

## ویژگی‌های خمیر کاغذ سولفیت قلیایی - آنتراکینون

### رنگ‌بری شده از کارتن کنگره‌ای کهنه

- ❖ جعفر شفیعی؛ کارشناس ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران
- ❖ احمد جهان‌تیباری\*؛ استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران
- ❖ سید محمدجواد سپیده‌دم؛ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران
- ❖ علیرضا خاکی فیروز؛ استادیار گروه سلولزی و بسته‌بندی، سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، کرج، ایران

#### چکیده

در این تحقیق ویژگی‌های خمیر کاغذ سولفیت قلیایی - آنتراکینون (AS/ AQ) از کارتن کنگره‌ای کهنه (OCC) بررسی شد. برای هر پخت، از ۱۰۰ گرم OCC (مبنای وزن خشک ماده اولیه)، قلیائیت فعال ۱۸ درصد، آنتراکینون در سه سطح ۰، ۰/۱ و ۰/۲ درصد، و زمان پخت در دو سطح ۱۲۰ و ۱۵۰ دقیقه استفاده شد. دمای پخت ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و نسبت  $\text{NaOH}/\text{Na}_2\text{SO}_3$  معادل ۷۰/۳۰ و نسبت مایع پخت به ماده اولیه ۱/۸ ثابت در نظر گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که اثر مستقل زمان پخت بر عدد کاپا و اثر مستقل آنتراکینون بر بازده و عدد کاپا و اثر متقابل زمان پخت - آنتراکینون بر بازده و عدد کاپا از نظر آماری در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. بیشترین بازده (۶۴/۶ درصد) مربوط به شرایط پخت ۱۸ درصد قلیائیت فعال و بدون مصرف آنتراکینون و زمان پخت ۱۵۰ دقیقه بود و کمترین عدد کاپا (۸/۷۸) مربوط به شرایط ۱۸ درصد قلیائیت فعال و ۰/۲ درصد آنتراکینون و زمان پخت ۱۵۰ دقیقه اندازه‌گیری شد. نتایج بررسی ویژگی‌های مقاومتی نشان داد که شاخص مقاومت به کشش با میانگین  $24/6 \text{ N.m/g}$  از خمیر کاغذ تولید شده با شرایط قلیائیت فعال ۱۸ درصد و بدون مصرف آنتراکینون و زمان پخت ۱۵۰ دقیقه و شاخص مقاومت به پاره‌شدن با میانگین  $m.N.m^2/g$  ۱۰/۵۴ از خمیر کاغذ تولید شده با شرایط قلیائیت فعال ۱۸ درصد و ۰/۲ درصد آنتراکینون و زمان پخت ۱۵۰ دقیقه در مقایسه با دیگر شرایط خمیر کاغذسازی برتر بودند. از خمیر کاغذ ساخته شده با شرایط زمان پخت ۱۵۰ دقیقه، قلیائیت فعال ۱۸ درصد، و ۰/۱ درصد آنتراکینون برای رنگ‌بری با فرایند ECF و توالی  $D_0E_pD_1$  با اعمال فاکتور کاپای ۰/۳۵ استفاده شد. نتایج بررسی ویژگی‌های نوری و مقاومتی نشان داد که رنگ‌بری خمیر کاغذ با استفاده از دی اکسید کلر به روشنی ۸۲/۶ درصد، ماتی ۸۰/۲۲ درصد، و زردی ۵/۶۴ درصد در واحد ایزو می‌رسد. همچنین، شاخص مقاومت به کشش با میانگین  $17/88 \text{ N.m/g}$  و شاخص مقاومت به پاره‌شدن با میانگین  $10/48 \text{ m.N.m}^2/g$  اندازه‌گیری شد. بازده خمیر کاغذ رنگ‌بری شده معادل ۹۲/۱ درصد وزن خشک خمیر کاغذ قبل از رنگ‌بری اندازه‌گیری شد.

واژگان کلیدی: آنتراکینون، بازده، سولفیت قلیایی، عدد کاپا، رنگ‌بری بدون عنصر کلر، مقاومتی، ویژگی‌های نوری.

## مقدمه

در سال‌های اخیر، بازیافت کاغذ رشد چشمگیری را تجربه کرده و میزان بازیافت کاغذ در دنیا از حدود ۱۴۰ میلیون تن در سال ۲۰۰۰ به حدود ۱۸۱/۶ میلیون تن در سال ۲۰۰۹ افزایش یافته است [۱]. در این زمینه، به طور عمده، دو مسیر بازیافت کاغذهای قابل جوهرزدایی و تولید کاغذهای مشابه کاغذ قبل از چاپ و بازیافت کاغذ بدون جوهرزدایی، مانند بازیافت کارتن کنگره‌ای کهنه و محصولات مشابه و تولید کاغذ از آن، پی‌گیری می‌شود و موفقیت چشمگیری داشته است. علاوه بر این، اخیراً نگرش جدیدی برای بازیافت کاغذ باطله‌های قهوه‌ای نظیر کارتن کنگره‌ای کهنه (OCC)<sup>۱</sup> شامل لیگنین‌زدایی و رنگ بری برای تولید کاغذ چاپ و تحریر و درجات مشابه گسترش یافته است [۲].

حجازی و همکاران در تحقیقی از فرایند خمیرکاغذسازی سولفیت قلیایی - آنتراکینون (AS/AQ) و توالی‌های رنگ‌بری کاملاً بدون کلر (TCF) برای تولید خمیرکاغذ از پسماندهای کشاورزی ایران استفاده و گزارش کردند که فرایند سولفیت قلیایی - آنتراکینون در مقایسه با فرایند سودا - آنتراکینون سودا به بازده کل و بازده بعد از غربال، گرانروی، درجه روشنایی زیادتر، و عدد کاپای کمتری منجر شده است. نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی، حاکی از برتری خمیرکاغذهای سولفیت قلیایی - آنتراکینون تحت شرایط مشابه، به بیشترین بازدهی در مورد باگاس، کمترین عدد کاپا در مورد کلش برنج، بیشترین مقاومت مکانیکی در مورد کاه گندم، بیشترین درجه روشنایی در کلش برنج، و بیشترین گرانروی در کاه گندم بود [۳-۵].

جهان لیبیاری و حقیقت (۲۰۱۱) گزارش کردند که با استفاده از ۱۸ درصد قلیابیت فعال، نسبت

سولفیت سدیم به هیدروکسید سدیم ۷۰/۳۰، زمان و دمای پخت به ترتیب ۱۲۰ دقیقه و ۱۷۵ درجه سلسیوس، خمیرکاغذی با بازده ۶۴ درصد (بر مبنای وزن خشک الیاف بعد از شست‌وشو و تمیزکردن) و ۷۲/۸ درصد (بر مبنای وزن خشک OCC اولیه قبل از شست‌وشو و تمیزکردن) و عدد کاپای ۱۸/۳ ساخته شد. روشنی، ماتی، شاخص مقاومت به پاره‌شدن، و شاخص مقاومت به کشش این خمیرکاغذ به ترتیب ۵۰/۱۷ درصد، ۸۱/۳ درصد،  $۱۲/۳۵ \text{ mN.m}^2/\text{g}$  و  $۲۷/۷ \text{ N.m/g}$  اندازه‌گیری شد. رنگ‌بری با پراکسید هیدروژن این خمیرکاغذ نشان داد که با استفاده از ۳ درصد پراکسید هیدروژن و ۲/۲۵ درصد هیدروکسید سدیم می‌توان به روشنی ۵۷/۱۴ درصد و ماتی ۷۸/۲۴ درصد رسید. بازده خمیرکاغذ رنگ‌بری شده معادل ۹۲ درصد وزن خشک خمیرکاغذ قبل از رنگ‌بری اندازه‌گیری شد [۲].

نگوین و همکاران (۱۹۹۳) از مایع پخت کرافت برای لیگنین‌زدایی OCC استفاده و خمیرکاغذ رنگ‌بری شده برای ساخت کاغذ چاپ تحریر را تولید کردند [۶].

بیزنر و همکاران (۱۹۹۳) منابع OCC از امریکای شمالی و اروپا را ارزیابی و گزارش کردند که عدد کاپای OCC امریکای شمالی بیشتر از اروپاست، ولی با استفاده از فرایند کرافت یا اکسیژن - قلیایی می‌توان عدد کاپا را تا مقدار ۳۰ کاهش داد. همچنین، گزارش کردند که درجه آب‌گیری و ویژگی‌های مقاومتی نیز بهبود می‌یابد. طبق تحلیل اقتصادی نامبردگان، استفاده از OCC برای تولید خمیرکاغذ رنگ‌بری شده قابل رقابت با فرایند کرافت خواهد بود [۷].

با توجه به اینکه در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای به حفظ محیط زیست شده است، سعی می‌شود از فرایندهایی استفاده شود که کمترین میزان آلاینده‌ها را ایجاد کند و بازده مطلوب‌تری داشته باشد. از این

محفظه پخت افزوده شد. سپس، محلول پخت به دیگ پخت اضافه شد. محفظه پخت تحت فشار فولاد زنگ‌نزن بود و دما به کمک دماسنج و ترموستات کنترل شد. محفظه حرکت دورانی دارد و بدین طریق محتویات آن پیوسته هم زده می‌شود. زمان پخت پس از رسیدن به دمای پخت تنظیم شد.

برای تهیه مایع پخت از هیدروکسید سدیم با خلوص ۱۰۰ درصد و سولفیت سدیم و آنتراکینون آزمایشگاهی مرک استفاده شد. سایر شرایط پخت به شرحی که ذکر می‌شود انتخاب شد:

نسبت مایع پخت به ماده اولیه (L/W): ۸/۱ دمای پخت ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، نسبت سولفیت سدیم به هیدروکسید سدیم ۳:۷۰، قلیابیت کل ۱۸ درصد (مبنای وزن خشک OCC قبل از شست‌وشو)، آنتراکینون ۰، ۰/۱ و ۰/۲ درصد (مبنای وزن خشک OCC قبل از شست‌وشو)، زمان پخت ۱۲۰ و ۱۵۰ دقیقه (پس از رسیدن به دمای پخت)، و زمان رسیدن به دمای پخت ۳۰ دقیقه تنظیم شد.

پس از پایان هر پخت و خارج کردن گازهای داخل محفظه، محتویات مخزن پخت بر روی غربال با اندازه سوراخ‌های ۲۰۰ مش تخلیه شد و حجم مایع پخت باقی‌مانده اندازه‌گیری شد و پس از گذشت ۳۰ دقیقه و به تعادل رسیدن دمای مایع پخت سیاه، pH آن اندازه‌گیری شد. خمیر کاغذ داخل سطل پلاستیکی ریخته شد تا عمل شست‌وشو و آب‌گیری از خمیر کاغذ صورت بگیرد. برای آب‌گیری از خمیر کاغذ، از الک ۲۰۰ مش استفاده شد. آب پرفشار بر روی خمیر کاغذ پاشیده شد و در نهایت با اعمال فشار، مقدار الیاف باقی‌مانده روی الک ۲۰۰ مش به‌عنوان الیاف مقبول گزارش شد. خمیر کاغذ به‌صورت مرطوب در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی و در یخچال نگه‌داری شد تا در مراحل بعدی، آزمایش‌ها بر روی آن صورت بگیرد.

نظر، استفاده از فرایند سولفیت قلیایی - آنتراکینون و رنگ‌بری سازگار با محیط زیست می‌تواند راهگشا باشد. در این بررسی، از فرایند سولفیت قلیایی - آنتراکینون برای تداوم لیگنین زدایی از کارتن کنگره‌ای کهنه (OCC) و تولید خمیر کاغذ با قابلیت رنگ‌بری مقاومت‌های مقبول و مناسب ساخت کاغذ چاپ و تحریر استفاده شده است.

## مواد و روش‌ها

**نمونه برداری:** در این بررسی برای جلوگیری از ورود آلاینده‌ها، از آخال و ضایعات کارتن کنگره‌ای کهنه (OCC) عاری از چاپ و آلاینده‌های ایجاد شده در کارخانه‌های کارتن سازی استفاده شد. وجود نشاسته که در ساخت مقوای کنگره‌ای استفاده می‌شود اجتناب‌ناپذیر بوده است.

**آماده‌سازی OCC:** آخال‌ها دستی به قطعاتی به ابعاد تقریبی ۳ سانتی‌متر در ۳ سانتی‌متر خرد شد و سپس رطوبت آن‌ها اندازه‌گیری شد. معادل ۱۰۰ گرم OCC (مبنای وزن خشک) توزین و در آب خیسانده شد و بعد از حدود دو ساعت خیساندن، عمل پراکنده کردن آن در آب توسط همزن آزمایشگاهی و با درصد خشکی ۵ در صد انجام گرفت. بعد از اتمام عملیات پراکنده کردن OCC در آب، محتویات ظرف همزن بر روی غربال با اندازه سوراخ‌های ۲۰۰ مش تخلیه شد و پس از آب‌گیری اولیه، ماده باقی‌مانده بر روی غربال کاملاً با آب شست‌وشو شد. بدین طریق تا حد امکان آلاینده‌ها و نرمه‌ها جداسازی شدند. علاوه بر این، سعی شد هیچ‌گونه کلوخه در الیاف شست‌وشو شده وجود نداشته باشد. از این الیاف شست‌وشو شده مستقیماً در پخت استفاده می‌شود.

**مراحل و شرایط تولید خمیر کاغذ:** در هر پخت از ۱۰۰ گرم OCC (مبنای وزن خشک) خرد شده استفاده شد که بعد از شست‌وشو و آب‌گیری کردن به

## رنگبری با استفاده از دی اکسید کلر (ECF)

رنگبری خمیر کاغذ تحت توالی  $D_0E_pD_1$  صورت گرفت. در این توالی از دی اکسید کلر به عنوان ماده اصلی رنگبری و یک مرحله استخراج قلیایی توسط هیدروکسید سدیم به همراه پراکسید هیدروژن استفاده شد. بدین منظور، در یک توالی معین با در نظر گرفتن عامل کاپای ۰/۳۵ از ۱/۶ درصد (بر مبنای وزن خشک خمیر کاغذ قبل از رنگبری) دی اکسید کلر استفاده شد. در ابتدا، pH خمیر کاغذها با درصد خشکی ۱۰ درصد توسط اسید سولفوریک رقیق (۱ درصد) به ۳ تا ۵ رسانده شد و سپس ۲/۳ از دی اکسید کلر به مخلوط خمیر کاغذ اضافه شد و سپس خمیر کاغذ در داخل کیسه پلی اتیلنی در حمام آب گرم در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت قرار داده شد. پس از این مرحله، خمیر کاغذ شسته شد و به آن ۲/۵ درصد هیدروکسید سدیم به همراه ۱ درصد پراکسید هیدروژن اضافه شد و مخلوط خمیر کاغذ در کیسه‌های پلاستیکی دربسته قرار گرفت و دوباره در حمام آب گرم ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت قرار داده شد. pH این مرحله ۸ تا ۹ بود. پس از پایان این مرحله، خمیر کاغذ شسته شد و ۱/۳ دی اکسید کلر باقی مانده به همراه اسید سولفوریک به خمیر کاغذ شسته شده اضافه شد. این مرحله در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پخت دو ساعت انجام گرفت. در نهایت، خمیر کاغذها برای عملیات ساخت کاغذ دست‌ساز و آزمون‌های مقاومتی و نوری در ظروف تیره بدون نفوذ نور بسته‌بندی و در یخچال نگه‌داری شدند.

## ساخت کاغذ دست‌ساز و اندازه‌گیری

### ویژگی‌های خمیر کاغذ و کاغذ

ساخت کاغذ دست‌ساز و اندازه‌گیری ویژگی‌های آن طبق دستورالعمل‌های مربوطه آیین‌نامه تاپی

بدین شرح انجام گرفته است [۸].

عدد کاپا:  $T_{2360m-06}$

درجه روانی:  $T_{2270m-04}$

ساخت کاغذ دست‌ساز:  $T_{205sp-06}$

شاخص مقاومت به پاره شدن:  $T_{4140m-04}$

شاخص مقاومت به کشش:  $T_{4940m-06}$

روشنی و زردی:  $T_{4520m-08}$

ماتی:  $T_{4250m-06}$

## محاسبات آماری

تجزیه و تحلیل آماری بازده، عدد کاپا، و همچنین خصوصیات مقاومتی کاغذهای دست‌ساز، بر اساس آزمون فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی توسط نرم‌افزار آماری SPSS انجام شد. در صورت معنی دار شدن اختلاف میانگین‌ها، گروه‌بندی میانگین‌ها به روش چنددامنه‌ای دانکن انجام شد.

## نتایج

### تجزیه و تحلیل پخت‌ها

در این تحقیق از شش ترکیب شرایط پخت استفاده شد و برای هر ترکیب شرایط دو پخت مجزا انجام گرفت. نتایج اندازه‌گیری‌ها در جدول ۱ خلاصه شده است. نتایج خلاصه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که بر اثر تغییر شرایط لیگنین‌زدایی، بازده و عدد کاپا کاهش یافته که دور از انتظار نبوده است، ولی تغییر درجه روانی خمیر کاغذهای تولید شده چشمگیر نیست. تأثیر زمان پخت و میزان مصرف آنتراکینون بر بازده و عدد کاپا نشان می‌دهد که با افزایش زمان پخت از ۱۲۰ به ۱۵۰ دقیقه، بازده تا نزدیک به ۵ درصد کاهش یافته و در حالتی که از ۰/۲ درصد آنتراکینون استفاده شده، عدد کاپا ۳/۵ کاهش یافته است. درجه روانی خمیر کاغذها اندازه‌گیری و ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذها بدون انجام پالایش تعیین شده است.

جدول ۱. شرایط فرایند و ویژگی‌های خمیر کاغذ سولفیت قلیایی - آنتراکینون از کارتن کنگره‌ای کهنه  
(شرایط ثابت: دما ۱۷۰°C؛ NaOH/Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>: ۳۰/۷۰؛ قلیابیت فعال: ۱۸٪؛ L/W: ۸/۱)

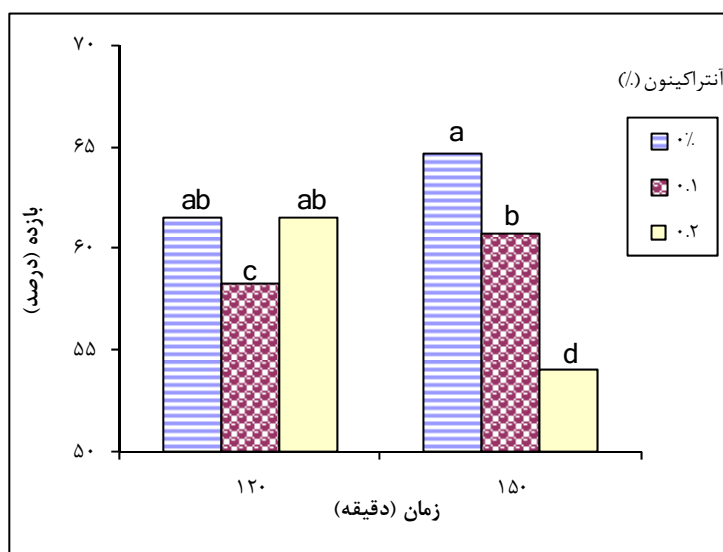
کد خمیر کاغذ	زمان پخت (دقیقه)	شرایط فرایند		بازده (درصد)		درجه روانی CSF (ml)	شاخص مقاومت به پاره‌شدن (mN.m <sup>2</sup> /g)	شاخص مقاومت به کشش (N.m/g)
		آنتراکینون (%)	بر مبنای وزن اولیه (قبل از شست‌وشو و تمیز کردن)	OCC (بعد از شست‌وشو و تمیز کردن)	بر مبنای وزن OCC			
کنترل	-	-	۸۶/۷۱	۱۰۰	۶۳/۶۱	-	۹/۸	۲۱/۶
۱	-	۰	۶۱/۵	۷۱/۵۱	۲۴/۳	۵۹۰	۱۰/۱	۱۷/۱
۲	۱۲۰	۰/۱	۵۸/۲	۶۷/۶۷	۱۱/۸۷	۵۹۰	۹/۶	۱۴/۵
۳	-	۰/۲	۶۱/۵	۷۱/۵۱	۱۲/۲۸	۵۶۰	۸/۹۵	۱۸/۱
۴	-	۰	۶۴/۶	۷۵/۱۱	۲۴/۲۸	۵۶۰	۱۰/۳	۲۴/۶
۵	۱۵۰	۰/۱	۶۰/۶۷	۷۰/۵۴	۱۲	۵۳۰	۱۰/۲۳	۱۹/۵۸
۶	-	۰/۲	۵۳/۹۸	۶۲/۷۶	۸/۷۸	۵۷۵	۱۰/۵۴	۱۶/۵

مقاومت به کشش از نظر آماری در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. علاوه بر این، اثر مستقل آنتراکینون بر شاخص مقاومت به کشش و اثر متقابل زمان پخت - آنتراکینون بر شاخص مقاومت به پاره‌شدن در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بود و فقط اثر مستقل زمان پخت بر بازده و اثر مستقل آنتراکینون بر شاخص مقاومت به پاره‌شدن معنی‌دار نبود.

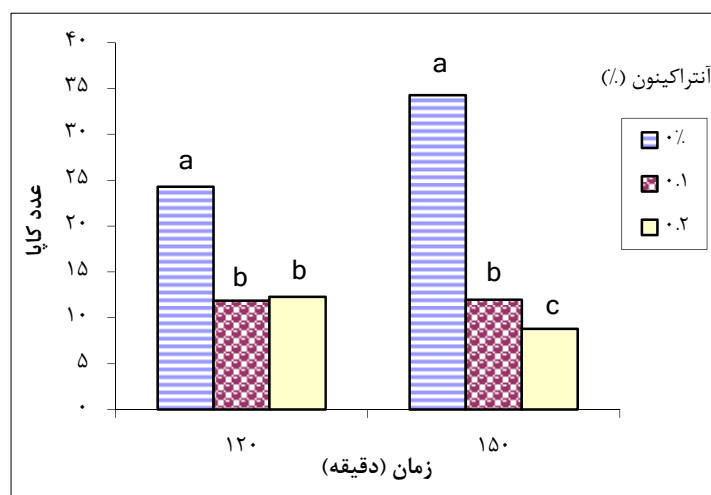
گروه‌بندی دانکن اثر متقابل زمان پخت - آنتراکینون بر بازده نشان داد که میانگین‌ها در پنج گروه قرار گرفته‌اند (شکل ۱). در زمان پخت کوتاه‌تر، بر اثر افزودن آنتراکینون کاهش چشمگیری در میزان بازده دیده نشد، ولی فقط با افزایش مقدار آنتراکینون از ۰ به ۰/۱ درصد در زمان پخت ۱۲۰ دقیقه کاهش بازده مشاهده نشد. ولی با افزایش مقدار آنتراکینون از ۰/۱ درصد به ۰/۲ درصد بازده افزایش یافت. همچنین، با افزایش مقدار آنتراکینون از ۰ به ۰/۱ درصد و همچنین از ۰/۱ درصد به ۰/۲ درصد در زمان پخت ۱۵۰ دقیقه با کاهش بازده مواجهیم.

بر اثر شست‌وشو و آماده‌سازی OCC و حذف ناخالصی‌ها، ۱۴ درصد از وزن اولیه آن کم شد که این مقدار دورریز به دلیل وجود نشاسته و بعضی از ناخالصی‌ها و نرمه‌هایی که از غربال ۲۰۰ مش عبور می‌کنند اجتناب‌ناپذیر است. بازده خمیر کاغذ سولفیت قلیایی - آنتراکینون از کارتن کنگره‌ای کهنه بین ۵۳/۹۸ درصد تا ۶۴/۶ درصد (مبنای وزن کاملاً خشک و قبل از تمیز کردن و شست‌وشوی کارتن کنگره‌ای کهنه) و بین ۶۲/۷۶ درصد تا ۷۵/۱۱ درصد (بر مبنای وزن خشک بعد از شست‌وشو و تمیز کردن) متغیر بوده است. هر دو عامل زمان پخت و آنتراکینون بر تغییر بازده خمیر کاغذ تأثیر داشت و زیادترین میانگین بازده در زمان پخت ۱۵۰ دقیقه، قلیابیت ۱۸ درصد و بدون آنتراکینون مشاهده شد (جدول ۱).

اثر مستقل زمان پخت بر عدد کاپا، شاخص مقاومت به کشش، شاخص مقاومت به پاره‌شدن، اثر مستقل آنتراکینون بر بازده و عدد کاپا، اثر متقابل زمان پخت - آنتراکینون بر بازده و عدد کاپا، و شاخص



شکل ۱. تأثیر زمان پخت و مقدار آنتراینون بر بازده خمیر کاغذ سولفیت قلیایی - آنتراینون از OCC



شکل ۲. تأثیر زمان پخت و مقدار آنتراینون بر عدد کاپای خمیر کاغذ سولفیت قلیایی - آنتراینون از OCC

پخت - آنتراینون بر عدد کاپا در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. بنابراین، برای گروه‌بندی میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد (شکل ۲). گروه‌بندی دانکن در رابطه با اثر متقابل زمان پخت - آنتراینون بر عدد کاپا نشان داد که میانگین‌ها در سه گروه قرار گرفته‌اند. با افزایش زمان پخت از ۱۲۰ به ۱۵۰ دقیقه بدون مصرف آنتراینون عدد کاپا به مقدار کمی کاهش یافت، ولی با افزایش مقدار آنتراینون از ۰/۱ به ۰/۲ درصد در زمان پخت ۱۲۰ و ۱۵۰ دقیقه

بر اثر اعمال شرایط متفاوت پخت، عدد کاپای خمیر کاغذ کاهش چشمگیری را نشان داد؛ به طوری که عدد کاپا از مقدار اولیه ۶۳/۶ (مربوط به OCC شست‌وشو شده و بدون لیگنین زدایی) به ۸/۷۸ (در مورد خمیر کاغذ شماره ۶) کاهش یافت. کمترین عدد کاپا در زمان پخت ۱۵۰ دقیقه، قلیابیت ۱۸ درصد و آنتراینون ۰/۲ درصد مشاهده شد و کمترین میانگین بازده خمیر کاغذ نیز در این شرایط حاصل شد. تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثر متقابل زمان

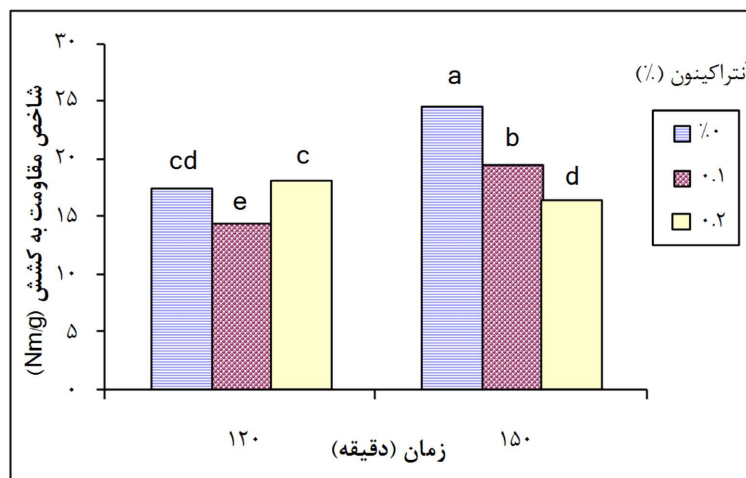
درصد در زمان پخت ۱۵۰ دقیقه شاخص مقاومت به کشش کاهش یافت (شکل ۳).

کمترین شاخص مقاومت به کشش مربوط به زمان پخت ۱۲۰ دقیقه و ۰/۱ درصد آنتراکینون معادل ۱۵/۲۸ N.m/g، و بیشترین شاخص مقاومت به کشش مربوط به زمان پخت ۱۵۰ دقیقه و بدون مصرف آنتراکینون معادل ۲۱/۹۵ N.m/g اندازه‌گیری شد.

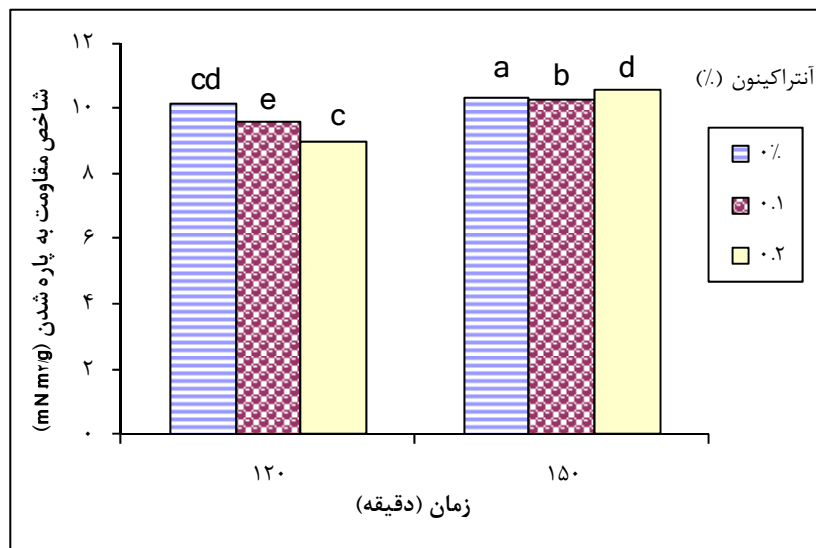
اثر متقابل زمان پخت - آنتراکینون بر شاخص مقاومت به پاره‌شدن در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است. گروه‌بندی دانکن اثر متقابل زمان پخت - آنتراکینون بر شاخص مقاومت به پاره‌شدن نشان داد که میانگین‌ها در پنج گروه قرار گرفته‌اند. با افزایش زمان پخت از ۱۲۰ به ۱۵۰ دقیقه بدون مصرف آنتراکینون شاخص مقاومت به پاره‌شدن به مقدار کمی افزایش یافت، ولی با افزودن آنتراکینون به مقدار ۰/۱ درصد در زمان پخت ۱۲۰ و ۱۵۰ دقیقه کاهش در شاخص مقاومت به پاره‌شدن مشاهده شد. با افزایش مقدار آنتراکینون از ۰/۱ درصد به ۰/۲ درصد در زمان پخت ۱۲۰ دقیقه کاهش بیشتری در شاخص مقاومت به پاره‌شدن اتفاق افتاد، ولی با افزایش مقدار آنتراکینون از ۰/۱ درصد به ۰/۲ درصد در زمان پخت ۱۵۰ دقیقه شاهد افزایش جزئی این ویژگی هستیم (شکل ۴).

کاهش چشمگیری در عدد کاپا مشاهده شد. با افزایش مقدار آنتراکینون از ۰/۱ درصد به ۰/۲ درصد در زمان پخت ۱۲۰ دقیقه عدد کاپا به مقدار جزئی افزایش یافت، ولی با افزایش مقدار آنتراکینون از ۰/۱ درصد به ۰/۲ درصد در زمان پخت ۱۵۰ دقیقه کاهش عدد کاپا مشاهده شد (شکل ۲).

ویژگی‌های مقاومتی کاغذ دست‌ساز از خمیر کاغذهای پالایش‌نشده اندازه‌گیری شد (جدول ۱). تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثر متقابل زمان پخت - آنتراکینون بر شاخص مقاومت به کشش در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. بنابراین، برای گروه‌بندی میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. گروه‌بندی دانکن در رابطه با اثر متقابل زمان پخت - آنتراکینون بر شاخص مقاومت به کشش نشان داد که میانگین‌ها در شش گروه قرار گرفته‌اند. با افزایش زمان پخت از ۱۲۰ به ۱۵۰ دقیقه بدون مصرف آنتراکینون شاخص مقاومت به کشش افزایش یافت، ولی با افزودن آنتراکینون به مقدار ۰/۱ درصد در زمان پخت ۱۲۰ و ۱۵۰ دقیقه شاخص مقاومت به کشش کاهش یافت. علاوه بر این، با افزایش مقدار آنتراکینون از ۰/۱ درصد به ۰/۲ درصد در زمان پخت ۱۲۰ دقیقه شاخص مقاومت به کشش افزایش یافت، ولی با افزایش مقدار آنتراکینون از ۰/۱ درصد به ۰/۲



شکل ۳. تأثیر زمان پخت و مقدار آنتراکینون بر شاخص مقاومت به کشش خمیر کاغذ سولفیت قلیایی - آنتراکینون از OCC



شکل ۴. تأثیر زمان پخت و مقدار آنتراکینون بر شاخص مقاومت به پاره شدن خمیر کاغذ سولفیت قلیایی - آنتراکینون از OCC

کمترین شاخص مقاومت به پاره شدن مربوط به زمان پخت ۱۲۰ دقیقه و ۰/۲ درصد آنتراکینون معادل  $9/48 \text{ mN.m}^2/\text{g}$  است و بیشترین شاخص مقاومت به پاره شدن مربوط به زمان پخت ۱۵۰ دقیقه و آنتراکینون ۰/۱ درصد معادل  $10/36 \text{ mN.m}^2/\text{g}$  است.

رنگ‌بری خمیر کاغذ با استفاده از  $D_0EpD_1$  ویژگی‌های خمیر کاغذ رنگ‌بری شده با ترتیب ECF در جدول ۲ خلاصه شده است. گروه‌بندی دانکن نشان داد که میانگین‌ها در سه گروه مجزا قرار گرفته‌اند.  $D_0$  دارای بیشترین بازده است و بعد از آن  $D_0Ep$  در گروه دوم و  $D_0EpD_1$  در گروه سوم قرار گرفته‌اند. بر اثر مراحل رنگ‌بری، بازده و عدد کاپا کاهش یافته است. روشنی خمیر کاغذها افزایش و هر دو ویژگی ماتی و زردی کاهش یافته است (جدول ۳). رنگ‌بری تأثیری بر ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ رنگ‌بری شده نداشته است.

برای انجام رنگ‌بری از خمیر کاغذ ساخته شده با شرایط پخت، زمان ۱۵۰ دقیقه، قلیابیت ۱۸ درصد، آنتراکینون ۰/۱ درصد، و مصرف ۱/۶ درصد (مبنای وزن خشک خمیر کاغذ قبل از رنگ‌بری و ترتیب

### رنگ‌بری خمیر کاغذ با استفاده از دی اکسید کلر (ECF)

جدول ۲. ویژگی‌های خمیر کاغذ سولفیت قلیایی - آنتراکینون رنگ‌بری شده با ترتیب ECF از کارتن کنگره‌ای کهنه با اعمال فاکتور کاپای ۰/۳۵ (شرایط: درصد خشکی ۱۰٪، مرحله  $D_0$ : دما ۶۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۶۰ دقیقه، مرحله  $E_p$ : دما ۷۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۶۰ دقیقه، مرحله  $D_1$ : دما ۸۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۱۲۰ دقیقه)

شاخص مقاومت به کشش (N.m/g)	شاخص مقاومت به پاره شدن (mN.m²/g)	زردی (%)	ماتی (%)	روشنی (%)	عدد کاپا	بازده (%)	متغیرها
۱۹/۵۸	۱۰/۲۳	-	۹۴/۷۳	۴۳/۶۷	۱۲	۱۰۰	کنترل
۲۰/۸۱	۱۰/۹۸	۲۶/۹۰ <sup>a</sup>	۹۳/۷۸ <sup>a</sup>	۵۰/۹۴ <sup>c</sup>	۴/۸۷ <sup>a</sup>	۹۶/۸ <sup>a</sup>	$D_0$
۱۸/۰۴	۱۱/۰۷	۱۲/۷۳ <sup>b</sup>	۸۴/۳۵ <sup>b</sup>	۷۳/۹۸ <sup>b</sup>	۲/۴۵ <sup>b</sup>	۹۳/۱ <sup>b</sup>	$D_0Ep$
۱۷/۸۸	۱۰/۴۸	۵/۶۴ <sup>c</sup>	۸۰/۲۲ <sup>c</sup>	۸۲/۶ <sup>a</sup>	۱/۳۵ <sup>c</sup>	۹۲/۱ <sup>c</sup>	$D_0EpD_1$



## بحث و نتیجه‌گیری

افزودن ۰/۱ درصد آنتراکینون به مایع سولفیت قلیایی، بازده خمیر کاغذ از کارتن کنگره‌ای را کاهش داد، ولی با افزایش میزان آنتراکینون از ۰/۱ به ۰/۲ درصد در زمان پخت ۱۲۰ دقیقه، افزایش جزئی مشاهده شد. در زمان طولانی‌تر پخت، با کاهش در میزان بازده مواجه بودیم. زمان پخت بر بازده خمیر کاغذ از OCC اثر معنی‌داری نداشت و با افزایش زمان پخت از ۱۲۰ به ۱۵۰ دقیقه در شرایط یکسان آنتراکینون فقط با کاهش جزئی در میزان بازده مواجه بودیم. در این تحقیق، بیشترین بازده (۶۴/۶ درصد) مربوط به شرایط پخت بدون مصرف آنتراکینون و زمان پخت ۱۵۰ دقیقه، و کمترین بازده (به مقدار ۵۳/۹۸ درصد) مربوط به شرایط پخت ۰/۲ درصد آنتراکینون و زمان پخت ۱۵۰ دقیقه بود.

جهان‌لتیباری و حقیقت (۱۳۹۰)، در پخت OCC به روش سولفیت قلیایی، زیادترین بازده معادل ۷۸/۹ درصد را مربوط به شرایط پخت با قلیابیت ۱۴ درصد، نسبت  $\text{Na}_2\text{SO}_3/\text{NaOH}$ : ۵۰/۵۰، دمای پخت ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد، و زمان پخت ۶۰ دقیقه، و کمترین بازده معادل ۶۴ درصد را مربوط به پخت با قلیابیت ۱۸ درصد، نسبت  $\text{Na}_2\text{SO}_3/\text{NaOH}$ : ۳۰/۷۰، دمای پخت ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد، و زمان پخت ۱۲۰ دقیقه، گزارش کردند.

حجازی و همکاران (۲۰۰۸) در تولید خمیر کاغذ از کاه گندم به روش سولفیت قلیایی - آنتراکینون گزارش کردند که زیادترین بازده کل معادل ۵۶/۴ درصد مربوط به پخت با قلیابیت ۱۶ درصد، آنتراکینون ۰/۱ درصد، نسبت  $\text{Na}_2\text{SO}_3/\text{NaOH}$ : ۲۰/۸۰، دمای پخت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد، زمان پخت ۶۰ دقیقه، و نسبت مایع پخت به کاه ۱:۴، و کمترین بازده کل معادل ۴۸ درصد مربوط به پخت با قلیابیت ۱۶ درصد، آنتراکینون ۰/۱ درصد، نسبت  $\text{Na}_2\text{SO}_3/\text{NaOH}$ : ۷۰/۳۰،

دمای پخت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد، زمان پخت ۶۰ دقیقه، و نسبت مایع پخت به کاه ۱:۴ تعیین شده است. نتایج مشابهی نیز در مورد استفاده از فرایند سولفیت قلیایی - آنتراکینون از کلش برنج و باگاس مشاهده شده است [۴].

جهان‌لتیباری (۲۰۱۲) گزارش می‌کند که در پخت سولفیت - قلیایی کارتن کنگره‌ای کهنه، بر اثر زیاد شدن مقدار قلیابیت فعال و دمای پخت، هر دو ویژگی بازده و عدد کاپای خمیر کاغذ کاهش می‌یابد. در دمای پخت ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد و زمان پخت ۱۲۰ دقیقه، بر اثر زیاد شدن قلیابیت فعال از ۱۴ به ۱۸ درصد بازده از مقدار ۶۷/۸ درصد به ۶۴ درصد (بر مبنای وزن خشک اولیه OCC) کاهش یافت. و عدد کاپا به ترتیب به ۲۷/۳، ۲۴/۳ و ۱۸/۳ در استفاده از ۱۴، ۱۶ و ۱۸ درصد قلیابیت فعال رسید [۹].

با انتخاب عوامل پخت، می‌توان به درجات متفاوت لیگنین‌زدایی از ماده لیگنوسولولزی دست یافت. با افزودن آنتراکینون در دو سطح ۰/۱ و ۰/۲ درصد به مایع پخت سولفیت قلیایی و افزایش زمان پخت، تغییرات معنی‌داری در عدد کاپا ایجاد شد. در این تحقیق، بیشترین عدد کاپا، معادل ۲۴/۲۸ مربوط به خمیر کاغذ با شرایط بدون آنتراکینون و در زمان پخت ۱۵۰ دقیقه، و کمترین عدد کاپا، معادل ۸/۷۸ مربوط به خمیر کاغذ با شرایط ۰/۲ درصد آنتراکینون و در زمان پخت ۱۵۰ دقیقه به دست آمد.

جهان‌لتیباری و حقیقت (۲۰۱۱) در پخت OCC به روش سولفیت قلیایی کمترین عدد کاپا را ۱۸/۳، مربوط به پخت با قلیابیت فعال ۱۸ درصد، نسبت  $\text{Na}_2\text{SO}_3/\text{NaOH}$ : ۳۰/۷۰، دمای پخت ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد، و زمان پخت ۱۲۰ دقیقه، و بیشترین عدد کاپا را ۵۷/۷، مربوط به پخت با قلیابیت فعال ۱۴ درصد، نسبت  $\text{Na}_2\text{SO}_3/\text{NaOH}$ : ۵۰/۵۰، دمای پخت ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد، و زمان پخت ۶۰ دقیقه گزارش کردند [۲].

می‌شود، انعطاف‌پذیری الیاف بیشتر می‌شود و پیوندهای هیدروژنی بیشتر که در ایجاد مقاومت به کشش مؤثرند تشکیل می‌شود. در این تحقیق بیشترین شاخص مقاومت به کشش با میانگین  $24/6 \text{ N.m/g}$ ، مربوط به پخت بدون مصرف آنتراکینون و در زمان پخت ۱۵۰ دقیقه بود، و کمترین شاخص مقاومت به کشش نیز در شرایط  $0/1$  درصد آنتراکینون و در زمان پخت ۱۲۰ دقیقه حاصل شد که میانگین آن  $\text{N.m/g}$   $14/5$  بود. نتایج تحقیقات مشابه (آزادفر و همکاران، ۱۳۹۰) نشان می‌دهد که بر اثر زیاد شدن مقدار قلیایی در مرحله لیگنین‌زدایی اکسیژن خمیرکاغذ سودا - آنتراکینون شاخص مقاومت به کشش و شاخص مقاومت به ترکیدن تغییر کرده و کاهش جزئی داشته است. علاوه بر این، اثر مقدار قلیایی بر این ویژگی‌ها معنی‌دار است. نتایج تحقیق نگوین و همکاران (۱۹۹۳) نیز بیان‌گر کم شدن این ویژگی‌ها بر اثر زیاد شدن قلیابیت است [۶].

### آنالیز فرایند رنگ‌بری با استفاده از دی اکسید کلر (ECF)

با استفاده از فرایند رنگ‌بری بدون عنصر کلر (ECF) خمیرکاغذ لیگنین‌زدایی شده مرحله سولفیت قلیایی - آنتراکینون با توالی  $\text{D}_0\text{EpD}_1$  رنگ‌بری شد. درجه روشنی خمیرکاغذ رنگ‌بری شده با استفاده از دی اکسید کلر بر مبنای عامل کاپای  $0/35$  تا  $82/6$  درصد افزایش یافت (جدول ۲). با استفاده از این شرایط رنگ‌بری کاهش چشمگیری در شاخص مقاومت به پاره شدن مشاهده نشد، ولی شاخص مقاومت به کشش خمیرکاغذ از مقدار  $19/58 \text{ Nm/g}$  (خمیرکاغذ قبل از رنگ‌بری) به  $17/88 \text{ Nm/g}$  (خمیرکاغذ رنگ‌بری شده  $\text{D}_0\text{EpD}_1$ ) کاهش یافت.

شاخص مقاومت به پاره شدن با طول و مقاومت ذاتی الیاف رابطه مستقیم دارد. استفاده از الیاف سالم‌تر در ساخت کاغذ به مقاومت در برابر پاره شدن زیادتری می‌انجامد. با توجه به اینکه با افزایش شدت پخت، الیاف با تخریب بیشتر کربوهیدرات‌ها مواجه می‌شوند، بنابراین، کاغذ ساخته شده با این الیاف مقاومت در برابر پاره شدن کمتری را خواهد داشت. ولی انتظار می‌رود که با افزایش مقدار آنتراکینون که در تثبیت کردن کربوهیدرات‌ها نقش به‌سزایی دارد، مقاومت به پاره شدن افزایش یابد که این نکته در تحقیق فعلی نیز صادق بود. در این تحقیق بیشترین شاخص مقاومت به پاره شدن در شرایط  $0/2$  درصد آنتراکینون و زمان پخت ۱۵۰ دقیقه به دست آمد (میانگین  $10/54 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ ) و کمترین شاخص مقاومت به پاره شدن نیز در شرایط  $0/2$  درصد آنتراکینون و در زمان پخت ۱۲۰ دقیقه حاصل شد (میانگین  $8/95 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ ).

آزادفر و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که در فرایند لیگنین‌زدایی با اکسیژن خمیرکاغذ سودا - آنتراکینون از OCC، بر اثر زیاد شدن قلیابیت، مقاومت به پاره شدن کاهش جزئی داشته که از نظر آماری معنی‌دار نبوده است [۱۰].

جهان‌لتیباری (۲۰۱۲) با اندازه‌گیری شاخص مقاومت به پاره شدن خمیرکاغذ سولفیت - قلیایی از کارتن کنگره‌ای کهنه گزارش کرده که بر اثر زیاد شدن قلیابیت فعال از ۱۴ به ۱۸ درصد (مبنای وزن خشک OCC) این شاخص از  $11/1 \text{ mN.m}^2/\text{g}$  به  $12/3 \text{ mN.m}^2/\text{g}$  افزایش یافته است [۹].

مقاومت به کشش به میزان لیگنین خارج شده از دیواره الیاف و توانایی اتصال بین الیاف بستگی دارد. زمانی که لیگنین بیشتری از دیواره الیاف خارج

## References

- [1]. FAO statistics. (2011). Food and Agriculture Organization. Rome, Italy.
- [2]. Jahan Latibari, A., and Haghghat, F. (2011). Investigation on the possibility of alkaline sulfite pulp production from old corrugated container and bleaching the pulp. *Journal of Wood and Forest Sciences and Technology*, 3:1-12.
- [3]. Hedjazi, S., Kordschia, O., Patt, R., Jahan Latibari, A. and Tschirner, U. (2008). Alkaline sulfite pulping (AS/AQ) pulping of Bagasse and totally chlorine free (TCF) bleaching of pulps. *Holzforchung*, 62:142-148.
- [4]. Hedjazi, S., Kordschia, O., Patt, R., Jahan Latibari, A., and Tschirner, U. (2008). Alkaline sulfite pulping (AS/AQ) pulping of wheat straw and totally chlorine free (TCF) bleaching of pulps. *Industrial Crops and Products*, 29: 27-39.
- [5]. Hedjazi, S., Kordschia, O., Jahan Latibari, A. and Tschirner, U. (2009). Alkaline sulfite/anthraquinone (AS/AQ) pulping of rice straw and TCF bleaching of pulps. *Appita Journal*, 62(2):137-148.
- [6]. Nguyen, X.T., Shariff, A., Earl, R.F. and Eamer, R.J. (1993). Bleached pulp for printing and writing papers from old corrugated containers. *Progress in Paper Recycling*, 2(3): 25-32.
- [7]. Bisner, H.M., Campbell, R. and Mckean, W.T. (1993). Bleached kraft pulp from OCC. *Progress in Paper Recycling*, 3(1): 10-27.
- [8]. Tappi Standard Test Methods. (2009). Tappi Press, Atlanta, GA. USA.
- [9]. Jahan Latibari, A. (2012). Extended delignification of old corrugated container and totally chlorine free bleaching of the pulp. *Bioresources*, 7(2): 1740-1747.
- [10]. Azadfar, M.A., Rabi, B., and Jahan Latibari, A. (2011). The effect of alkali dosage on oxygen delignification of old corrugated container soda oxygen pulp. *Iran Wood and Paper Research Journal*, 26(2): 232-242.