

اثر زمان برداشت بر عملکرد تولید کنف و کیفیت کاغذ لاینر رویه کارتن

سعید مهدوی^{۱*} و محمدهادی رضوانی^۲

*- نویسنده مسئول، دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: smahdavi@rifr-ac.ir

۲- کارشناس ارشد، گروه علوم و تکنولوژی صنایع چوب، دانشکده مهندسی مواد و فناوری‌های نوین، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۹

چکیده

براساس پیشینه کشت کنف در ایران، این گیاه صنعتی می‌تواند نقش مهمی در تأمین کمبود الیاف بکر کاغذ و مقوا ایفا کند. دوره برداشت کنف یکی از نکات مهم از لحاظ اقتصادی-تکنیکی است، از این رو در این مطالعه، مقدار رشد کنف تیپ کوبا و نسبت وزنی پوست، مغز و پیت طی سه دوره برداشت ۵، ۶ و ۷ ماه اندازه‌گیری و عملکرد کنف براساس دوره آخر برداشت تعیین شد. برای تهیه خمیرکاغذ از الیاف پوست کنف به‌روش سودا-آنتراکینون از ۱۴٪ و ۱۶٪ سدیم هیدروکسید، ۰/۲ درصد آنتراکینون، مدت زمان ۱۲۰ دقیقه، دمای ۱۷۵ °C و نسبت مایع پخت به پوست ۷/۱ استفاده شد. برای ساخت کاغذ دست‌ساز با جرم پایه ۱۱۰ g/m² از سه نوع خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون در سه دوره برداشت کنف استفاده گردید. نتایج نشان داد پس از ۶ و ۷ ماه، به ترتیب طول ساقه کنف ۹٪ و ۵٪ و قطر آن نیز ۵٪ و ۹٪ نسبت به دوره برداشت ۵ ماه افزایش یافته است؛ اما نسبت وزنی پوست به مغز کنف با افزایش دوره برداشت کاهش یافته است. مقدار عملکرد ساقه سبز و خشک کنف به ترتیب ۳۲ و ۷/۷ تن بر هکتار محاسبه شد. محدوده بازده بعد از الک خمیرکاغذ از ۵۱/۵ تا ۵۲/۹ درصد، عدد کاپا از ۵۹ تا ۶۱ و واژه از ۱/۱ تا ۰/۹۲ درصد برای پخت‌های بهینه تعیین شد. تعداد دور کوبنده برای خمیرکاغذ تهیه شده از کنف ۷ ماهه نسبت به ۵ و ۶ ماهه بیشتر بود. مقاومت‌های کاغذهای دست‌ساز نشان داد که خمیرکاغذ تهیه شده از پوست کنف در دوره برداشت ۵ ماهه و مدت زمان پخت ۱۲۰ دقیقه، دمای پخت ۱۷۵ °C و ۱۶٪ قلیایی، شرایط بهینه برای تولید خمیرکاغذ لاینر رویه می‌باشند. مقایسه خواص کاغذ دست‌ساز تهیه شده با خواص کاغذ کرافت لاینر طبق استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۵۴ نیز مؤید برتری خواص کاغذ تهیه شده از الیاف پوست کنف است.

واژه‌های کلیدی: کنف، الیاف پوست، عملکرد، زمان برداشت، لاینر رویه، مقاومت‌های کاغذ.

مقدمه

تعطیلی برخی از کارخانه‌های کاغذسازی و کارتن‌سازی کشور به دلیل کمبود ماده اولیه سلولزی که ناشی از کاهش مجوز برداشت چوب صنعتی و نیز افزایش تعداد چرخه بازیافت کاغذهای بسته‌بندی است، موجب شده که واحدهای

تولیدکننده کاغذهای بسته‌بندی به فکر استفاده از منابع بکر^۱ جایگزین بیفتند.

به دلیل افزایش نیاز جهانی، استفاده از الیاف گیاهان غیرچوبی زراعی (مثل ساقه غلات) و صنعتی (مثل کنف و کتان)، همواره رو به افزایش است (Rowell, 1999).

خمیرسازی و تهیه الیاف را از این دو قسمت کنف به طور جداگانه پیشنهاد کرده‌اند (Nezamoleslami *et al.* 1997; Ren *et al.* 1996). خمیرکاغذ پوست با توجه به طول نسبتاً زیاد الیاف، ورقه‌های حجیم تولید می‌کند که در برابر پارگی بسیار مقاوم هستند (Villar *et al.* 2009) ولی در عوض، سطح لاینر رویه تهیه شده از خمیرکاغذ مغز کنف صافی بیشتری دارد (Schroeter, 1994).

ویژگی کاغذهای بسته‌بندی بر اساس نوع الیاف (رنگبری شده یا نشده، شیمیایی یا مکانیکی و بکر یا بازیافتی)، تیمارها و افزودنی‌ها در مرحله خمیرسازی متفاوت است. همچنین دامنه جرم پایه و ضخامت کاغذ و مقوا گسترده بوده و تیمارهای سطحی آنها با توجه به کاربرد مربوطه، متفاوت می‌باشد (Pankratov *et al.*, 2020). یکی از متداول‌ترین شکل‌های بسته‌بندی با ورق کنگره‌ای^۱، بسته‌بندی قالبی به صورت کارتن یا جعبه است. مقوای لاینر و فلوتینگ اجزای اصلی سازنده این محصول هستند. قله‌های کنگره‌ها با اعمال گرما، رطوبت و فشار توسط چسب نشاسته به یک یا دو لایه صاف بنام لاینر می‌چسبند.

Faezipour و همکاران (۲۰۰۰) الیاف پوست کنف را برای ساخت کاغذ نسبت به الیاف مغز کنف، سوزنی‌برگان و پهن‌برگان مناسب‌تر دانسته و دلایلی مانند الیاف بلندتر، سلولز بیشتر و لیگنین کمتر را مطرح می‌کنند. بررسی در مورد تولید خمیرکاغذ از پوست کنف به روش سودا-آنتراکینون نشان داد که بیشترین بازده خمیرکاغذ پوست (۵۹/۸٪) و کمترین عدد کاپا (۳۵/۱) به ترتیب با استفاده از ۱۶٪ و ۲۰٪ قلیایی و با اعمال دمای ۱۷۰°C، مدت زمان ۱۲۰ دقیقه و نسبت مایع پخت به پوست ۸/۱ حاصل شده است. خواص کاغذ دست‌ساز برای قلیایی ۲۰٪ شامل شاخص کششی N.m/g ۸۲/۳، شاخص ترکیدن ۵/۲ kPa.m²/g و شاخص پارگی ۱۳/۴ mN.m²/g گزارش شده است. در مجموع، روش سودا-آنتراکینون با استفاده از ۱۸٪ قلیایی برای تولید خمیرکاغذ شیمیایی از پوست کنف توصیه شده است.

کنف از سال‌های دور در شمال ایران کاشته می‌شد اما متأسفانه به دلایل اقتصادی و عدم کاربری مناسب، کشت آن منسوخ شده است. الیاف پوست ساقه این گیاه شبیه چوب سوزنی‌برگان بوده و دارای طول بلند می‌باشد (Mahdavi *et al.*, 2013).

Paridah و همکاران (۲۰۱۷) بررسی اقتصادی را در مورد جایگزینی کنف با تنباکو در ۳ منطقه مالزی با مقدار عملکرد ۱۰، ۱۲ و ۱۵ تن بر هکتار انجام دادند. نتایج این بررسی نشان داد که کاشت کنف با هر ۳ عملکرد مورد بررسی در صورتی که کاشت و برداشت مکانیزه باشد با توجه به شاخص نسبت سود به هزینه (BCR) سودآور است، اما بالطبع عملکرد ۱۵ تن بر هکتار با شاخص ۱/۵۸ بهترین عایدی را در بر دارد. علاوه بر این، انتخاب رقم مناسب کنف و هماهنگی سیاست‌گذار، مصرف‌کننده کنف و کشاورزان می‌تواند بهره‌وری کاشت کنف را نیز بهبود بخشد.

انتخاب زمان برداشت کنف از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا اثرهای خوبی بر بهره‌وری زیست‌توده و کیفیت زیست‌توده دارد (Monti & Alexopoulou, 2013). از آنجایی که سن بلوغ این گیاه و در نتیجه رسیدن به حداکثر طول الیاف از نظر کاغذسازی مهم است، اثر زمان برداشت این گیاه بر ویژگی‌های خمیر و کاغذ حاصل می‌تواند در کنار عملکرد آن اهمیت زیادی در ملاحظات اقتصادی- فنی سرمایه‌گذاری داشته باشد.

ساقه کنف به عنوان یک گیاه دولپه‌ای، شامل ۳۵٪ الیاف پوست است که نسبت به ۶۵٪ الیاف مغز آن از نظر خصوصیات شیمیایی و مورفولوژیکی تفاوت قابل توجهی دارد (Ashori, 2006). با افزایش طول عمر گیاه کنف، طول الیاف آن افزایش و قطر الیاف و ضخامت دیواره سلولی کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده شده که اثر سال رویش، منطقه جغرافیایی و موقعیت نمونه در طول ساقه گیاه بسیار معنی‌دار است (Faezipour, *et al.* 2000). با توجه به تفاوت کیفیت الیاف مغز و پوست کنف و پالایش‌پذیری آنها، بیشتر محققان جداسازی عملیات

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه

پس از هماهنگی با مؤسسه تحقیقات پنبه کشور به منظور تهیه نمونه از کنف تیپ کوبا طی سه مرحله زمانی ۵، ۶ و ۷ ماه پس از کشت، نمونه برداری انجام شد. ساقه‌های کنف پس از ۷ ماه از زمان کاشت، بلافاصله پس از قطع توزین شدند و براساس رطوبت آنها، مقدار عملکرد^۲ محاسبه شد. همچنین، ساقه‌های کنف طی سه دوره برداشت، پس از تعیین قطر و ارتفاع، به منظور آزمون‌های بعدی پوست‌کنی شدند و میانگین نسبت وزنی پوست، مغز و پیت اندازه‌گیری گردید.

تهیه خمیر کاغذ و پالایش آن

برای تهیه خمیر کاغذ، پوست کنف از ساقه به طور دستی جدا شده و رطوبت نمونه‌های هواخشک اندازه‌گیری شد. سپس از روش سودا-آنتراکینون با اعمال دو سطح سدیم هیدروکسید (۱۴٪ و ۱۶٪) و سه دوره برداشت کنف (۵، ۶ و ۷ ماه) استفاده شد (جدول ۱). شرایط ثابت پخت شامل دمای پخت ۱۷۵ °C، زمان پخت ۱۲۰'، نسبت مایع پخت ۷/۱ و نیز ۰/۲ درصد آنتراکینون نسبت به وزن خشک کنف بودند. به منظور انجام پخت از یک دیگ پخت آزمایشگاهی گردشی با چهار محفظه یک لیتری مجهز به ترموکویل مجزا استفاده شد. سپس الیاف پوست کنف حاصل از هر تیمار، توسط یک دفیبراتور آزمایشگاهی جدا شده و پس از توزین و اندازه‌گیری درصد رطوبت، بازده پخت پس از الک^۳ با استفاده از الیاف قابل قبول (R200) و جداسازی وازده^۴ (R18) محاسبه گردید. همچنین مقدار عدد کاپا که معرف مقدار لیگنین باقیمانده در خمیر کاغذ می‌باشد به روش استاندارد Tappi و طبق دستورالعمل شماره 99-om-236 اندازه‌گیری شد.

قابلیت آبگیری اولیه خمیرهای کاغذ تهیه شده از تیمارهای منتخب پوست کنف براساس بازده و عدد کاپا طبق استاندارد ISO 5267-1 تعیین شد. سپس خمیرهای کاغذ برای رسیدن به قابلیت آبگیری هدف یعنی حدود $SR=35^\circ$ (برابر ۳۶۰ میلی لیتر استاندارد کانادایی) با دستگاه کوبنده PFI

Azizi Mossello و همکاران (۲۰۱۰) بازده کل خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون پوست کنف مالزی را ۵۶/۲٪ و عدد کاپا را ۲۰/۲ گزارش نموده‌اند. شرایط پخت شامل قلیائیت فعال ۱۵٪ (بر مبنای Na_2O)، آنتراکینون ۰/۱ درصد، دمای ۱۶۰ °C، مدت زمان ۶۰ دقیقه و نسبت مایع پخت به پوست ۷/۱ بوده است. خواص کاغذ دست‌ساز حاصل در درجه روانی کانادایی ۳۵۰ میلی لیتر شامل دانسیته 0.59 g/cm^3 ، شاخص کششی 72.5 N.m/g ، شاخص ترکیدن $4.7 \text{ kPa.m}^2/\text{g}$ ، شاخص پارگی $23.9 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ و مقاومت فشاری - روش لهیدگی حلقوی^۱ برابر با 2.6 kN/m گزارش شده است. در مجموع، روش سودا-آنتراکینون با استفاده از ۱۸٪ قلیایی برای تولید خمیر کاغذ از کنف توصیه شده است. آنان خمیر کاغذ پوست کنف را از نظر انرژی کمتر مورد نیاز برای پالایش، مدت زمان کمتر آبگیری در ماشین کاغذ نسبت به الیاف چوب و بازیافتی و مقاومت به پاره شدن زیاد را حائز اهمیت می‌دانند.

Mahdavi و همکاران (۲۰۱۳) بازده کل و عدد کاپای خمیر کاغذ سودای پوست کنف را به ترتیب ۵۲/۴٪ و ۱۸/۶ گزارش نمودند. شرایط پخت شامل سدیم هیدروکسید ۲۰٪، دمای ۱۷۵ °C، مدت زمان ۳۰ دقیقه و نسبت مایع پخت به پوست ۷/۱ بود. با افزایش ۵۰ تا ۷۰ درصد خمیر کاغذ پوست کنف به خمیر کاغذ مغز آن، همه مقاومت‌های کاغذ افزایش یافت، اما ازدیاد مقاومت به پاره شدن نسبت به سایر مقاومت‌ها بیشتر بود. ویژگی‌های خمیر کاغذ تهیه شده از اختلاط پوست و مغز کنف نشان داد که برای تولید کاغذهای بسته‌بندی با توجه به کاربرد آنها، می‌توان از اختلاط الیاف پوست و مغز کنف نیز استفاده نمود.

هدف از این بررسی، مقایسه تولید کاغذ لاینر رویه کارتن از الیاف پوست کنف با ویژگی‌های استاندارد این محصول به منظور کاهش واردات خمیر کاغذ الیاف بلند بکر سوزنی‌برگ در ایران می‌باشد.

3- Screen yield

4- Reject

1- Ring crush test (RCT)

2- Yield

طبق استاندارد T 248 sp-00 پالایش شدند.

جدول ۱- شرایط پخت سودا- آنتراکینون برای ۶ تیمار مورد بررسی

تیمار	زمان برداشت (ماه)	سدیم هیدروکسید (%)	زمان پخت (min)	دمای پخت (°C)	آنتراکینون (%)	مایع پخت به پوست
۱	۵	۱۴	۱۲۰	۱۷۵	۰/۲	۷/۱
۲	۵	۱۶	۱۲۰	۱۷۵	۰/۲	۷/۱
۳	۶	۱۴	۱۲۰	۱۷۵	۰/۲	۷/۱
۴	۶	۱۶	۱۲۰	۱۷۵	۰/۲	۷/۱
۵	۷	۱۴	۱۲۰	۱۷۵	۰/۲	۷/۱
۶	۷	۱۶	۱۲۰	۱۷۵	۰/۲	۷/۱

ساخت کاغذ دست‌ساز

از خمیرهای کاغذ منتخب تهیه شده از پوست در سه زمان برداشت کنف، کاغذهای دست‌ساز آزمایشگاهی با جرم پایه حدود 110 g/m^2 ساخته شد. برای اندازه‌گیری خواص مختلف کاغذهای دست‌ساز، از روش‌های آزمون استاندارد مشخص شده در جدول ۲ استفاده شد.

پس از ثبت داده‌ها در نرم‌افزار SPSS، مقایسه بین میانگین‌های خواص کاغذهای دست‌ساز با استفاده از آزمون تجزیه واریانس و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. در صورت وجود اختلاف آماری بین میانگین‌ها، برای گروه‌بندی آنها از آزمون دانکن با سطح اعتماد ۹۹٪ استفاده شد.

جدول ۲- عنوان و روش آزمون‌های استاندارد مورد استفاده برای کاغذهای دست‌ساز

عنوان آزمون مورد استفاده	روش آزمون استاندارد
روش نمونه‌برداری از کاغذ و مقوا برای آزمون	ISIRI 133
تعیین میزان رطوبت موجود در یک بهر- روش خشک کردن در گرمخانه	ISIRI 559
اندازه‌گیری جرم پایه (گراماژ)	ISIRI 471
تعیین ضخامت، چگالی و حجم مخصوص	ISIRI 151
تعیین سفتی خمشی - قسمت دوم: دستگاه تابر	ISIRI 7880-2
تعیین مقاومت به ترکیدن - روش آزمون	ISIRI 1821
اندازه‌گیری ویژگی کششی قسمت دوم: ازدیاد طول با سرعت ثابت	ISIRI 8273-2
مقاومت در برابر پاره شدن - روش المندرف	ISIRI 1297
تعیین مقاومت فشاری - روش لهیدگی حلقوی (RCT)	ISIRI 18051

نتایج

رشد کنف

نتایج بررسی‌های انجام شده در مورد اندازه‌گیری ارتفاع

و قطر ساقه کنف، درصد رطوبت کنف سبز، مقدار عملکرد سبز و خشک کنف، نسبت وزنی پوست، مغز و پیت کنف در حالت هواخشک در جدول ۳ آورده شده است. با افزایش دوره

برداشت از ۵ تا ۷ ماه، میانگین ارتفاع و قطر ساقه افزایش یافته است. همچنین نسبت وزنی پوست و مغز کنف نسبت به کل ساقه آن به ترتیب کاهش و افزایش داشته است. رطوبت کنف سرپا (سبز) از پایین ساقه به سمت بالای آن افزایش یافت و بر اساس میانگین رطوبت سرپا، مقدار عملکرد خشک کنف در هر هکتار تیپ کوبا ۷/۷۷ تن محاسبه شد.

جدول ۳- نتایج اندازه‌گیری مربوط به رشد کنف طی سه مرحله زمانی برداشت کنف

دوره برداشت	ارتفاع ساقه (m)	قطر ساقه (m)	رطوبت سرپا (%)	نسبت وزنی پوست (%)	نسبت وزنی مغز (%)	نسبت وزنی پوست (%)	عملکرد (ton/hect)
۵	۲,۳۲	۲,۰۴	۷۵,۲۸	۳۳,۴۸	۶۵,۱۰	۱/۴۲	-
۶	۲,۵۳	۲,۱۴	۸۳,۲۱	۳۲,۷۰	۶۵,۷۰	۱/۵	-
۷	۲,۶۶	۲,۳۳	۷۵,۲۲	۲۸,۳۹	۷۰,۹۰	۰/۷۱	۳۳,۱ (سبز)
							۷,۷۷ (خشک)

خمیر کاغذ

اما بازده خمیر کاغذ در دوره برداشت ۷ ماهه (تیمارهای ۵ و ۶) افت کمی داشته است. به طوری که با افزایش مقدار سدیم هیدروکسید از ۱۴٪ به ۱۶٪، مقدار بازده بعد از الک افزایش و بازده خمیر کاغذ کاهش یافته است، از این رو خمیرهای کاغذ تهیه شده با ۱۶٪ قلیا (تیمارهای ۲، ۴ و ۶) برای پالایش و بعد ساخت کاغذ دست‌ساز انتخاب شدند.

نتایج مربوط به خمیر کاغذ تهیه شده به روش سودا-آنتراکینون پوست کنف در جدول ۴ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش دوره برداشت کنف از ۵ تا ۷ ماه عدد کاپای خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون کاهش جزئی یافته است. البته بین بازده خمیر کاغذ تهیه شده از پوست کنف در دوره برداشت ۵ و ۶ ماه اختلاف ناچیزی وجود دارد.

جدول ۴- نتایج خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون پوست کنف با اعمال تیمار زمان برداشت کنف

شماره تیمار	بازده بعد از الک (%)	عدد کاپا	بازده (%)
۱	۵۰,۰۶	۴۵,۹۲	۲,۵۱
۲	۵۲,۹۴	۳۴,۴۸	۱,۱۳
۳	۵۰,۱۶	۴۲,۷۳	۲,۵۴
۴	۵۲,۲۵	۳۳,۲۱	۰,۹۲
۵	۴۸,۸۰	۳۴,۶۷	۲,۱۳
۶	۵۱,۴۷	۲۵,۳۷	۱,۰۳

کوبیدن خمیر کاغذ

آبگیری حدود $SR=35^\circ$ در جدول ۵ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود قابلیت آبگیری اولیه با افزایش مدت دوره برداشت کنف به‌ویژه در دوره ۷ ماهه (تیمار ۶)

قابلیت آبگیری اولیه و نهایی (SR°) سه نوع خمیر کاغذ منتخب پس از کوبیدن آزمایشگاهی برای رسیدن به میزان

کاهش یافته اما میزان انرژی لازم برای کوبیدن خمیرکاغذ افزایش یافته است.

جدول ۵- پالایش پذیری خمیرکاغذ ساخت کاغذ دست‌ساز لاینر رویه از پوست کنف

تیمار	قابلیت آگیری	تعداد دور	قابلیت آگیری
۲	۲۲	۱۸۰۰	۳۴
۴	۲۱	۲۱۰۰	۳۶
۶	۱۵	۲۳۵۰	۳۵

ساخت کاغذ دست‌ساز
از خمیرهای کاغذ بهینه تهیه شده از پوست کنف طی سه دوره برداشت ۳ مجموعه کاغذ دست‌ساز با جرم پایه g/m^2 ۱۱۰ با کدهای L_1 ، L_2 و L_3 ساخته شد. تجزیه واریانس

دانسیتته، شاخص کشش و ترکیدن کاغذهای دست‌ساز نشان داد که بین میانگین آنها اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵٪ و ۹۹٪ وجود دارد (جدول ۶).

جدول ۶- تجزیه واریانس میانگین ویژگی‌های ۳ نوع کاغذ دست‌ساز لاینر رویه

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F مقدار	سطح معنی‌داری
دانسیتته	۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۱۴/۷۰۰	۰/۰۰۱**
شاخص کشش	۲	۹۱/۱۵۶	۴۵/۵۷۸	۴/۶۷۸	۰/۰۴۰*
شاخص ترکیدن	۲	۰/۵۸۵	۰/۲۹۳	۰/۶۳۹	۰/۰۵۰*
شاخص پارگی	۲	۰/۲۷۱	۰/۱۳۶	۰/۱۴۴	۰/۸۶۸ ^{ns}
مقاومت به لهیدگی (RCT)	۲	۲/۴۴۳	۱/۲۲۲	۳/۴۳۴	۰/۰۷۸ ^{ns}
سفتی خمشی (بندسن)	۲	۱/۲۵۵	۰/۶۲۷	۲/۹۳۹	۰/۱۰۴ ^{ns}

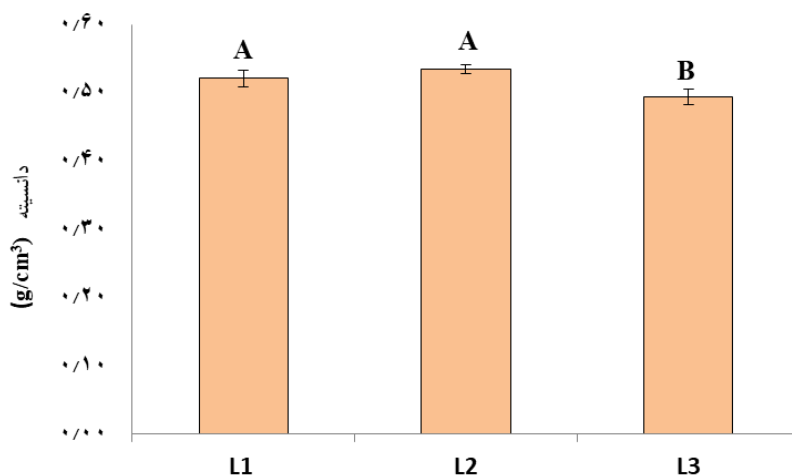
*: اختلاف معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹ درصد، *: اختلاف معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد، ^{ns}: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

دانسیتته کاغذ

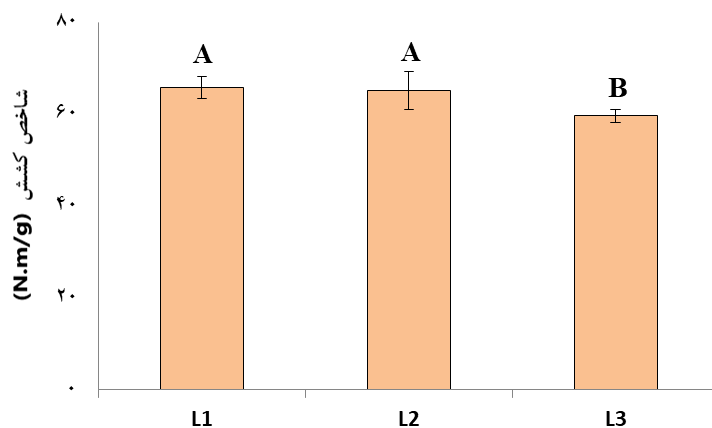
روند تغییرات دانسیتته کاغذهای دست‌ساز لاینر ساخته شده از خمیرکاغذ پوست کنف در سه دوره برداشت ۵، ۶ و ۷ ماه در شکل ۱ قابل مشاهده است. البته بین میانگین‌های دانسیتته کاغذ مربوط به دوره‌های برداشت ۵ و ۶ ماهه کنف اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و طبق گروه‌بندی دانکن در گروه مستقل A قرار گرفته‌اند، اما میانگین دانسیتته کاغذ مربوط به دوره برداشت ۷ ماهه با بقیه اختلاف داشته و در گروه مستقل B قرار می‌گیرد.

شاخص کشش کاغذ

باتوجه به تغییرات معنی‌دار میانگین شاخص کشش کاغذهای دست‌ساز ساخته شده از خمیرکاغذ پوست کنف در سه دوره برداشت، آزمون دانکن نشان داد که شاخص کشش کاغذهای دست‌ساز تهیه شده از پوست کنف برداشت شده پس از ۵ و ۶ ماه (L_1 و L_2) اختلاف معنی‌داری نداشته و در گروه آماری مستقل A قرار می‌گیرند، اما میانگین این شاخص برای دوره برداشت ۷ ماهه کنف (L_3) در گروه B قرار می‌گیرد و نسبت به دو شاخص دیگر اختلاف معنی‌داری داشته و کمتر است (شکل ۲).



شکل ۱- روند تغییرات معنی دار دانسیته کاغذ دست‌ساز با دوره برداشت کف



شکل ۲- روند تغییرات معنی دار شاخص کشش کاغذ دست‌ساز با دوره برداشت کف

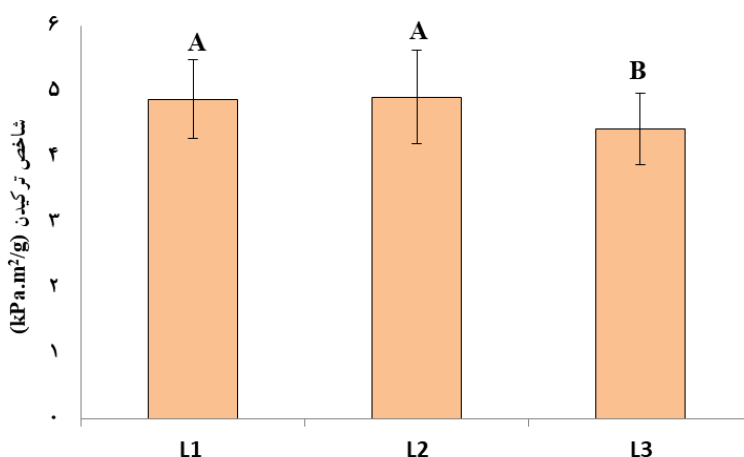
شاخص ترکیب کاغذ

روند تغییرات میانگین‌های شاخص ترکیب کاغذهای دست‌ساز ساخته شده از خمیرکاغذ پوست کف در سه دوره برداشت ۵، ۶ و ۷ ماه نیز در شکل ۳ به لحاظ آماری نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵٪ است. آزمون دانکن میانگین شاخص ترکیب تیمارهای دوره ۵ و ۶ ماهه برداشت کف (L₂ و L₁) را در گروه مستقل A و میانگین این شاخص را برای دوره ۷ ماهه برداشت کف (L₃) در گروه

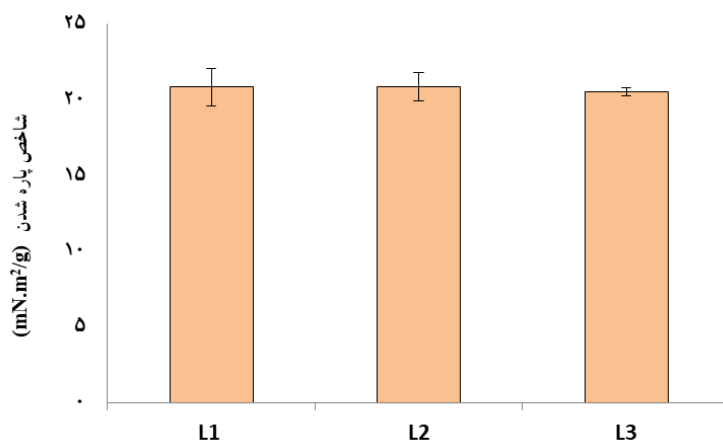
B قرار داده است.

شاخص پاره‌شدن

مقایسه آماری میانگین‌های شاخص پاره‌شدن کاغذهای دست‌ساز ساخته شده از خمیرکاغذ پوست کف در سه دوره برداشت ۵، ۶ و ۷ ماهه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است که هر سه میانگین نیز در یک گروه قرار می‌گیرند (شکل ۴).



شکل ۳- روند تغییرات معنی‌دار شاخص ترکیدن کاغذ دست‌ساز با دوره برداشت کنف



شکل ۴- روند تغییرات غیرمعنی‌دار شاخص پارگی کاغذ دست‌ساز با دوره برداشت کنف

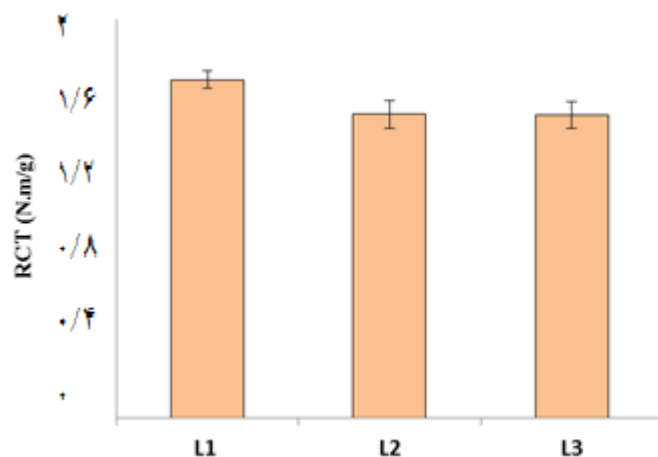
دست‌ساز ساخته شده از خمیر کاغذ پوست کنف در هر سه دوره برداشت نیز اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و هر سه میانگین در یک گروه قرار گرفته‌اند (شکل ۵). جدول ۷ مقایسه‌ای بین مقاومت‌های کاغذ لاینر ساخته شده (تیمار L₁) در این تحقیق با مقاومت‌های لاینر باگاس و استاندارد ملی ایران را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود همه مقاومت‌های کاغذ ساخته شده از پوست کنف بیشتر از مقاومت‌های استاندارد ملی کرافت لاینر (۳۰۵۴) است.

شاخص لهیدگی کاغذ در حالت حلقه (RCT)

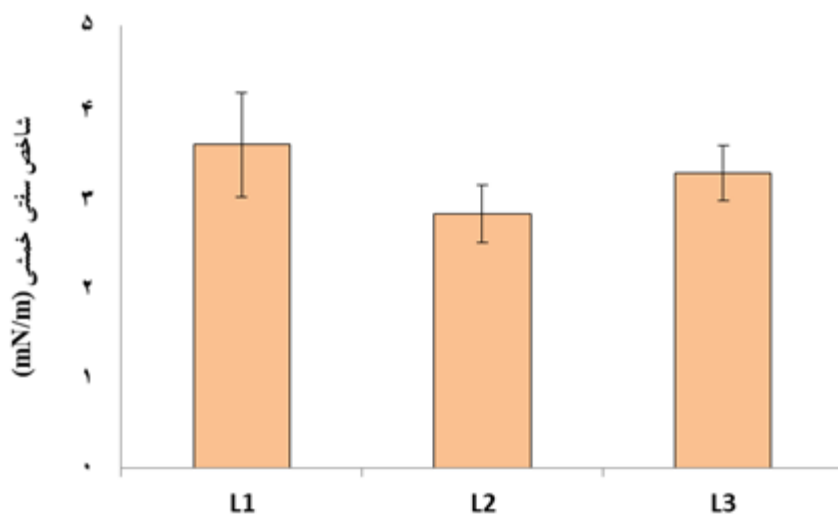
مقایسه آماری میانگین‌های لهیدگی (RCT) کاغذهای دست‌ساز ساخته شده از خمیر کاغذ پوست کنف در هر سه دوره برداشت نیز نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است، اما میانگین لهیدگی در دوره برداشت ۵ ماهه کنف بیشتر است (شکل ۴).

شاخص سفتی خمشی

بین میانگین‌های شاخص سفتی خمشی (تابر) کاغذهای



شکل ۵- روند تغییرات غیرمعنی دار شاخص RCT کاغذ دست ساز با دوره برداشت کنف



شکل ۶- روند تغییرات غیرمعنی دار شاخص سفتی خمشی کاغذ دست ساز با دوره برداشت کنف

جدول ۷- مقایسه مقاومت های ۴ نوع کاغذ دست ساز سودا و سودا-آنتراکینون با مقاومت های استاندارد ملی کرافت لاینر

مقاومت	باگاس	کلزا	کاه گندم	پوست کنف	لاینر استاندارد
شاخص کشش (Nm/g)	۴۵,۱۱ ^(۱)	۷۲,۶ ^(۳)	۶۷,۵ ^(۴)	۶۵,۸۶	۴۰
شاخص ترکیدن (kPa.m ² /g)	۱,۵۱ ^(۱)	۳,۵ ^(۳)	۵,۵ ^(۴)	۴,۸۹	۱,۹۵
شاخص پارگی (mN.m ² /g)	۳,۳۴ ^(۱)	۴,۶ ^(۳)	۶,۶ ^(۴)	۲۰,۸۵	۶,۵
مقاومت به لهیدگی (N.m/g)	۰,۶۱ ^(۲)	-	۱/۴ ^(۵)	۱,۷۰	۱/۵۸

Sadeghi, *et al.*, (2008); Djafari petroudi, *et al.*, 2013; Mousavi, *et al.*, 2009; Hoseinkhani, *et al.*, 2014; Jahan latibari, *et al.*, 2014.

بحث

در این تحقیق به بررسی قابلیت استفاده از پوست کنف طی سه دوره زمانی برداشت کنف (۵، ۶ و ۷ ماه) به منظور تولید لاینر رویه کارتن پرداخته شد. ابتدا به مقایسه نتایج ویژگی‌های رشد کنف و بعد به تغییرات نسبت وزنی پوست، مغز و پیت طی سه دوره برداشت پرداخته شد و بعد تولید خمیرکاغذ به روش سودا-آتراکینون از پوست کنف با استفاده از عوامل ثابت و متغیر پخت انجام گردید. میانگین اندازه‌گیری طول ساقه کنف نشان داد که با افزایش دوره برداشت، به ترتیب ۹٪ و ۵٪ طول ساقه افزایش پیدا می‌کند. میانگین اندازه‌گیری قطر ساقه کنف نشان داد که با افزایش مدت زمان برداشت به ترتیب ۵٪ و ۹٪ قطر ساقه افزایش پیدا می‌کند. همچنین با افزایش مدت زمان برداشت نسبت وزنی پوست و مغز به ترتیب کاهش و افزایش یافته است که با نتایج Voulgaridis و همکاران (۲۰۰۰) مطابقت دارد. بررسی Shakes و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که رقم کوبا ۲۰۳۲ بالاترین نسبت پوست به ساقه را با مقدار ۴۰/۴۱ درصد داشته است و افزایش دوره برداشت منجر به تولید الیاف بیشتر می‌شود.

مقدار عملکرد خشک ساقه کنف ۷/۷ تن بر هکتار محاسبه شد که نسبت به نتایج Alifragis و همکاران (۱۹۹۷)، Pahkala (۲۰۰۸) و Mahdavi و همکاران (۲۰۱۳) به ترتیب به مقدار ۲/۶، ۷/۳ و ۱/۷۵ تن بر هکتار کمتر است. یکی از دلایل این موضوع، تفاوت رشد کنف در رویشگاه‌های مختلف با شرایط آب و هوایی متفاوت (گرمسیری و مدیترانه‌ای) و نیز تفاوت رقم کنف در بررسی‌های مذکور است. براساس نتایج Bledsoe (۲۰۰۱) طی چهار زمان برداشت ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ روز عملکرد کنف از ۵/۷ تن در هکتار طی ۶۰ روز به ۲۱ تن در هکتار طی ۱۵۰ روز افزایش یافته است. نکته حائز اهمیت در مورد این گیاه، دستیابی به عملکرد قابل توجه طی مدت زمان کوتاه‌تر (۵ ماه) نسبت به زراعت چوب با درختان تندرشد می‌باشد.

بازده بعد از الک خمیرکاغذ با افزایش مقدار قلیایی از ۱۴٪ به ۱۶٪ افزایش یافته که می‌تواند به دلیل کاهش بازده خمیرکاغذ باشد. همچنین عدد کاپای خمیرکاغذ نیز در حدود

۱۰ واحد کاهش یافته است. بازده بعد از الک برای دوره برداشت ۷ ماهه کنف کمی کاهش یافته اما عدد کاپا به طور نسبی کاهش یافته است که نشان‌دهنده لیگنین‌زدایی بیشتر خمیرکاغذ با افزایش مدت زمان برداشت کنف می‌باشد. از آنجایی که هدف این بررسی امکان‌سنجی تولید لاینر رنگبری نشده رویه کارتن است، از این رو خمیرکاغذ با بازده بیشتر نسبت به عدد کاپای کمتر ارجحیت دارد، در نتیجه خمیرکاغذ پوست کنف تولید شده در کمترین مدت دوره برداشت (۵ ماهه) اولویت دارد. مقدار انرژی لازم برای کوبیدن خمیرکاغذ لاینر تهیه شده از دوره برداشت سوم کنف نسبت به دو دوره برداشت اول و دوم بیشتر است که می‌تواند ناشی از تغییراتی در ابعاد الیاف و نیز ترکیب شیمیایی با افزایش مدت دوره برداشت باشد. Kamal و همکاران (۲۰۱۴) تغییرات ترکیب شیمیایی کنف به‌ویژه لیگنین را در ۵ دوره مختلف برداشت (از ۷۶ تا ۲۲۶ روز پس از کشت) به‌عنوان عامل مهم در خمیرسازی و رنگبری کنف می‌دانند و دوره برداشت ۱۵۲ روز را به‌عنوان بهترین زمان برداشت کنف معرفی کرده‌اند. Pande و Roy (۱۹۹۶) معتقدند در تولید خمیرکاغذ از پوست کنف، انتخاب شرایط پخت به دلیل لیگنین کمتر نسبت به مغز آسان‌تر است، زیرا برای مقدار مشخصی لیگنین (عدد کاپای یکسان)، بازده خمیرکاغذ برای پوست حداکثر و مغز در کمترین حد است. آنان بیشترین انرژی مصرفی واکنش لیگنین‌زدایی را برای مغز کنف (g-mole/۹۱kJ) در مقایسه با پوست (۶۸ kJ/g-mole) گزارش کرده‌اند و علت این اختلاف را تفاوت در ترکیب شیمیایی این دو قسمت کنف ذکر نموده‌اند. از این رو صراحتاً پیشنهاد کرده‌اند که تولید خمیرکاغذ از پوست و مغز کنف به‌طور مجزا انجام شود و بعداً خمیرها برای ساخت کاغذهای مختلف باهم مخلوط شوند. خواص فیزیکی و مکانیکی کاغذهای دست‌ساز تهیه شده از ۳ دوره برداشت کنف نشان داد که تیمار L₁ (برداشت ۵ ماهه) نسبت به دو تیمار دیگر (مدت برداشت ۶ و ۷ ماه) مناسب‌تر است. از این رو برای ساخت کاغذ لاینر رویه کارتن، تیمار L₁ (برداشت ۵ ماهه) به دلیل عدم تفاوت معنی‌دار با تیمار L₂ (برداشت ۶ ماهه) با توجه به ویژگی‌های مورد بررسی

- 53(3), 239-250.
- Franklin, G.L., 1954. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature* (155), 51-59.
- Hoseinkhani, S., Resalati, H., Saraeian, A.R., and deghani, M.R., 2014. Effect of pre- extraction liquid reuse on and soda-AQ pulp properties made up of wheat straw, *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 11(3), 1-12.
- Jahan latibari, A., Tajedini, A., Sepidehdam. M.J., Hossein, M.A., Hosseinoor, R., Gaza, M., 2014. Investigation on the use of chemical mechanical pulping of wheat straw in making fluting paper, *Iranian Journal Natural Res.*, 66(2), 233-241.
- Kamal, I., Zharif Thirmizir, M., Beyer, G., Jani Saad, M., Abdul Rashid, N.Z., and Abdul Kadir, Y., Kenaf for biocomposite: An overview: *Journal of Science and Technology*, 6(2), 42-66.
- Mahdavi, S. and Habibi, M.R., 2013. The effect of mixing kenaf core and bast on soda pulping and paper strengths, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research* 28(4), 642-653.
- Monti, A., and Alexopoulou, E., 2013. Kenaf: A Multi-Purpose Crop for Several Industrial Applications: New insights from the Biokenaf Project (*Green Energy and Technology*), Springer, 212P.
- 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.
- Nezamoleslami, A., Suzuki, K., and Kadoya, T., 1997. Preparation and properties of retted kenaf bast fiber pulp and evaluation as substitute for Manila hemp pulp, *J. Pack. Sci. Technol.* 6, 339-347.
- Pahkala, K.S., 2008. Non-wood plants as raw material for pulp and paper, Ph.D. thesis, Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, Finland.
- Pande, H., Roy, D.N., 1996. Delignification Kinetics of Soda Pulping of Kenaf, *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 16(3), 311-325.
- Pankratov, A., Romanova, T., Litvinchev, I.S., 2020. Packing ellipses in an optimized rectangular container, *Wireless Networks*, 26(7), 4869-4879.
- Paridah, M.T., Abdelrhman A.H., and Shahwahid M., 2017. Cost benefit analysis of kenaf cultivation for producing fiber in Malaysia, *Arabian journal of business and management review*, 7(4), 1-4.
- Ren, W., Du, H., Zhang, M., and Ni, Y., 1996. Characterization of Chinese kenaf bark fibers for production of bleached chemical pulp, *IPPTA* 8(2), 1-10.
- در اولویت است. خمیر کاغذ تهیه شده از پوست کنف به دلیل داشتن الیافی با ضخامت دیواره بیشتر و قطر کمتر نسبت به مغز دارای مقاومت ذاتی بیشتری بوده که باعث افزایش قابل توجه مقاومت به پارگی کاغذ می شود (Villar, *et al.*, 2008).
- مقایسه ویژگی های کاغذ لاینر رویه کارتن تهیه شده از پوست کنف با کاغذ دست ساز ساخته شده از پوست توسط Azizi Mossello و همکاران (۲۰۱۰) مؤید کمتر بودن مقاومت های کاغذ این تحقیق به غیر از شاخص ترکیب کاغذ می باشد. از جمله علت های مربوطه، می توان به تفاوت های شرایط آب و هوایی، رقم کنف و کمتر بودن جرم پایه کاغذ های دست ساز (150 g/m^2 به 110 g/m^2) در این تحقیق اشاره کرد. مقایسه ویژگی های کاغذ های دست ساز تهیه شده از پوست با ویژگی های استاندارد کاغذ کرافت لاینر (استاندارد ملی ۳۰۵۴) نیز حکایت از بیشتر بودن این ویژگی ها برای این تحقیق دارد.

منابع مورد استفاده

- Alifragis, D., Grigoriou, A., Passialis, C., and Voulgaridis, E. 1997. Kenaf as a secondary crop in sandy soils under mediterranean climate conditions. *ICFWST' 97 Proceedings, Belgrade, Serbia/Yugoslavia*, 29 September to 3 October.
- Ashori, A., Jalaludin, H., Raverty, W.D., Mohad Yusoff M.N., M.Y., 2006. Chemical and morphological characteristics of Malaysian cultivated kenaf (*Hibiscus cannabinus*) fiber. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 45, 131-134.
- Azizi Mossello, A., Harun, J., Ibrahim, R., Resalati, H., Fallah Shamsi, S.R., Md Tahir, P., and Mohad Yusoff, M.N., 2010. Evaluation of linerboard properties from Malaysian cultivated kenaf soda-anthraquinone, *BioResources* 5(3), 1595-1604.
- Bledsoe, V.K., and Webber, C.L., 2001. Crop maturity and yield component. *New Crops & New Uses: Strength in Diversity*, conf. Nov. 10-13. Atlanta, GA. 64P.
- Djafari Petroudi, R., and Resalati, H., 2013. Production and evaluation of fluting paper from semichemical bagasse pulp, *J. of Wood & Forest Science and Technology*, 20(1), 93-105.
- Faezipour, M., Hamzeh, Y., and Mirshokraii, S.A., 2000. Evaluation of kenaf as a raw material in paper manufacturing pulp, *Iranian Journal Natural Res.*

- Shakhes, J., Dehghani Firouzabadi, M.R., Pahlavani, M.H. and Zeinali, E., 2009. Effect of genotype and harvest time on relative parameter to yield in kenaf, *EJCP*, 2(1), 91-103.
- Villar, J. C., Revilla, E., Go'mez, N., Carbajo, J.M., Simo'n, J.L., 2009. Improving the use of kenaf for kraft pulping by using mixtures of bast and core fibers. *Industrial Crops and Products*, 29, 301-307.
- Voulgaridis, E., Passialis, C., Grigoriou, A., 2000. Anatomical characteristics and properties of kenaf stems (*Hibiscus cannabinus*), *IWA Journal*, 21 (4), 435- 442.
- 7.
- Rowell, R., and Han, J., 1999. *Kenaf Properties, Processing and Products*, Mississippi State University, Ag. & Bio Engineering, Chapter 3. Press, USA. 33-41.
- Sadeghi, A., Abdulkhani, A., Hamzeh, Y., Mirshokraie, A., and Karimi, A. 2008. Study of Organic Bases Potential in Bagasse Pulping, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 22(2), 73-80.
- Schroeter, M. C., 1994. Use of kenaf for linerboard quality enhancement. In: *Proceeding. Paper presented at the Pulping Conference, San Diego.*

The effect of harvesting time on kenaf biomass and quality of carton top liner paper

S. Mahdavi^{1*} and M.H. Rezvani²

1*-Crossfading Author, Associate prof., Wood and Forest Products Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO). Tehran, Iran,
Email: smahdavi@rifr-ac.ir

2-MSc., Wood Science and Technology Department, Faculty of Materials Engineering and New Technologies, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

Received: Nov., 2020

Accepted: Jan., 2021

Abstract

Kenaf as an industrial plant can play an important role in providing shortage of virgin fiber for paper and board paper based on the history of cultivation in Iran. Harvesting time of kenaf is one of the most important economic-technical aspect. So the growth rate of kenaf (variety of Cuba) and the weight ratio of bast, core and pith individually were measured at 5, 6 and 7 months after planting and kenaf biomass was determined after 7 month. Soda-AQ pulping variables of kenaf bast fiber was selected at 14% and 16% chemical charges, 175°C, time;120 min., liquor to bast fiber of 5:1 and adding 0.2% AQ. Handsheet was made from bast pulp collected from three harvesting times with base weight of 110 g/m². The results showed that by increasing the harvesting period from 5 to 6 and 7 months, stalk height and diameter increased by 9% and 5%, respectively. The weight ratio of kenaf bast to core has decreased by increasing of harvesting time. Dry and green biomass of kenaf was determined at 33.1 and 7.7 t/ha, respectively. Pulping screen yield, kappa number, and reject were measured for combinations of optimal cooking in range of 48.8% to 52.9%, 35.4 to 72.6, and 0.92% to 2.5%, respectively. The beating energy consumption of pulp prepared from 7 month harvesting time was greater than the others. Optimal conditions were determined as harvesting time of 5 month and cooking variables of 120 min, 175 °C and 16% NaOH for carton top liner. Handmade paper properties was compared to kraft liner paper confirms the superiority of paper made from virgin kenaf bast fiber according to national standard of Iran (ISIRI 3054).

Keywords: Kenaf, bast fiber, yield, harvest time, top liner, paper strength.