

ارزیابی ویژگی‌های کاغذسازی گونه ممرز با فرآیندهای کرافت، سودا و سودا-اوره

رسول درستان^۱، سید مجید ذبیح‌زاده^{۲*} و نورالدین نظرنژاد^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۲ دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۳ استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی مقایسه‌ای کاغذ ساخته شده از گونه ممرز با فرآیندهای سودا، سودا-اوره و کرافت و ارزیابی ویژگی‌های کاغذسازی آن‌ها انجام شد. تیمار گزینش شده در فرآیند کرافت دارای بازده ۴۴/۴۳ درصد و عدد کاپای ۲۳/۷۵، در فرآیند سودا دارای بازده ۳۸/۷۵ درصد و عدد کاپای ۱۹/۲۸ و در فرآیند سودا-اوره دارای بازده ۳۹/۸۵، ۴۰/۱، ۴۰/۵، ۳۹/۸، ۴۰/۶۱ درصد و عدد کاپای ۲۱/۲۱، ۲۲/۳۳، ۲۲/۶۶، ۲۵/۲۸ و ۲۶/۸۵ بودند. پس از پالایش و رسیدن به درجه روانی $40 \pm 25 \text{ ml CSF}$ برای هر یک از تیمارهای گزینش شده، کاغذ دست ساز با جرم پایه ۶۰ گرم بر متر مربع ساخته شد و ویژگی‌های فیزیکی، مقاومتی و نوری آنها ارزیابی شد. نتایج نشان داد که خمیر کاغذهای ساخته شده از فرآیند کرافت بازده بیشتر و پالایش پذیری بهتری در مقایسه با خمیر کاغذهای ساخته شده از فرآیندهای سودا و سودا-اوره دارند. کاغذهای ساخته شده با فرآیند کرافت نیز دارای ویژگی‌های مقاومتی بالاتری نسبت به فرآیندهای سودا و سودا-اوره هستند. با افزودن اوره، بازده و عدد کاپای خمیر کاغذها افزایش یافت. بیشترین بهبود در شاخص مقاومت در برابر کشش، طول پاره شدن و شاخص مقاومت در برابر پاره شدن با افزودن ۳ درصد اوره و بیشترین بهبود در شاخص مقاومت در برابر ترکیدن با افزودن ۴ درصد اوره به دست آمد. نتایج اندازه‌گیری درجه روشنی نشان داد که کاغذهای ساخته شده از فرآیند کرافت و سودا به ترتیب دارای کمترین و بیشترین درجه روشنی هستند. با افزودن اوره درجه روشنی کاغذها نیز کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: ممرز، کرافت، سودا، سودا-اوره، ویژگی‌های مکانیکی، درجه روشنی

مقدمه

مصرف جهانی کاغذ و مقوا به دلیل رشد جمعیت، بالا رفتن سطح آگاهی، گسترش ارتباطات و صنعتی شدن کشورهای در حال توسعه، پیوسته در حال افزایش است [۶]. مصرف سرانه کاغذ در سال ۲۰۰۴ در سطح جهان، ۵۲/۴۵ کیلوگرم بود که ۱۶/۳۲ درصد در مقایسه با سال ۱۹۹۱ رشد داشته است [۱۶]. مهم‌ترین مواد اولیه برای ساخت کاغذ، چوب و گیاهان غیرچوبی و کاغذهای بازیافتی هستند. ۹۰-۹۲ درصد مواد اولیه دست اول (بکر) که برای تولید کاغذ استفاده می‌شوند، شامل سوزنی برگان و پهن برگان هستند [۹]. متداول‌ترین روش شیمیایی تولید خمیر کاغذ، فرآیند کرافت است که علت آن کیفیت بالای خمیر کاغذ، سامانه مؤثر بازیابی مواد شیمیایی و مناسب بودن برای نزدیک به همه‌ی زیست توده‌ها می‌باشد [۴]. در بین فرآیندهای خمیر کاغذسازی، شدیدترین آلودگی هوا از کارخانه‌های خمیر کاغذ کرافت ناشی می‌شود [۱۷]. دشواری‌های ناشی از ترکیبات گوگردی در چرخه پخت کرافت منجر به انجام تحقیقات برای استفاده از روش‌های جایگزین بدون گوگرد شد [۵]. بررسی تأثیر متغیرهای دما، زمان و غلظت هیدروکسید سدیم بر ویژگی‌های خمیر کاغذ و کاغذ ساخته شده از چوب درخت زیتون نشان داد که تولید خمیر کاغذ با بازده قابل قبول، مقادیر هولوسلولز، آلفاسلولز، درجه روشنی و مقاومت‌های مکانیکی بالا و لیگنین پایین نیازمند پخت در دمای کم، غلظت بالای هیدروکسید سدیم و زمان کوتاه می‌باشد [۱۰]. ساخت کاغذ از چوب درخت زیتون با فرآیندهای سودا، سولفیت و کرافت و همچنین تأثیر پالایش خمیر کاغذ بر ویژگی‌های کاغذهای تولیدی نشان داد که کاغذ کرافت دارای بیشترین مقاومت و کاغذ سولفیت دارای بالاترین درجه روشنی می‌باشد. به علاوه، خمیر کاغذ سودا نیاز به پالایش بیشتری نسبت به خمیر کاغذهای کرافت و سولفیت دارد [۱۲]. بررسی تأثیر شرایط خمیر کاغذسازی سودا شامل دما، زمان و غلظت هیدروکسید سدیم بر ویژگی‌های کاغذ ساخته شده از چوب بلوط نشان داد که غلظت هیدروکسید سدیم ۱۷/۵

درصد، دمای ۱۹۵ درجه سلسیوس و زمان ۳۰ دقیقه شرایط بهینه پخت می‌باشد [۱]. بررسی ویژگی‌های کاغذسازی چوب بلوط با فرآیندهای کرافت، سودا و سودا-اوره مشخص کرد، که کاغذهای ساخته شده از فرآیند کرافت دارای طول پاره شدن، شاخص مقاومت در برابر ترکیدن و شاخص مقاومت کششی بیشتر و مقاومت در برابر پاره شدن و درجه روشنی کمتری نسبت به فرآیند سودا-اوره هستند. همچنین کاغذهای ساخته شده از فرآیند سودا در مقایسه با دو فرآیند دیگر مقاومت‌های مکانیکی کمتری داشتند. قابلیت پالایش خمیر کاغذهای سودا-اوره اندکی بهتر از خمیر کاغذ سودا، اما کمتر از خمیر کاغذ کرافت بود. خمیر کاغذهای سودا-اوره بازده و عدد کاپای بالاتری نسبت به فرآیند سودا داشتند [۵]. بررسی تأثیر افزودن اوره بر خمیر کاغذ کرافت چوب اکالیپتوس نشان داد که بازده خمیر کاغذ و ویژگی‌های مقاومتی کاغذ با اضافه نمودن اوره بهبود می‌یابد و انرژی مورد نیاز برای پالایش خمیر کاغذ دارای اوره کمتر است [۳]. با توجه به این‌که مقادیر اندک اوره در محیط قلبایی آبی توانایی تثبیت کربوهیدرات‌ها را در برابر واکنش تجزیه تدریجی قلبایی دارد و نیز با تشکیل سلولز کربامات می‌تواند منجر به افزایش مقاومت‌های مکانیکی کاغذ شود، فرآیند سودا-اوره می‌تواند آینده امیدوارکننده‌ای داشته باشد. هدف از این تحقیق مقایسه ویژگی‌های مکانیکی و درجه روشنی کاغذ ساخته شده از فرآیندهای کرافت، سودا و سودا-اوره گونه ممرز بود که یکی از مهم‌ترین گونه‌های بومی با قابلیت کاربرد در صنعت کاغذسازی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نمونه برداری و اندازه‌گیری ابعاد الیاف

خرده چوب‌های گونه ممرز مورد استفاده در این تحقیق از شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران تهیه شده است. برای آماده سازی نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری ابعاد الیاف از روش فرانکلین استفاده شد. اندازه‌گیری طول، قطر خارجی، ضخامت دیواره و قطر حفره سلولی ۳۰۰ رشته

تعیین ویژگی‌های کاغذ

ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و درجه روشنی کاغذها برابر استاندارد ISO به شرح زیر اندازه‌گیری شدند.

ISO-۵۳۶	جرم پایه
ISO-۵۳۴	ضخامت کاغذ
ISO-۱۹۲۴-۲	مقاومت در برابر کشش
ISO-۲۷۵۸	مقاومت در برابر ترکیدن
ISO-۲۷۵۸	مقاومت در برابر ترکیدن
ISO-۱۹۷۴	مقاومت در برابر پاره شدن
ISO-۲۴۷۰	درجه روشنی

تجزیه و تحلیل آماری نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. به منظور مشخص نمودن معنی‌داری اثر تیمارها از تجزیه واریانس یک‌طرفه در سطح اعتماد ۹۵ درصد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

ابعاد الیاف

جدول ۱ نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری ابعاد و ضرایب زیست‌سنجی (بیومتری) الیاف گونه ممرز مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. میانگین طول الیاف ممرز ۱/۵۷ میلی‌متر و میانگین قطر کلی، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی الیاف به ترتیب ۲۰/۲۱، ۹/۱۸، ۵/۵۱ میکرومتر و ضرایب کاغذسازی آن شامل ضریب درهم‌رفتگی ۷۷/۸، ضریب انعطاف‌پذیری ۴۵/۴۲ و ضریب مقاومت به پارگی ۱۲۰/۱۵ تعیین شد. ویژگی‌های کاغذ تا حد زیادی به ابعاد الیاف وابسته است. شکل، اندازه، ابعاد و ساختمان درونی الیاف نقش مهمی در شکل‌گیری کاغذ روی ماشین کاغذ و ایجاد مقاومت‌های آن دارد. با افزایش نسبت طول به قطر سلول، مقاومت‌های کاغذ زیاد می‌شود. افزایش نسبت قطر حفره سلول به قطر کلی سلول، منجر به افزایش مقاومت کاغذ در برابر گسیخته شدن، ترکیدن و تاه خوردن می‌شود [۱۴].

الیاف سالم با استفاده از میکروسکوپ دو چشمی و عدسی چشمی مدرج انجام شد.

تهیه خمیر کاغذ

خرده‌چوب‌های با ابعاد استاندارد پس از هوا خشک شدن به منظور جلوگیری از تبادل رطوبت، درون کیسه‌های نایلونی قرار داده شدند و برای انجام هر پخت از ۲۰۰ گرم از این خرده‌چوب‌ها بر مبنای جرم خشک استفاده شد. برای تهیه خمیر کاغذ با روش‌های کرافت، سودا و سودا-اوره از دیگ پخت آزمایشگاهی چرخشی با حجم دو لیتر مجهز به سامانه گرمایی الکتریکی ساخت شرکت فرآوری قومس استفاده شد. عامل‌های ثابت پخت شامل نسبت مایع پخت به جرم خشک چوب ۵ به ۱، دما 170°C ، زمان آغشته‌سازی نیم ساعت و زمان رسیدن به دمای پخت حدود ۴۵ دقیقه بود. عامل‌های متغیر پخت در فرآیند کرافت شامل سولفیدیت ۲۵، ۲۸ و ۳۰ درصد، قلیایی فعال ۲۰ و ۲۲ درصد و زمان پخت ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه، در فرآیند سودا شامل قلیایی فعال ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد و زمان پخت ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ دقیقه و در فرآیند سودا-اوره شامل قلیایی فعال ۳۰ درصد و میزان اوره ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد نسبت به جرم خشک خرده‌چوب‌ها و زمان پخت ۱۲۰ دقیقه بودند. پس از پایان پخت، رطوبت و بازده خمیر کاغذها با روش توزین و عدد کاپای خمیر کاغذها بر اساس استاندارد شماره ۸۵-om T۲۳۶ آیین‌نامه TAPPI اندازه‌گیری شدند.

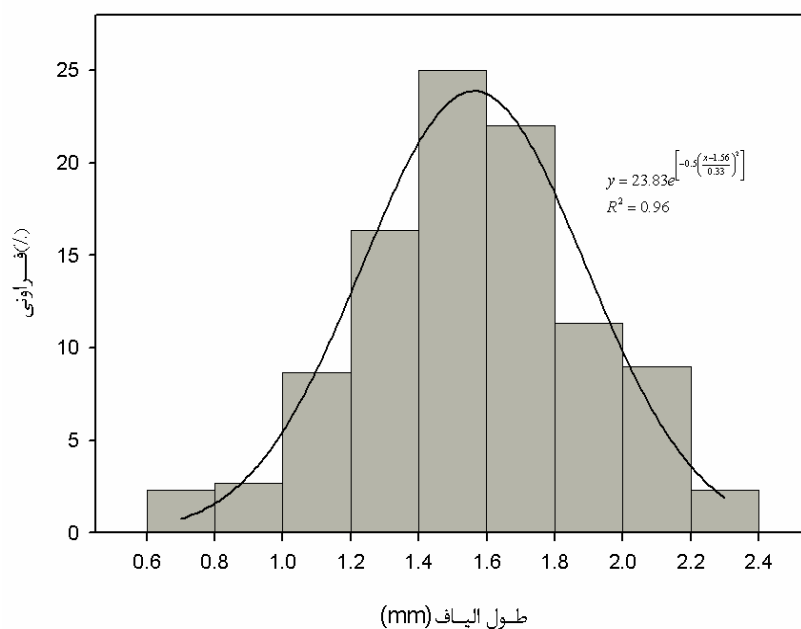
تهیه کاغذ دست‌ساز

درصد خشکی خمیر کاغذها با استفاده از استاندارد Useful Method D.6U آیین‌نامه CPPA و درجه روانی خمیر کاغذها با استفاده از استاندارد ۹۴-om T-۲۲۷ آیین‌نامه TAPPI اندازه‌گیری شدند. خمیر کاغذها برای رسیدن به درجه روانی 400 ± 25 میلی‌لیتر، برابر استاندارد شماره C.7 آیین‌نامه CPPA پالایش شدند. از تیمارهای گزینش شده کاغذهای دست‌ساز با جرم پایه اسمی ۶۰ گرم بر مترمربع ساخته شد.

شکل ۱ پراکنش طول الیاف ممرز را نشان می‌دهد. مقدار R^2 محاسبه شده نشان می‌دهد که پراکنش طول الیاف ممرز با تقریب مناسبی از توزیع نرمال پیروی می‌کند.

جدول ۱- مقادیر میانگین ابعاد و ضرایب زیست سنجی لیف های گونه ممرز

میانگین	ابعاد لیف ها و ضرایب زیست سنجی
۱/۵۷	طول لیف (میلیمتر) (L)
۲۰/۲۱	قطر لیف (میکرومتر) (D)
۹/۱۸	قطر حفره سلولی (میکرومتر) (C)
۵/۵۱	ضخامت دیواره سلولی (میکرومتر) (P)
۷۷/۸	ضریب در هم رفتگی (لاغری) (L/D)
۴۵/۴۲	ضریب انعطاف پذیری (نرمش) $(C/D) \times 100$
۱۲۰/۱۵	ضریب رانکل (ضریب مقاومت به پارگی) $(2P/C) \times 100$



شکل ۱- پراکنش طول الیاف ممرز

یکسان نسبت به فرآیند سودا، میزان انحلال لیگنین در فرآیند کرافت بیشتر می‌باشد [۸]. با افزایش سولفیدیت، لیگنین‌زدایی نیز افزایش می‌یابد اما این افزایش تا سطح مشخصی از سولفیدیت ادامه می‌یابد [۱۷]. جدول ۲ نشان می‌دهد که افزایش سولفیدیت از ۲۵ درصد به ۲۸ درصد منجر به افزایش لیگنین‌زدایی و کاهش عدد کاپا شده است، ولی پس از آن افزایش سولفیدیت به ۳۰

ویژگی‌های خمیر کاغذ

جدول‌های ۲ تا ۴ میزان بازده کل، بازده پس از الک، وزده و عدد کاپای خمیرکاغذهای ساخته شده از فرآیند کرافت، سودا و سودا-اوره گونه ممرز را نشان می‌دهند. در فرآیند کرافت علاوه بر یون هیدروکسید، یون هیدروژن سولفید نیز حضور دارد که سبب افزایش شتاب لیگنین‌زدایی می‌شود. به همین دلیل در زمان پخت

لیگنین‌زدایی دارد. با توجه مقادیر بازده، وازده و عدد کاپای خمیرکاغذهای ساخته شده از فرآیند کرافت، تیمار C به عنوان شرایط بهینه پخت کرافت ممرز گزینش شد.

درصد تأثیری بر لیگنین‌زدایی ندارد. افزایش زمان پخت نیز تا هنگامی مناسب است که منجر به واکنش‌های تراکمی لیگنین نشود [۱۷]. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که افزایش زمان از ۹۰ به ۱۲۰ دقیقه تأثیر مثبتی بر

جدول ۲- بازده و عدد کاپای خمیرکاغذهای ساخته شده از فرآیند کرافت

کد	متغیرهای پخت			ویژگی‌های خمیرکاغذ		
	سولفیدیت (درصد)	قلیایی فعال (درصد)	زمان پخت (دقیقه)	بازده کل (درصد)	وازده (درصد)	بازده پس از الک (درصد)
A	۲۵	۲۰	۹۰	۴۸/۵۷	۲/۳۱	۴۵/۳۷
B			۱۲۰	۴۷/۳۱	۲/۸۷	۴۴/۴۳
C	۲۸	۲۲	۱۲۰	۴۴/۷۳	۰/۲۵	۴۴/۴۳
D	۳۰	۲۰	۹۰	۴۷/۵	۲/۷۲	۴۴/۷۸
E			۱۲۰	۴۷/۶۸	۲/۹۹	۴۴/۶۳

را می‌توان به واکنش توقف تجزیه تدریجی قلیایی و اصلاح گروه‌های پایانی کاهنده کربوهیدرات‌ها بر اثر تشکیل استر سلولزکربامات نسبت داد [۵].

ویژگی‌های کاغذ

چگالی (دانسیته) ظاهری

شکل ۲ نشان می‌دهد که بیشترین میزان چگالی ظاهری مربوط به کاغذهای ساخته شده از فرآیند کرافت با میزان 0.643 g/cm^3 و کمترین آن متعلق به کاغذهای ساخته شده از فرآیند سودا با میزان 0.520 g/cm^3 است. پالایش‌پذیری خمیرکاغذ کرافت بهتر از خمیرکاغذ سودا می‌باشد. پالایش منجر به پدیدار شدن ریزایفچه (میکروفیبریل)ها روی سطح الیاف، افزایش سطح کل الیاف و پیوندهای بین لیفی و بهبود شکل‌پذیری ورقه کاغذ می‌شود. این پدیده‌ها منجر به افزایش جرم پایه و کاهش ضخامت کاغذ می‌شوند [۱۷]. از این رو، بیشتر بودن چگالی ظاهری کاغذهای ساخته شده از فرآیند کرافت در مقایسه با فرآیند سودا و سودا-اوره را می‌توان به پالایش‌پذیری بیشتر خمیرکاغذ کرافت نسبت داد.

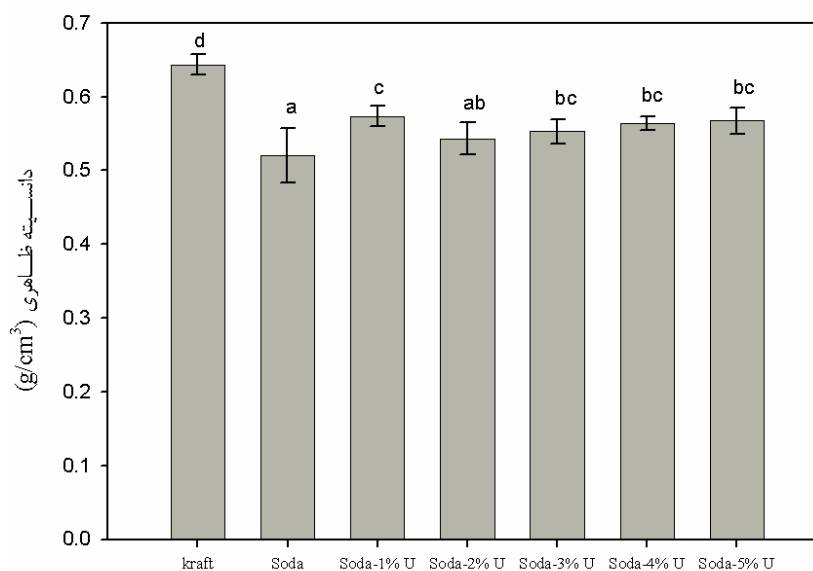
جدول ۳ نشان می‌دهد که با افزایش قلیایی فعال، عدد کاپا و بازده خمیرکاغذهای ساخته شده از فرآیند سودا کاهش می‌یابد. با افزایش میزان هیدروکسیدسدیم در مایع پخت، غلظت ماده شیمیایی در مایع پخت و به دنبال آن میزان نفوذ و جذب ماده شیمیایی در مواد لیگنوسلولزی افزایش می‌یابد [۱۳]. از این رو، لیگنین‌زدایی و تخریب سلولز پرشتاب می‌شود و عدد کاپا و بازده خمیرکاغذ کاهش می‌یابد. به علاوه با افزایش زمان پخت، زمان نفوذ مایع پخت به درون خرده چوب‌ها بیشتر می‌شود و لیگنین‌زدایی پرشتاب و در نتیجه بازده و عدد کاپا کاهش می‌یابد [۷]. با توجه مقادیر بازده، وازده و عدد کاپای خمیرکاغذهای ساخته شده از فرآیند سودا، تیمار K به عنوان شرایط بهینه پخت سودای ممرز گزینش شد. جدول ۴ نشان می‌دهد که با افزودن اوره به شرایط بهینه فرآیند سودا، عدد کاپا و بازده خمیرکاغذها افزایش یافت. Bajpai و همکاران (۲۰۰۸) با افزودن اوره به فرآیند کرافت از چوب اکالیپتوس، نتایج همانندی را گزارش نمودند. اوره با لیگنین واکنش نمی‌دهد ولی با مصرف قلیا میزان یون‌های فعال هیدروکسیل را کاهش می‌دهد و در نتیجه لیگنین‌زدایی به میزان کمی کاهش می‌یابد. بازده بالاتر خمیرکاغذهای سودا-اوره در مقایسه با فرآیند سودا

جدول ۳- بازده و عدد کاپای خمیر کاغذهای ساخته شده از فرآیند سودا

کد	قلیایی فعال (درصد)	زمان (دقیقه)	متغیر های پخت			ویژگی های خمیر کاغذ	
			میزان اوره (درصد)	بازده کل (درصد)	بازده پس از الک (درصد)	عدد کاپا	
F	۲۰	۱۲۰	-	۴۸/۴۱	۳/۵۳	۴۴/۸۶	۴۴/۴
G		۱۵۰	-	۴۸/۰۷	۳/۴۴	۴۴/۵۲	۴۳/۸۱
H	۲۵	۹۰	-	۴۵/۸۶	۱/۸۱	۴۴/۰۴	۳۹/۹۴
I		۱۲۰	-	۴۰/۹۲	۰/۷۳	۴۰/۱۸	۲۶/۰۷
J	۳۰	۹۰	-	۳۹/۸۲	۰/۲	۳۹/۶۲	۲۶/۱۳
K	۳۰	۱۲۰	-	۳۸/۸	۰/۰۳	۳۸/۷۵	۱۹/۲۸

جدول ۴- بازده و عدد کاپای خمیر کاغذهای ساخته شده از فرآینده سودا- اوره

کد	قلیایی فعال (درصد)	میزان اوره (درصد)	متغیر پخت			ویژگی های خمیر کاغذ	
			بازده کل (درصد)	بازده پس از الک (درصد)	عدد کاپا		
L	۳۰	۱	۳۹/۸۸	۰/۰۳	۳۹/۸۵	۲۱/۲۱	
M	۳۰	۲	۴۰/۱۵	۰/۰۵	۴۰/۱	۲۲/۳۳	
N	۳۰	۳	۴۰/۶۳	۰/۱۲	۴۰/۵	۲۲/۶۶	
O	۳۰	۴	۳۹/۸۴	۰/۰۴	۳۹/۸	۲۵/۲۸	
P	۳۰	۵	۴۰/۹۵	۰/۳۲	۴۰/۶۱	۲۶/۸۵	



شکل ۲- چگالی ظاهری کاغذ ساخته شده از فرآیندهای کرافت، سودا و سودا- اوره

چوب بلوط سبز دریافتند که کاغذ کرافت دارای بیشترین میزان شاخص مقاومت در برابر کشش است. López و همکاران (۲۰۰۰) در بررسی ویژگی‌های کاغذسازی چوب درخت زیتون با فرآیندهای کرافت، سودا و سولفیت دریافتند، که خمیرکاغذهای کرافت و سودا به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان مقاومت در برابر کشش بودند. Cho و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند، که افزودن اوره به مایع پخت سودا منجر بهبود شاخص مقاومت در برابر کشش کاغذ ساخته شده از چوب بلوط می‌شود.

طول پاره شدن

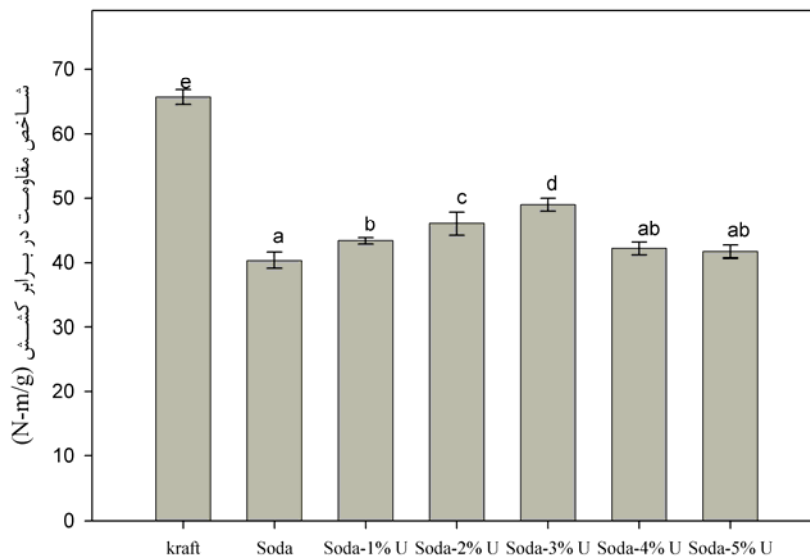
شکل ۴ نشان می‌دهد که کاغذ کرافت دارای بیشترین (۶/۶۸ Km) و کاغذ سودا دارای کمترین (۴/۰۶ Km) میزان طول پاره شدن است. طول پاره شدن کاغذ با استفاده از شاخص مقاومت در برابر کشش محاسبه می‌شود. از این رو، تابعی از مقاومت کششی می‌باشد و تغییر و نوسان آن روندی همانند با آن دارد.

طول پاره شدن با چگالی کاغذ رابطه خطی دارد [۵]. از این رو، بیشتر بودن طول پاره شدن کاغذ کرافت نسبت به دو فرآیند دیگر و نیز کاغذهای ساخته شده از فرآیند سودا- اوره در مقایسه سودا می‌توان به بالاتر بودن چگالی این کاغذها نسبت داد. میزان بهینه افزودن اوره از نظر طول پاره شدن نیز مانند شاخص مقاومت در برابر کشش، ۳ درصد می‌باشد که میزان این ویژگی را از Km ۴/۰۶ در فرآیند سودا به Km ۵/۱۵ افزایش می‌دهد.

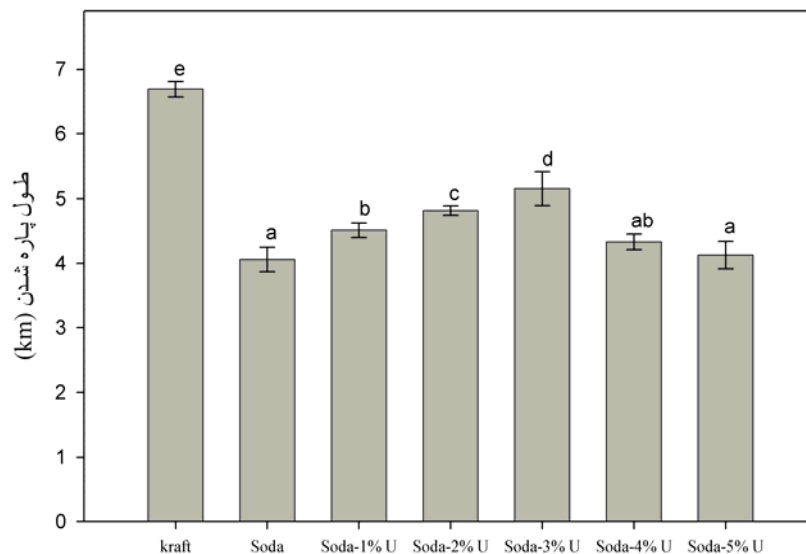
با افزایش اوره به مایع پخت فرآیند سودا، میزان چگالی ظاهری افزایش می‌یابد. افزایش اوره منجر به تثبیت کربوهیدرات‌ها می‌شود [۵] و نیز پالایش خمیرکاغذهایی که محتوی درصد بالایی از همی سلولزها هستند، آسان‌تر است [۱۷]. از این رو، علت افزایش چگالی ظاهری در حضور اوره را می‌توان به بهبود قابلیت پالایش خمیرکاغذها نسبت داد. میانگین چگالی ظاهری خمیرکاغذهای دارای ۳، ۴ و ۵٪ اوره در یک گروه قرار می‌گیرند. Cho و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی ویژگی‌های کاغذسازی چوب بلوط با فرآیندهای کرافت، سودا و سودا- اوره دریافتند که کاغذهای ساخته شده از فرآیند کرافت و سودا به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان چگالی ظاهری هستند.

شاخص مقاومت در برابر کشش

مهم‌ترین عامل مؤثر بر مقاومت در برابر کشش کاغذ، میزان و کیفیت اتصال الیاف به یکدیگر می‌باشد. افزایش اتصال الیاف به یکدیگر در اثر افزایش پالایش یا پرس مرطوب، مقاومت به کشش کاغذ را افزایش خواهد داد [۱۱]. شکل ۳ نشان می‌دهد که بیشترین میزان شاخص مقاومت در برابر کشش متعلق به کاغذهای ساخته شده از فرآیند کرافت با میزان ۶۵/۶۲ Nm/g و کمترین آن مربوط به کاغذهای ساخته شده از فرآیند سودا با میزان ۴۰/۳۵ Nm/g است. به علاوه، با افزایش میزان اوره تا ۳ درصد، شاخص مقاومت در برابر کشش روند افزایشی نشان می‌دهد. افزودن بیش از ۳ درصد اوره منجر به کاهش این ویژگی می‌شود. میزان بهینه افزودن اوره از نظر شاخص مقاومت کششی ۳ درصد می‌باشد که میزان آن را از ۴۰/۳۵ Nm/g در فرآیند سودا به ۴۸/۹۷ Nm/g افزایش می‌دهد. علت بهبود شاخص مقاومت در برابر کشش در حضور اوره را می‌توان به واکنش اوره با گروه انتهایی کربوهیدرات‌ها و تثبیت آن‌ها به تشکیل سلولز- کربامات نسبت داد. Alaejos و همکاران (۲۰۰۶) با مقایسه شاخص مقاومت در برابر کشش کاغذهای کرافت، سودا- آنتراکینون و اتیلن گلیکول ساخته شده از



شکل ۳- شاخص مقاومت در برابر کشش کاغذ ساخته شده از فرآیندهای کرافت، سودا و سودا-اوره



شکل ۴- طول پاره شدن کاغذ ساخته شده از فرآیندهای کرافت، سودا و سودا-اوره

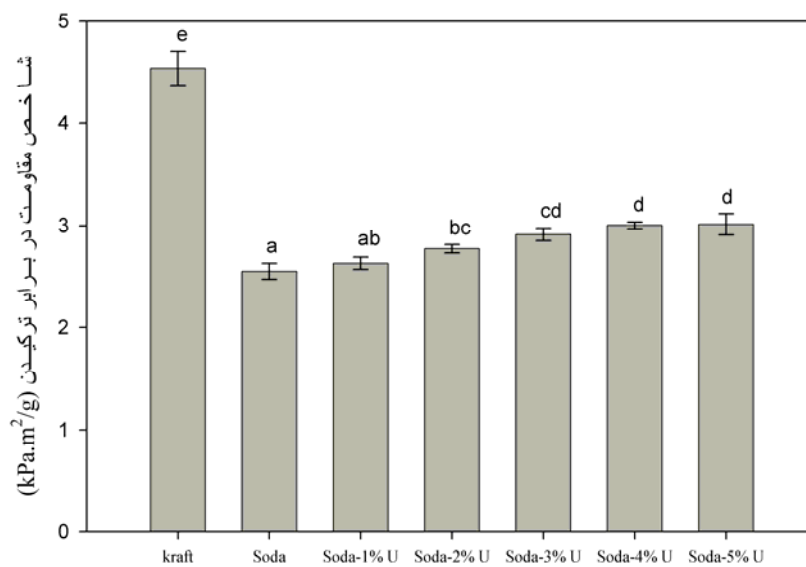
شاخص مقاومت در برابر ترکیدن

شکل ۵ میزان میانگین شاخص مقاومت در برابر ترکیدن کاغذ ساخته شده از فرآیندهای کرافت، سودا و سودا-اوره و گروه‌بندی میانگین‌ها را نشان می‌دهد. بیشترین شاخص مقاومت در برابر ترکیدن در کاغذ کرافت ($2/55 \text{ KPa.m}^2/\text{g}$)

($4/53$) و کمترین آن در کاغذ سودا ($2/55 \text{ KPa.m}^2/\text{g}$) دیده می‌شود. López و همکاران (۲۰۰۰) با مقایسه مقاومت در برابر ترکیدن کاغذ ساخته شده از چوب زیتون با فرآیندهای کرافت و سودا به نتایج همانندی دست یافتند. با افزودن اوره به مایع پخت سودا تا ۴

همکاران (۲۰۰۸) و Bajpai و همکاران (۲۰۰۸) سازگار است. میزان بهینه افزودن اوره از نظر شاخص مقاومت در برابر ترکیدن، ۴ درصد می‌باشد که میزان این ویژگی را از $2/55 \text{ KPa.m}^2/\text{g}$ در فرآیند سودا به $3 \text{ KPa.m}^2/\text{g}$ افزایش می‌دهد.

درصد، میزان شاخص مقاومت در برابر ترکیدن روندی افزایشی دارد، ولی پس از آن با تغییر میزان اوره از ۴ درصد به ۵ درصد، افزایش معنی‌داری در میزان شاخص مقاومت در برابر ترکیدن دیده نمی‌شود. افزایش شاخص مقاومت در برابر ترکیدن در حضور اوره با نتایج Cho و



شکل ۵- شاخص مقاومت در برابر ترکیدن کاغذ ساخته شده از فرآیندهای کرافت، سودا و سودا-اوره

مقاومت در برابر پاره شدن کاغذهای سودا-اوره در مقایسه با کاغذ سودا می‌تواند ناشی از واکنش توقف تجزیه تدریجی قلیایی و اصلاح گروه‌های پایانی کاهنده کربوهیدرات‌ها بر اثر تشکیل استر سلولز کربامات باشد [۵]. Cho و همکاران (۲۰۰۸) میزان شاخص مقاومت در برابر پاره شدن کاغذهای سودا-اوره دارای ۴ درصد اوره را بیشتر از کاغذ کرافت گزارش نمودند که با نتایج تحقیق بالا همخوانی ندارد.

درجه روشنی

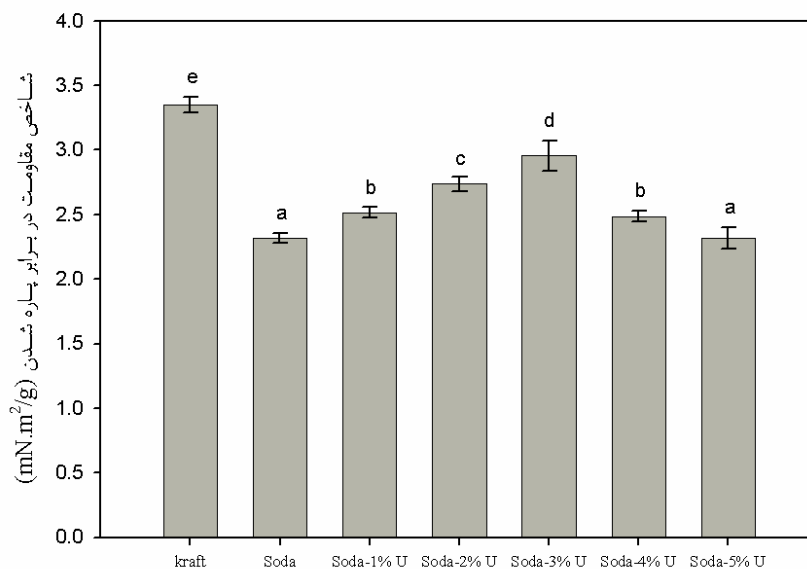
شکل ۷ میزان میانگین درجه روشنی کاغذ ساخته شده از فرآیندهای کرافت، سودا و سودا-اوره در سطوح مختلف اوره را نشان می‌دهد. بیشترین درجه روشنی مربوط به کاغذ سودا با میزان $26/73$ درصد و کمترین آن مربوط به کاغذ کرافت با میزان $19/88$ درصد می‌باشد. با افزودن

شاخص مقاومت در برابر پاره شدن

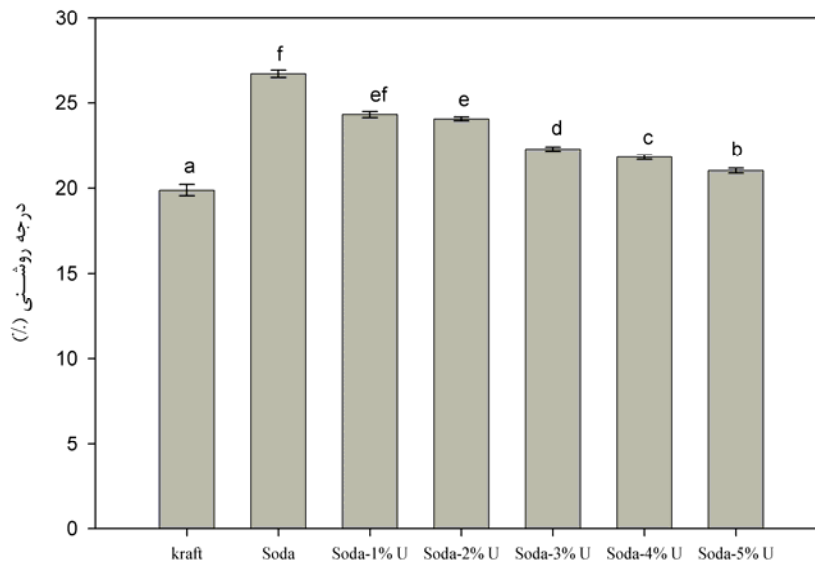
شکل ۶ نشان می‌دهد که کاغذ کرافت دارای بیشترین ($3/35 \text{ mN.m}^2/\text{g}$) و کاغذ سودا دارای کمترین ($2/31 \text{ mN.m}^2/\text{g}$) میزان شاخص مقاومت در برابر پاره شدن هستند. خمیر کاغذهای سودا در مقایسه با خمیر کاغذهای کرافت به منظور دستیابی به دامنه درجه روانی $400 \pm 25 \text{ ml CSF}$ به شمار دوره‌های پالایش بیشتری نیاز داشتند. با افزایش پالایش، مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ کاهش می‌یابد [۱۶]. از این رو، کمتر بودن میزان شاخص مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ سودا را می‌توان به پالایش بیشتر آن‌ها نسبت داد. با افزودن اوره، میزان شاخص مقاومت در برابر پاره شدن تا میزان ۳ درصد اوره روند افزایشی دارد. اوره با لیگنین واکنش نمی‌دهد، ولی نقش مهمی در واکنش با کربوهیدرات‌ها به‌ویژه سلولز دارد. بیشتر بودن شاخص

جالب این است که درجه روشنی کاغذ سودا- اوره با ۵ درصد اوره نیز بیشتر از کاغذ کرافت می‌باشد. خمیر کاغذهای سودا و سودا- اوره از نظر درجه روشنی به خمیر کاغذ کرافت برتری دارند.

اوره به مایع پخت سودا، میزان درجه روشنی کاغذ کاهش می‌یابد که علت آن را می‌توان به کاهش لیگنین‌زدایی و بیشتر بودن عدد کاپا در حضور اوره نسبت داد. نتیجه بالا با نتایج Cho و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی دارد. نکته



شکل ۶- شاخص مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ ساخته شده از فرآیندهای کرافت، سودا و سودا- اوره



شکل ۷- درجه روشنی کاغذ ساخته شده از فرآیندهای کرافت، سودا و سودا- اوره

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که گونه ممرز از نظر ویژگی‌های ریخت‌شناسی لیف‌ها برای استفاده در صنعت کاغذسازی مناسب است. بررسی ویژگی‌های کاغذسازی گونه ممرز با فرآیندهای کرافت، سودا و سودا-اوره نشان داد که چگالی ظاهری، شاخص مقاومت در برابر کشش، طول پاره شدن، شاخص مقاومت در برابر ترک‌شدن و

شاخص مقاومت در برابر پاره شدن کاغذهای ساخته شده از فرآیند کرافت به صورت معنی‌داری بیشتر از فرآیندهای سودا و سودا-اوره است. درجه روشنی کاغذ کرافت کمتر از کاغذهای ساخته شده از فرآیندهای سودا و سودا-اوره است. افزودن اوره به مایع پخت سودا به صورت معنی-داری ویژگی‌های مکانیکی کاغذ را در مقایسه با فرآیند سودا افزایش می‌دهد.

منابع

- 1-Alaejos, J., López, F., Pérez, A., Rodríguez, A. and Jiménez, L., 2008. Influence of the holm oak soda pulping conditions on the properties of the resulting paper sheets, *Bioresource Technology* 99: 6320–6324.
- 2-Alaejos, J., López, F., Eugenio, M. E. and Tapias, R., 2006. Soda anthraquinone, kraft and organosolv pulping of holm oak trimmings, *Bioresource Technology* 97: 2110–2116.
- 3-Bajpai, P., Tripathi, S., Sharma, N., Mishra, O. and Bajpai, P. K., 2008. Use of urea as an addition in kraft pulping of Eucalyptus, *TAPPI Engineering, Pulping & Environmental Conference*, August 24-27, Portland, Oregon, pp. 1-8.
- 4-Biswas, D., Misbahuddin, M., Roy, U., Francis, R.C. and Bose, S.K., 2011. Effect of additives on fiber yield improvement for kraft pulping of kadam (*Anthocephalus chinensis*), *Bioresource Technology* 102: 1284–1288.
- 5-Cho, N., Matsumoto, Y., Yeon Cho, H., Jeong Shin. S. and Ogha, S., 2008. Effect of urea addition on soda pulping of oak wood, *J. Fac. Agr., Kyushu Univ* 53 (1):1-5.
- 6-Enayati, A. A., Hamzeh, H., Mirshokraie, S. A. and Molaii, M., 2009. Papermaking potential of canola stalks, *BioResources* 4(1): 245-256.
- 7-Fakhryan, A., Hosseinkhani, H., Golbabaie, F. and Brazandeh, M., 2010. Pulp and paper making properties of *Populus costanzo*, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research* 25(2): 157-169.
- 8-Ghasemi, S. and Saraeyan, A., 2010. Comparative study of delignification efficiency and pulp yield of heart wood and sapwood of *Populus deltoids* by kraft and soda processes, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research* 25(1): 138-146.
- 9-Jiménez, L., Serrano, L., Rodríguez, A. and Sánchez, A., 2009. Soda-anthraquinone pulping of palm oil empty fruit bunches and beating of the resulting pulp, *Bioresource Technology* 100: 1262–1267.
- 10-Jiménez, L., Pérez, I. de la Torre, M. J. and García, J. C., 1999. The effect of processing variables on the soda pulping of olive tree wood, *Bioresource Technology* 69: 95-102.
- 11-Khalili, A., Ghasemian, A., Saraeian A.R., Dahmardeh galehnow, M. and Manzorolajdad, S.M., 2009. Study on the mechanical and optical properties of kraft liner paper produced from mixing of OCC and virgin hardwoods kraft pulp, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research* 24(2): 264-274.
- 12-López, F., Ariza, J., Pérez, I. and Jiménez, L., 2000. Comparative study of paper sheets from olive tree wood pulp obtained by soda, sulphite or kraft pulping, *Bioresource Technology* 71: 83-86.
- 13-Mousavi, S.M.M., Mahdavi, S., Hosseini, S.Z., Resalati, H. and Yosefi, H., 2009. Investigation on Soda-anthraquinone pulping of rapeseed straw, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research* 24(1): 69-79.

- 14-Rasoli Garmarodi, A., Resalati, H., Rafiee, F. and Mahdavi Feizabadi, S., 2006. Investigation on variations trend of fiber dimensions of diameter growth in populus euramericana (Dode) for papermaking, Journal of agricultural sciences and natural resources (1): 30-43.
- 15-Rodríguez, A., Serrano, L., Moral, A. and Jiménez, L., 2008. Pulping of rice straw with high-boiling point organosolv solvents, Biochemical Engineering Journal 42: 243-247.
- 16-Scott, W. E., 2005. Properties of paper an introduction c1995. Elyas Afra (Translator), Ayeej Publications, Tehran, 360 p.
- 17-Smook, G. A., 2003. Handbook for pulp & paper technologists, 2nd. ed. Mirshokraei, S. A. (Translator), Ayeej Publications, Tehran, 503 p.

Papermaking Properties of *Carpinus betulus* with kraft, Soda and Soda-Urea Pulping Processes

R. Dorostan¹, S. M. Zabihzadeh^{*2} and N. Nazarnezhad³

Abstract

This research was carried out in order to comparatively investigate the hornbeam kraft, soda and soda-urea papermaking properties. The selected treatment in kraft process had an average yield of 44.43% and kappa number of 23.75. In soda process the selected treatment had an average yield of 38.75% and kappa number of 19.28. In soda-urea process, the selected treatments had an average yield of 39.85, 40.1, 40.5, 39.8 and 40.61 and kappa number of 21.21, 22.33, 22.66, 25.28 and 26.85. After refining the selected pulp to reach the freeness of 400 ± 25 ml CSF, 60 g/m² handsheets were made and physical, mechanical and optical properties were measured. Results showed that kraft pulps had higher yield and better refinability than soda and soda-urea pulps. Papers made from kraft process had higher strength properties than those made of soda and soda-urea process. With addition of urea, yield and kappa number of pulps increased. The highest improvement in tensile index, breaking length and tear index was achieved with addition of 3% urea and the highest improvement in burst index was achieved with adding 4% urea. Results of brightness measurements showed that papers from kraft and soda processes had the lowest and highest brightness degree respectively. With the addition of urea, brightness of papers decreased.

Keywords: *Carpinus betulus*, Kraft, Soda, Soda- urea, Mechanical properties, Brightness

* Corresponding author: Email: m.zabihzadeh@sanru.ac.ir