبود فرآیندهای چوب و منابع سلولزی جنگلی، نیاز به

رشد و توسعه صنعت کاغذسازی و افزایش کاربردهای این فرآورده مهم باعث استفاده روز افزون و بی‌رویه از منابع جنگلی چوب‌ده شده است. با این وجود مطالعه بر روی منابع غیر از منابع جنگلی چوب‌ده با توجه به کمبود ماده اولیه برای صنایع چوب و کاغذ کشور لازم و ضروری به نظر می‌رسد. کمبود مواد اولیه چوبی و مشکلات موجود در فرآوری

بالا برای تولید آنها به عنوان اسکناس باطله باقی می‌ماند. مقدار این ضایعات بر اساس آمار ارایه شده از سوی بانک مرکزی حدود ۷۰۰ تن در سال می‌باشد که هیچ استفاده‌ای از آنها صورت نگرفته و سوزانده می‌شوند. این کار علاوه بر صرف هزینه‌های بالا، آلودگی محیط زیست را نیز به همراه دارد (رنگ‌آور، ۱۳۹۲). کاغذ اسکناس از الیاف پنبه درجه یک، خاک چینی، رزین ملامین فرمالدئید و دی‌اکسید تیتانیوم تشکیل شده است (عنایتی و حسینی، ۱۳۸۶). با توجه به اینکه در حال حاضر از کاغذ اسکناس باطله در کشور هیچ استفاده اقتصادی نشده و حتی برای از بین بردن آن هزینه‌های زیادی مصرف می‌شود، بازیافت و ساخت کاغذهای دست‌ساز آزمایشگاهی از آنها به عنوان یک مطالعه پایه به منظور مطالعه ویژگی‌های کاغذهای حاصله امری ضروری به نظر می‌رسد تا پتانسیل آنها برای استفاده‌های بعدی مورد ارزیابی قرار گیرد.

صادقی‌فر و رسالتی (۱۳۸۵) برای بازیافت کاغذ اسکناس باطله، یک پیش‌تیماراسیدی و یک تیمار اسیدی را روی این کاغذ انجام داده و به خمیری با روشنی حدود ۵۷ درصد رسیدند. آنها همچنین یک مرحله تیمار قلیایی را روی خمیر بازیافتی حاصل از تیمار اسیدی اضافه کرده و در این حالت به خمیری با روشنی حدود ۷۵ درصد رسیدند. نوری و همکاران (۱۳۸۷) تعیین حد مطلوب پالایش کاغذ حاصل از کرافت لاینر بازیافتی را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که مقاومت به ترکیدگی، مقاومت به کشش و روشنی کاغذهای کرافت لاینر بازیافتی با افزایش میزان پالایش افزایش می‌یابد ولی درجه روانی، ضخامت و مقاومت به پارگی کاهش می‌یابد. نوری و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی اثر پالایش بر ویژگی‌های مکانیکی و نوری کاغذ حاصل از بازیافت کاغذهای روزنامه نتیجه گرفتند که افزایش میزان پالایش، سبب

سرمایه‌گذاری‌های بزرگ برای ایجاد مجتمع‌های جدید چوب و کاغذ، مشکلات زیست محیطی ناشی از این گونه مجتمع‌ها و نیز عدم پیشرفت کافی فن‌آوری تبدیل منابع لیگنوسلولزی غیرچوبی به کاغذهای مرغوب، توسعه صنعت بازیافت الیاف سلولزی از کاغذهای باطله در مقیاس واحدهای صنعتی کوچک و بزرگ در کشور امری اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. این صنعت علاوه بر اشتغال‌زایی و تامین بخشی از نیاز فزاینده کشور به کاغذ و مقوا، به طور غیرمستقیم روند تخریب نگران‌کننده جنگل‌ها به وسیله مجتمع‌های بزرگ چوب و کاغذ را نیز کند کرده و پویایی مطلوبی را در صنعت خمیر و کاغذ کشور به وجود خواهد آورد (میرشکرای، ۱۳۸۰). علاوه بر این، صنعت مذکور مزایای دیگری مانند حفظ انرژی، مصرف کمتر آب، آلودگی کمتر هوا و کاهش فضای مربوط به دفن زباله‌ها را نیز به همراه دارد (Chauhan et al., 2009).

کاغذهایی که به عنوان کاغذ باطله مطرح هستند شامل کاغذهای روزنامه کهنه، کاغذهای مربوط به آگهی‌های تجاری و تبلیغاتی، کاغذ مجلات و انواع کاغذهای استفاده شده در ادارات و سازمان‌ها می‌شوند. با توجه به ساختاری که هرکدام از این کاغذها دارند و با عنایت به استفاده از مواد و عناصر خاص در ساخت این نوع کاغذها، روند بازیافت هرکدام از این کاغذها با یکدیگر متفاوت بوده و حتی کاغذهای بعدی که از بازیافت هر کدام از این کاغذها به دست خواهند آمد کاربردها و ویژگی‌های خاص خود را خواهند داشت (Soni et al., 2008).

کاغذ اسکناس یکی از کاغذهایی است که به دلیل عدم استفاده درست مردم از آن در ایران به زودی فرسوده شده و زیان‌های اقتصادی زیادی را با خروج از چرخه اقتصادی بر کشور وارد می‌سازد. متأسفانه سالیانه مقادیر هنگفتی از این کاغذها علیرغم سرمایه

### مواد و روش‌ها

اسکناس‌های باطله ۵۰۰ ریالی به صورت خرد و پرس شده از بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران تحویل گرفته شد. اسکناس‌های تهیه شده پس از پاک‌سازی و جداسازی تکه‌های نوار چسب به نوارهایی با عرض ۱۵ میلی‌متر برش داده شد و به آزمایشگاه خمیر و کاغذ کارخانه چوب و کاغذ ایران (چوکا) منتقل گردید. سپس نمونه‌های تهیه شده ۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند تا به رطوبت تعادل با محیط برسند. نمونه‌گیری از این کاغذها برای تعیین رطوبت انجام گرفته و نمونه‌های اصلی در کیسه‌های پلاستیکی درب بسته ریخته شدند. دهانه کیسه‌ها در طی مراحل کار تنها در هنگام برداشت نمونه باز شد.

با توجه به اینکه کاغذ اسکناس در حالت تر مقاوم بوده و در ساخت آن از رزین استفاده می‌شود، جداسازی الیاف آن به روش‌های معمول و فقط در محیط آبی ممکن نیست. بنابراین برای جداسازی الیاف آن از روش پیشنهادی صادقی‌فر و رسالتی (۱۳۸۵) استفاده شد. خرده اسکناس‌ها برای این منظور ابتدا در محیط با pH برابر ۳ به مدت ۴ ساعت در دمای محیط پیش‌تیمار اسیدی شدند. تیمار اسیدی پس از انجام پیش‌تیمار در محیط با pH برابر ۳ در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱/۵ تا ۲ ساعت انجام شد تا هیدرولیز رزین به کار رفته در ساختار کاغذ اسکناس با موفقیت انجام پذیرد. یک مرحله تیمار قلیایی برای جدا کردن ذرات جوهر از سطح الیاف بعد از تیمار اسیدی انجام شد. این تیمار قلیایی در ۳ درصد وزن الیاف به مدت ۲ ساعت در ۹۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد. خمیر حاصله پس از تیمار وارد مخلوط‌کن آزمایشگاهی شده و ۲ دقیقه با دور پایین هم زده شد تا الیاف از هم باز شوند. مواد حاصله

افزایش مقاومت به ترکیدگی، مقاومت به کشش، مقاومت به تا شدن و درجه روشنی کاغذهای بازیافتی کاغذ روزنامه باطله شد ولی ضخامت، مقاومت به پارگی و ماتی کاهش یافتند. طلایی‌پور (۱۳۸۸) در بررسی تاثیر پالایش الیاف بازیافتی حاصل از خمیر کاغذهای شیمیایی جوهرزدایی شده بر خواص نوری، فیزیکی و مقاومت‌های مکانیکی کاغذ، نتیجه گرفت که با انجام پالایش روی الیاف بازیافتی مذکور، کلیه مقاومت‌های مکانیکی کاغذ به استثناء مقاومت به پاره شدن به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد و از نظر خواص نوری نیز، روشنی کاغذ افزایش و ماتی کاهش می‌یابد. Khantayanuwang (۲۰۰۲) در بررسی اثر پالایش و بازیافت بر ویژگی‌های الیاف خمیر و کاغذ به این نتیجه رسید که مقاومت به کشش در اثر افزایش تعداد دفعات بازیافت کاهش می‌یابد ولی افزایش میزان پالایش خمیرهای بازیافتی سبب افزایش این ویژگی می‌شود. Chauhan و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی تولید کاغذ دست‌ساز از الیاف بازیافتی کاغذهای اسکناس باطله به وسیله روش آنزیمی نتیجه گرفتند که نه تنها کاغذهای دست‌ساز کیفیت بهتری نسبت به کاغذهای ساخته شده از مواد لیگنوسولوزی نظیر پسماندهای ناشی از فعالیت‌های کشاورزی دارند، ساخت آنها موجب صرفه‌جویی خوبی در زمینه استفاده از انرژی، آب و مواد شیمیایی می‌شود.

از آنجا که تحقیقی پیش از این در مورد نحوه بازیافت کاغذ اسکناس باطله با هدف امکان‌سنجی بازیافت و جوهرزدایی این نوع کاغذ صورت گرفته (صادقی‌فر و رسالتی، ۱۳۸۵)، در این تحقیق سعی گردید ضمن استفاده از روش کار محققان ذکر شده، نسبت به بررسی ویژگی‌های مقاومتی و نوری کاغذهای بازیافتی با تاکید بر اثر پالایش بر این ویژگی‌ها اقدام گردد.

روی الک‌های آزمایشگاهی با مش‌های ۲۰ و ۵۰ شستشو شدند. الیاف باقی‌مانده روی الک با مش ۵۰ به عنوان خمیر قابل قبول و الیاف روی الک با مش ۲۰ به عنوان وازده گزارش شد.

برای تهیه مواد شیمیایی از هیدروکسید سدیم (NaOH) آزمایشگاهی (Merck) با خلوص ۱۰۰ درصد و اسید سولفوریک ( $H_2SO_4$ ) با pH برابر ۳ استفاده شد. مواد شیمیایی به دلیل بکارگیری ۵۰۰ گرم اسکناس خشک و با در نظر گرفتن درصد رطوبت اسکناس‌ها تهیه گردید.

پالایش خمیر کاغذ توسط پالایشگر آزمایشگاهی PFI به شماره ۲۲۷ ساخت انستیتو تحقیقات خمیر و کاغذ نروژ، مطابق استاندارد T 248 om-85 آیین نامه TAPPI انجام گرفت. لازم به ذکر است که عملیات پالایش با تعداد دورهای ۰ (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ صورت پذیرفت.

از هریک از خمیرهای کاغذ بازیافتی پالایش نشده و پالایش شده در دوره‌های مختلف طبق استاندارد TAPPI به شماره T 205 om-88 کاغذهای دست‌ساز با گراماژ ۶۰ گرم در مترمربع ساخته شد. اندازه‌گیری درجه روانی خمیر کاغذ مطابق استاندارد T 227 om-92 آیین نامه TAPPI انجام گرفت. اندازه‌گیری مقاومت به ترکیدن کاغذ مطابق استاندارد T 403 om-02 آیین نامه TAPPI با استفاده از دستگاه مدل دیجیتال اتوماتیک ساخت شرکت Buchler (هلند) انجام گرفت. اندازه‌گیری مقاومت به کشش کاغذ مطابق استاندارد T 494 om-06 آیین نامه TAPPI با استفاده از دستگاه مدل آنالوگ ساخت شرکت TMI (آمریکا) انجام گرفت. اندازه‌گیری مقاومت به پاره شدن کاغذ مطابق استاندارد T 414 om-88 آیین نامه TAPPI، با استفاده از دستگاه مدل دیجیتال اتوماتیک ساخت شرکت Buchler (هلند) انجام گرفت. اندازه‌گیری مقاومت در برابر تا شدن

کاغذ مطابق استاندارد T 511 om-96 آیین نامه TAPPI با استفاده از دستگاه مدل آنالوگ ساخت شرکت TINIUS OLSEN (آمریکا) انجام گرفت. اندازه‌گیری میزان روشنی کاغذ مطابق استاندارد T 452 om-08 آیین نامه TAPPI، با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Technibrite micro TB-IC (آمریکا) انجام گرفت.

تجزیه واریانس بر اساس طرح کامل تصادفی و مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش دانکن در سطح اطمینان ۵ درصد انجام شد. برای پردازش نتایج حاصل از کلیه اندازه‌گیری‌ها از نرم افزار SAS استفاده شد.

### نتایج

تاثیر دور پالایش بر درجه روانی خمیر بازیافتی و ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذهای حاصله در این تحقیق ضمن بازیافت کاغذ اسکناس باطله مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از آن در جدول ۱ قابل مشاهده است.

نتایج نشان دادند که اختلاف بین درجه روانی خمیر کاغذهای حاصل از بازیافت کاغذ اسکناس باطله در دوره‌های مختلف پالایشگر در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۲). درجه روانی خمیر همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده در اثر افزایش شدت پالایش و بالا رفتن تعداد دور پالایشگر کاهش می‌یابد، به نحوی که بالاترین مقدار درجه روانی به شدت پالایش با ۰ دور در دقیقه (بدون پالایش) و کمترین مقدار آن به شدت پالایش ۱۵۰ دور در دقیقه مربوط می‌شود. گروه‌بندی دانکن مربوط به درجه روانی خمیر کاغذ نیز در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد که درجه روانی مربوط به هر کدام از دوره‌های پالایش در این گروه‌بندی در گروه‌های متفاوت قرار گرفته است.

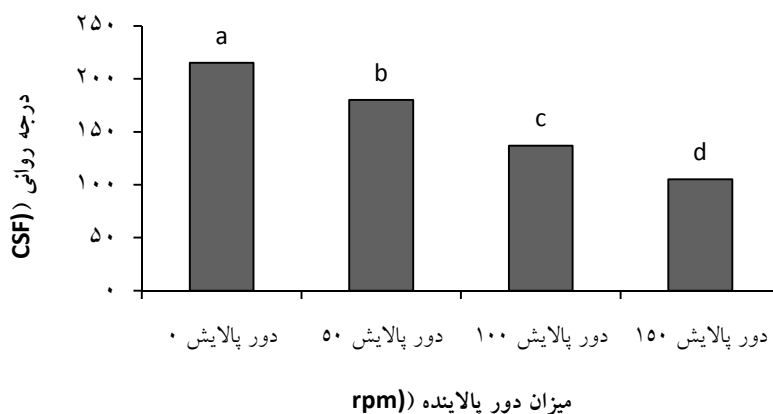
**جدول ۱.** مقادیر درجه روانی و ویژگی‌های کاغذهای دست‌ساز حاصل از بازیافت کاغذ اسکناس باطله در دوره‌های مختلف پالایش

ویژگی‌ها	میزان پالایش (میزان دور پالاینده)			
	۱۵۰	۱۰۰	۵۰	۰
درجه روانی (CSF)	۱۰۵	۱۳۷	۱۸۰	۲۱۵
فاکتور مقاومت به ترکیدن (kPam <sup>2</sup> /g)	۱۷/۳۰	۱۵/۲۰	۱۲/۷۰	۷/۸۰
مقاومت به کشش (N.m/g)	۲/۳۰	۲/۲۰	۱/۷۰	۱/۶۰
مقاومت به تا خوردگی (تعداد)	۵/۳۰	۴/۳۰	۳/۳۰	۲
فاکتور مقاومت به پارگی (mNm <sup>2</sup> /g)	۴۹/۹۰	۶۵/۷۰	۶۵/۹۰	۷۵/۹۰
روشنی (درصد)	۵۴/۸۰	۵۴/۲۰	۵۳/۶۰	۵۲/۴۰

**جدول ۲.** تجزیه واریانس ویژگی درجه روانی خمیر کاغذها در دوره‌های پالایش مختلف

Pr > F	F Value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	
<۰/۰۰۰۱	۷۲۹/۵۹	۶۹۷۶/۷۵**	۲۰۹۳۰/۲۵	۳	میزان پالایش
		۹/۵۶۲۵	۷۶/۵	۸	درجه آزادی خطا
				۱/۹۴	ضریب تغییرات (درصد)

ns به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار بوده در حالی که \* و \*\* به ترتیب به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.



**شکل ۱.** تاثیر دور پالایش بر درجه روانی خمیر بازیافتی (حروف غیر مشابه به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است)

یافت، به نحوی که بالاترین مقدار مقاومت به ترکیدن در شدت پالایش با ۱۵۰ دور در دقیقه و کمترین مقدار آن در شدت پالایش ۰ دور در دقیقه (بدون پالایش) اتفاق افتاد. گروه‌بندی دانکن مربوط به این ویژگی در شکل ۲ قابل مشاهده است که مقاومت به ترکیدن مربوط به هر کدام از دوره‌های پالایش در

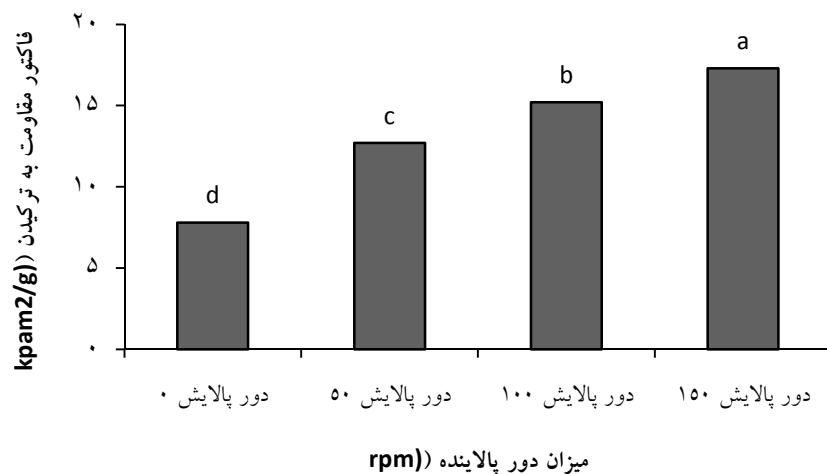
نتایج دور پالایش بر مقاومت به ترکیدن نشان دادند که اختلاف بین مقاومت به ترکیدن کاغذهای حاصل از بازیافت کاغذ اسکناس باطله در دوره‌های مختلف پالایشگر در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۳). مقاومت به ترکیدن کاغذها در اثر افزایش شدت پالایش و بالا رفتن تعداد دور پالایشگر افزایش

گروه‌های متفاوت قرار گرفته اند. اختلاف بین مقاومت به کشش کاغذهای حاصل از بازیافت کاغذ اسکناس باطله در دوره‌های مختلف پالایشگر نیز در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۴). همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود مقاومت به کشش کاغذها در اثر افزایش شدت پالایش و بالا رفتن تعداد دور پالایشگر، افزایش یافت، به نحوی که بالاترین مقدار مقاومت به کشش به شدت پالایش ۱۵۰ دور در دقیقه و کمترین مقدار آن به شدت پالایش ۰ دور در دقیقه (بدون پالایش) مربوط شد. در شکل ۳ گروه‌بندی دانکن مربوط به این ویژگی نیز قابل مشاهده می‌باشد که در این گروه‌بندی مقاومت به کشش مربوط به دوره‌های پالایش ۰ و ۵۰ دور در دقیقه در یک گروه قرار گرفته و مقاومت به کشش مربوط به دوره‌های پالایش ۱۰۰ و ۱۵۰ دور در دقیقه نیز در یک گروه متفاوت دیگر قرار گرفته‌اند.

**جدول ۳.** تجزیه واریانس ویژگی مقاومت به ترکیدن کاغذها در دوره‌های پالایش مختلف

Pr > F	F Value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	
<۰/۰۰۰۱	۲۳۳۵۳/۵	۵۰/۲۱**	۱۵۰/۶۳	۳	میزان پالایش
		۰/۰۰۲۱۵	۰/۰۱۷۲	۸	درجه آزادی خطا
				۰/۳۵	ضریب تغییرات (درصد)

ns به منزله عدم وجود اختلاف معنی دار بوده در حالی که \* و \*\* به ترتیب به منزله اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

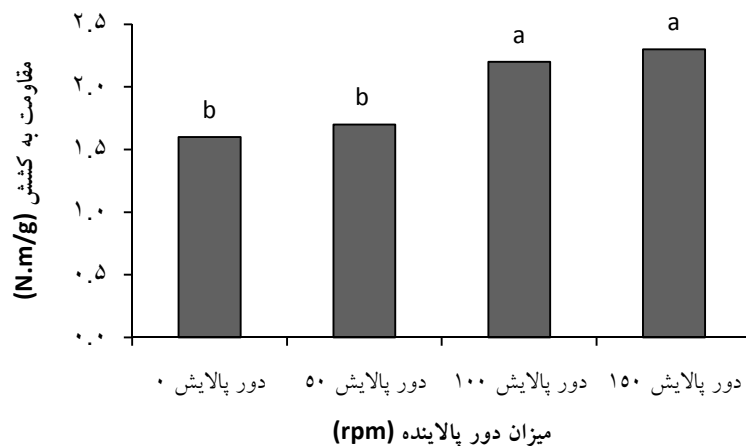


**شکل ۲.** تاثیر دور پالایش بر مقاومت به ترکیدن کاغذهای حاصله (حروف غیر مشابه به منزله اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است)

**جدول ۴.** تجزیه واریانس ویژگی مقاومت به کشش کاغذها در دوره‌های پالایش مختلف

Pr > F	F Value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	
<۰/۰۰۰۱	۸۲/۲۲	۰/۳۷**	۱/۱۱	۳	میزان پالایش
		۰/۰۰۴۵	۰/۰۳۶	۸	درجه آزادی خطا
				۳/۴۴	ضریب تغییرات (درصد)

ns به منزله عدم وجود اختلاف معنی دار بوده در حالی که \* و \*\* به ترتیب به منزله اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.



شکل ۳. تاثیر دور پالایش بر مقاومت به کشش کاغذهای حاصله (حروف غیر مشابه به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است)

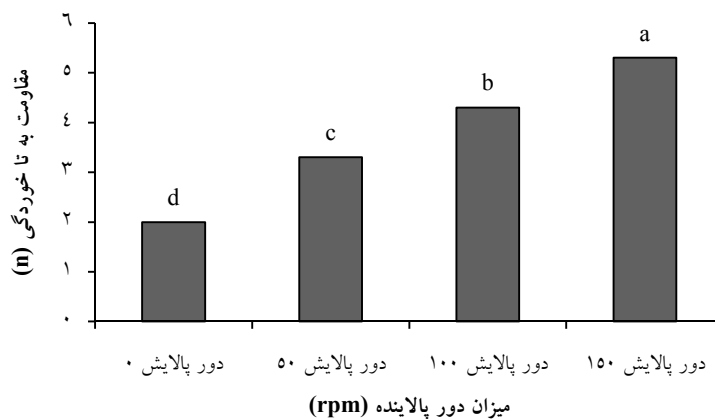
مقاومت به تا خوردگی، به شدت پالایش با ۱۵۰ دور در دقیقه و کمترین مقدار آن به شدت پالایش ۰ دور در دقیقه (بدون پالایش) مربوط می‌باشد. در شکل ۴ گروه‌بندی دانکن مربوط به این ویژگی نیز قابل مشاهده می‌باشد که در این گروه‌بندی مقاومت به تا خوردگی مربوط به هر کدام از دورهای پالایش در گروه‌های متفاوت قرار گرفته‌اند.

یافته‌ها نشان دادند که اختلاف بین مقاومت به تا خوردگی کاغذهای حاصل از بازیافت کاغذ اسکناس باطله در دورهای مختلف پالایشگر در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۵). همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود در اثر افزایش شدت پالایش و بالا رفتن تعداد دور پالایشگر، مقاومت به تا خوردگی کاغذها افزایش می‌یابد، به نحوی که بالاترین مقدار

جدول ۵. تجزیه واریانس ویژگی مقاومت به تا خوردگی کاغذها در دورهای پالایش مختلف

Pr > F	F Value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	
<0/0001	۷۶۷/۵۲	۵/۹۶۷۵**	۱۷/۹۰۲۵	۳	میزان پالایش
		۰/۰۰۷۷۷۵	۰/۰۶۲۲	۸	درجه آزادی خطا
				۲/۳۶	ضریب تغییرات (درصد)

ns به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار بوده در حالی که \* و \*\* به ترتیب به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.



شکل ۴. تاثیر دور پالایش بر مقاومت به تا خوردگی کاغذهای حاصله (حروف غیر مشابه به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است)

بررسی‌ها نشان داد که اختلاف بین مقاومت به پارگی کاغذهای حاصل از بازیافت کاغذ اسکناس باطله در دوره‌های مختلف پالایشگر در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۶). در اثر افزایش شدت پالایش و بالا رفتن تعداد دور پالایشگر، مقاومت به پارگی کاغذها کاهش می‌یابد، به نحوی که بالاترین مقدار مقاومت به پارگی در شدت پالایش با ۰ دور در دقیقه (بدون پالایش) و کمترین مقدار آن در شدت پالایش ۱۵۰ دور در دقیقه اتفاق افتاد. گروه‌بندی دانکن مربوط به این ویژگی نیز در شکل ۵ قابل مشاهده است که در این گروه‌بندی مقاومت به پارگی مربوط به هر کدام از دوره‌های پالایش در گروه‌های

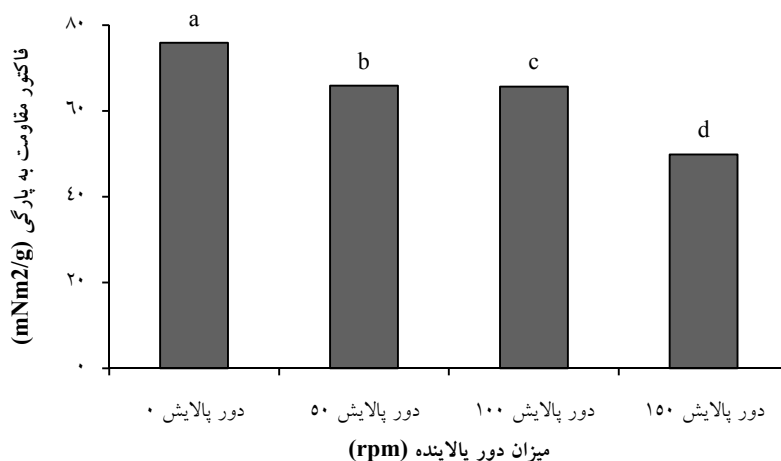
متفاوت قرار گرفته‌اند.

اختلاف بین روشنی کاغذهای حاصل از بازیافت کاغذ اسکناس باطله در دوره‌های مختلف پالایشگر در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۷). روشنی کاغذها در اثر افزایش شدت پالایش و بالا رفتن تعداد دور پالایشگر افزایش می‌یابد (شکل ۶)، به نحوی که بالاترین مقدار روشنی به شدت پالایش با ۱۵۰ دور در دقیقه و کمترین مقدار آن به شدت پالایش ۰ دور در دقیقه (بدون پالایش) مربوط است. گروه‌بندی دانکن این ویژگی نیز در شکل ۶ قابل مشاهده است که در این گروه‌بندی روشنی مربوط به هر کدام از دوره‌های پالایش در گروه‌های متفاوت قرار گرفته‌اند.

جدول ۶. تجزیه واریانس ویژگی مقاومت به پارگی کاغذها در دوره‌های پالایش مختلف

Pr > F	F Value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	
<۰/۰۰۰۱	۵۶۵۶۰	۳۴۶/۴۳**	۱۰۳۹/۲۹	۳	میزان پالایش
		۰/۰۰۶۱۲۵	۰/۰۴۹	۸	درجه آزادی خطا
				۰/۱۲۲	ضریب تغییرات (درصد)

ns به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار بوده در حالی که \* و \*\* به ترتیب به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.



شکل ۵. تاثیر دور پالایش بر مقاومت به پارگی کاغذهای حاصله (حروف غیر مشابه به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است)

### بحث و نتیجه‌گیری

بر روی توری می‌باشد به طوری که آب پس‌دهی خمیر یا به عبارت دیگر درجه روانی خمیر با پیشرفت پالایش به سرعت کاهش می‌یابد. علت اصلی این

درجه روانی خمیر کاغذ با افزایش شدت پالایش (تعداد دور پالایشگر) کاهش یافت. یک اثر آشکار پالایش، تغییرات شدید در خواص آبیگری از خمیر



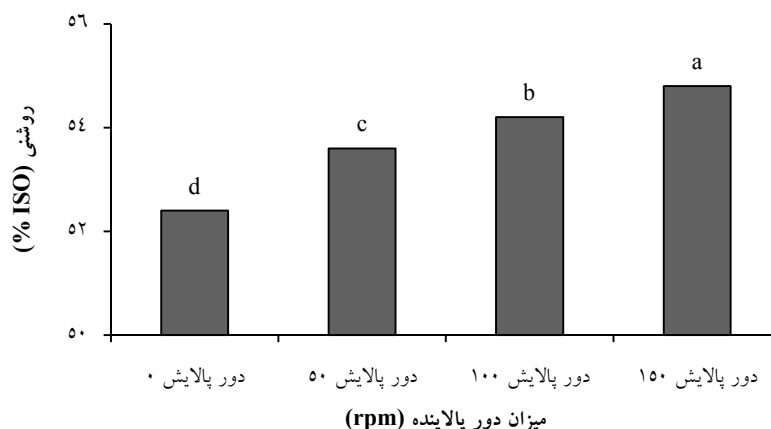
در واحد زمان کاهش می‌یابد (میرشکرای، ۱۳۸۷). نتیجه به دست آمده در این تحقیق در مورد اثر شدت پالایش بر درجه روانی با نتیجه تحقیقات نوری و همکاران (۱۳۸۷)، طلایی‌پور (۱۳۸۸)، کرد (۱۳۸۸) و Hawes و Doshi (۱۹۸۶) همخوانی دارد.

مطلب را می‌توان در افزایش نرمه‌ها دانست زیرا شکستن و کوتاه شدن الیاف در جریان پالایش تا حدودی بر اثر عمل برشی برآمدگی‌ها و شیارهای دیسک پالاینده پیش می‌آید که منجر به افزایش نرمه‌ها و کندی مراحل شستشو می‌گردد. در واقع قابلیت زهکشی با افزایش پالایش کم شده و در نتیجه تولید

جدول ۷. تجزیه واریانس ویژگی روشنی کاغذها در دوره‌های پالایش مختلف

Pr > F	F Value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	
<۰/۰۰۰۱	۵۴۶/۴۹	۳/۰۸۷۶۷۵**	۹/۲۶۳	۳	میزان پالایش
		۰/۰۰۵۶۵	۰/۰۴۵۲	۸	درجه آزادی خطا
				۰/۱۴	ضریب تغییرات (درصد)

ns به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار بوده در حالی که \* و \*\* به ترتیب به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.



شکل ۶. تاثیر دور پالایش بر روشنی کاغذهای حاصله (حروف غیر مشابه به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است)

"Weyerhacuser" صحت این رابطه را برای کاغذهای دست‌ساز با جهت‌گیری الیاف تصادفی به اثبات رساند (طلایی‌پور، ۱۳۸۸). نتیجه به دست آمده در این تحقیق در مورد اثر شدت پالایش بر مقاومت به ترکیدن با نتایج تحقیقات نوری و همکاران (۱۳۸۷) و (۱۳۸۸)، طلایی‌پور (۱۳۸۸) و کرد (۱۳۸۸) مطابقت دارد. همچنین همانگونه که مشاهده شد مقاومت به کشش کاغذهای حاصله نیز با افزایش شدت پالایش تا حدودی افزایش یافت که باز هم دلیل آن به فیبرله شدن زیاد الیاف و در نتیجه افزایش اتصالات بین

مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز با افزایش شدت پالایش به‌طور مشخصی افزایش یافت که این موضوع به اثر پالایش در افزایش اتصالات بین فیبری مربوط می‌گردد (طلایی‌پور، ۱۳۸۸، میرشکرای، ۱۳۸۷). Hosseiny و Anderson (۱۹۹۹) در بررسی اثر طول و زبری الیاف بر مقاومت به ترکیدن نتیجه گرفتند که مقاومت به ترکیدن کاغذ با مقاومت کششی (متوسط مقاومت کششی در جهت MD, CD) و جذر کشش کاغذ در جهت MD تا نقطه گسیختگی متناسب است. مرکز فنی و تحقیقاتی

فیبری بر می‌گردد زیرا که استحکام خمیر کاغذ با افزایش پیوندهای بین لیفی مطلوب‌تر می‌شود. نتایج این تحقیق در این مورد با نتایج به دست آمده از تحقیقات نوری و همکاران (۱۳۸۷ و ۱۳۸۸)، طلائی‌پور (۱۳۸۸)، و همچنین Khantayanuwang (۲۰۰۲) همخوانی دارد.

مقاومت به تا خوردگی کاغذهای حاصله همانطور که مشاهده شد با افزایش شدت پالایش افزایش پیدا کرد. مقاومت به تا خوردگی کاغذ علاوه بر میزان پیوندهای بین فیبری به میزان انعطاف‌پذیری الیاف نیز مربوط می‌گردد. ساختار الیاف بازیافتی به طوری است که نسبت به الیاف خمیر بکر، انعطاف‌پذیری کمتری دارند چرا که دیواره این نوع الیاف در طول فرآیند کاغذسازی سخت شده و انعطاف‌پذیری آنها کاهش می‌یابد. به همین دلیل الیاف بازیافتی شکننده بوده و مقاومت به تا خوردگی آنها کمتر است. دیواره‌های این نوع الیاف در اثر عمل پالایش از هم بازتر شده و امکان ورود آب به درون ساختار متراکم و سخت دیواره‌ای آنها فراهم می‌شود. الیاف در نتیجه متورم شده و انعطاف‌پذیری آنها افزایش می‌یابد که در نهایت منجر به بهبود مقاومت به تا شدن کاغذ می‌گردد (طلائی‌پور، ۱۳۸۸). نتایج این تحقیق در مورد اثر پالایش بر تا خوردگی با نتایج تحقیقات نوری و همکاران (۱۳۸۸) و طلائی‌پور (۱۳۸۸) مطابقت دارد.

مقاومت به پارگی کاغذهای حاصله با افزایش شدت پالایش کاهش پیدا کرد. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد بریده شدن و کاهش طول الیاف یکی از اثرات مشخص پالایش می‌باشد. از آنجا که مقاومت به پارگی به طول الیاف و مقاومت تک تک الیاف بستگی دارد (میرشکرایی، ۱۳۸۷، طلائی‌پور، ۱۳۸۸ و کرد، ۱۳۸۸)، مقاومت به پارگی کاغذهای حاصله نیز به دلیل کوتاه شدن طول الیاف در اثر عمل پالایش کاهش پیدا کرده است. باز هم نتایج این تحقیق در این

خصوص با یافته‌های تحقیقات نوری و همکاران (۱۳۸۷ و ۱۳۸۸)، طلائی‌پور (۱۳۸۸)، کرد (۱۳۸۸) و Kewin و همکاران (۱۹۹۶) همخوانی دارد. روشنی کاغذهای حاصله نیز با افزایش شدت پالایش افزایش پیدا کرد. به احتمال بسیار زیاد افزایش میزان روشنی در اثر پالایش به دلیل حذف بیشتر مواد معدنی خمیر کاغذ و حذف مقداری از ذرات مرکب چاپ می‌باشد. نوری و همکاران (۱۳۸۷ و ۱۳۸۸) و طلائی‌پور (۱۳۸۸) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

آنچه که در بالا بحث شد بیشتر مربوط به اثر پالایش بر ویژگی‌های خمیر و کاغذهای حاصله بود اما در مقایسه نتایج مربوط به ویژگی‌های گفته شده در این تحقیق با یافته‌های Chauhan و همکاران (۲۰۰۹) با هدف بررسی تولید کاغذ دست‌ساز از الیاف بازیافتی کاغذهای اسکناس باطله به وسیله روش آنزیمی مشخص می‌گردد که یافته‌ها به ویژه در خصوص ویژگی‌هایی مانند مقاومت به ترکیدن، مقاومت به پارگی و روشنی تا حدودی با یکدیگر مشابهت دارند. بنابراین می‌توان گفت که کاغذهای اسکناس باطله پتانسیل خوبی برای امر بازیافت و تبدیل به فرآورده‌های کاغذی دیگر دارند. لذا توصیه می‌گردد به جای صرف هزینه‌های هنگفت برای از بین بردن آنها، تدابیری نسبت به بازیافت آنها اندیشیده شود تا علاوه بر کاهش هزینه‌های مادی، مشکلاتی نیز آلودگی‌های زیست‌محیطی آنها نیز کاهش یابد.

### منابع

- رنگ‌آور، ح. (۱۳۹۲) امکان‌سنجی کاربرد ضایعات اسکناس باطله در ساخت صفحات فشرده چوب - گج. مجله صنایع چوب و کاغذ ایران، ۴(۱): ۸۷-۹۹.
- صادقی‌فر، ح. و رسالتی، ح. (۱۳۸۵) بررسی امکان بازیافت و جوهرزدائی کاغذ اسکناس باطله. مجله منابع طبیعی ایران، ۵۹(۴): ۹۵۳-۹۶۱.
- طلائی‌پور، م.، ۱۳۸۸، تاثیر پالایش خمیر شیمیایی

- paper. *Kasetsart Journal (Natural Sciences)*, 36(2): 193-199.
- Soni, R., Nazir, A., Chadha, B.S., and Saini, H.S. (2008) Novel sources of fungal cellulases for efficient deinking of composite paper waste. *Bioresources Journal*, 3(1): 234-246.
- جوهرزدایی شده بر خواص نوری، فیزیکی و مقاومت‌های مکانیکی کاغذ. مجله تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۴(۱): ۱۴۸-۱۵۷.
- عنایتی، ع.ع. و حسینی، ا. (۱۳۸۶) استفاده از دورریزهای کاغذ اسکناس باطله در ساخت تخته‌خرده‌چوب. مجله منابع طبیعی ایران، ۶۰(۳): ۱۰۲۶-۱۰۳۶.
- کرد، ب. (۱۳۸۸) تاثیر شدت پالایش بر خصوصیات خمیر کاغذ حاصل از اکالیپتوس کاملدولنسیس. مجله تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۴(۱): ۱۲۵-۱۳۳.
- میرشکرایی، ا. (۱۳۸۰) راهنمای بازیافت کاغذهای باطله. انتشارات آبیژ. تهران، ۱۵۲ صفحه.
- میرشکرایی، ا. (۱۳۸۷) فن‌آوری خمیر و کاغذ. انتشارات آبیژ. تهران، ۵۰۱ صفحه.
- نوری چهرپردی، ح.، قاسمیان، ع.، شالبافان، ع. و حاجی حسینی، ر. (۱۳۸۷) بررسی تعیین حد مطلوب پالایش کاغذ حاصل از کرافت لاینر بازیافتی. مجله تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۳(۱): ۱۲-۱۹.
- نوری، ح.، حسینی، س.ض.، قاسمیان، ع.، وزیری، و. و کبیری، ا. (۱۳۸۸) بررسی اثر پالایش بر ویژگی‌های نوری و مکانیکی کاغذ حاصل از بازیافت کاغذهای روزنامه. مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۱۶(۲): ۱-۱۵.
- Chauhan, S., Khan, M.E., Sharma, A.K., Jain, R.K., and Hussain, G. (2009) Cost – Effective Production Of Handmade Paper Through Recycling Of Shredded Currency Waste Of Reserve Bank Of India – An Enzymatic Route. *IPPTA Journal*, 21(3): 111-117.
- Hawes, H. and Doshi, R.S. (1986) Fiber characterization using confocal microscopy the effect of recycling. *Tappi Journal*, 78(12): 131- 137
- Hosseiny, F. and Anderson, D. (1999) Effect of fiber length and coarseness on the burst strength of paper. *Tappi Journal*, 83(5): 202 – 203.
- Kewin, L., Jacques, L., and Jinying, V., 1996. Effect of recycling on papermaking and high yield pulps. *Tappi Journal*, 79 (3): 167 - 172
- Khantayanuwang, S. 2002. Effect of beating and recycling on strength of pulp fibers and

## An Investigation of Hand Sheet paper properties produced from recycled banknote paper with emphasis on refining Effect

Kamyar Basiri Moghaddam, Asghar Tabei\* and Mostafa Madanipour

Department of Wood and Paper Science and Technology, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran.  
\*Corresponding Author Email Address: tabei\_asr@yahoo.com

Date of Submission: 2014/06/16      Date of Acceptance: 2014/11/11

### Abstract

In this study, the effect of refining on the optical and mechanical properties of pulp and paper made from recycled banknote paper was investigated. For this purpose, fifty Rials waste banknote papers were cut into strips with a width of 15 mm. First, retail banknote papers were pretreated with acid under conditions pH=3 and 4 hours treatment time in ambient conditions. After acidic pretreatment, an acidic treatment was done under conditions pH=3 and 1.5 to 2 hours treatment time in 95° C, and the amount of consumed acid was 0.3% for banknote papers weight. To separate ink particles from fiber surfaces, an alkaline treatment was performed after acidic treatment under conditions 2 hours treatment time in 95° C, and 3% NaOH for dry pulp weight. After alkaline treatment, obtained pulp was poured into a laboratory mixer and by mixer was stirred in 2 minutes until the fibers are so far apart. Then, the freeness of pulp was measured. Obtained pulp was refined by PFI refiner in refining intensities of 50, 100 and 150 and then, the freeness of obtained pulps were measured. After refining, for each of the pulps, hand sheet papers were made and the properties of them were determined. The results indicated significant differences between pulp and paper properties made of waste currency papers with 4 different refining intensities in 1% confident level. As increasing of refining intensity and refining revolutions, burst strength, tensile strength, folding strength and brightness of papers increased but tear strength of papers and freeness of pulps decreased

**Keywords:** recycled paper, refining, Hand sheet paper, mechanical properties, optical properties.