مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره یازده، بهمن ماه ۱۴۰۰(۱۸۸-۱۷۷)

استفاده از ضایعات حاصل از هرس درخت کنوکارپوس (*Conocarpus erectus*) برای ساخت کاغذ

احمد عزیزی موصلو[1*]

azizi1353@gmail.com

پژمان رضایتی چرانی[2]

فرشید مهری[3]

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۲۵ **تاریخ پذیرش: ۹۸/۸/۶**

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به کمبود مواد اولیه برای صنایع لیگنوسلولزی، استفاده از ضایعات لیگنوسلولزی هرس درخت کنوکارپوس که کشت آن در کشور دلیل سرعت رشد قابل توجه و سازگاری با شرایط آب و هوایی کشور در حال گسترش می‌باشدکه می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

روش بررسی: ضایعات کنوکارپوس پس از جمع آوری در سه گروه ۱- برگ، ۲- شاخه، و ۳- شاخه-برگ تقسیم‌بندی شدند. سپس ترکیبات شیمیایی و ویژگی های مرفولوژی آنها سنجش شد. در ادامه این ضایعات از طریق روش سودا پخت شد و از خمیرکاغذ بدست آمده کاغذ دست ساز آزمایشگاهی ساخته شد و ویژگی های خمیرکاغذ و کاغذ حاصل مورد سنجش قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که قسمت‌های مختلف ضایعات کنوکارپوس دارای خواص کاملا متفاوتی می‌باشند به‌طوریکه برگ با بیشترین درصد مواد استخراجی، لیگنین و خاکستر و کمترین درصد سلولز و همی‌سلولز، خمیرکاغذی غربال شده با بازده کم و عدد کاپای زیاد تولید نمود که به‌دلیل درجه روانی بسیار کم و زمان زهکشی خیلی زیاد، امکان ساخت کاغذ دست‌ساز را نداشت. در مقابل، شاخه با بیشترین درصد سلولز و همی‌سلولز و کمترین درصد مواد استخراجی، لیگنین و خاکستر، خمیرکاغذ غربال شده با بازده متعارف، درجه روانی زیاد و عدد کاپای کم، زمان زهکشی کم تولید کرد و خمیرکاغذ حاصل از ضایعات شاخه-برگ نیز حالت بینابینی داشت.

۱- استادیار گروه مهندسی صنایع سلولزی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۲- دانشیار گروه مهندسی صنایع سلولزی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، ایران

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع منابع طبیعی-مهندسی صنایع خمیر و کاغذ، گروه مهندسی صنایع سلولزی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، ایران

بحث و نتیجه‌گیری: در مجموع در مقایسه با سایر مواد لیگنوسلولزی مانند باگاس و کاه گندم که به‌طور گسترده در صنعت خمیرکاغذ و کاغذ مورد استفاده قرار می‌گیرد، ضایعات شاخه-برگ درخت کنوکارپوس به‌دلایل ویژگی‌های کمی و کیفی به‌عنوان ماده اولیه برای استفاده در صنایع خمیرکاغذ به صورت خالص مناسب نبوده و توصیه می‌شود که اختلاط آن با خمیر بازیافتی مورد بررسی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: ضایعات لیگنوسلولزی، هرس کنوکارپوس، ترکیبات شیمیایی، خمیر و کاغذ.

J. Env. Sci. Tech., Vol 23, No. 11, February, 2022

Using *Conocarpus* erectus Tree pruning Residue for Paper product

Ahmad Azizi-Mossello [1*]
azizi1353@gmail.com
Pegman Rezayati Charani [2]
Farshid Mehri [3]

Admission Date: October 28, 2019 Date Received: March 16, 2019

Abstract

Background and Objective: Due to raw materials shortage for lignocellulosic industries, and cultivating *Conocarpus erectus* tree in the country due to its significant growth rate and adaptation to the country's climatic conditions, the use of its pruning residues can be considered as an alternative raw material.

Material and Methodology: The *Conocarpus erectus* pruning residues were divided into three groups: 1- leaf, 2- branch, and 3- branch-leaf. Then the chemical composition and morphological properties were measured. Afterward, these residues were cooked by soda method and from the obtained pulps, laboratory handmade papers were made and to end, the properties of resulting pulps and the handmade papers were evaluated.

Findings: The results showed that different parts of the *Conocarpus residues* have completely different properties, so that the leaves with the highest content of extractives, lignin and ash and lowest amount of cellulose and hemicellulose gave pulp with lowest screened yield and highest kappa number that was not suitable for paper production due to very low freeness and high drainage time. In contrast, the branch with the highest amount of cellulose and hemicellulose and lowest amount extractive materials, lignin and ash produced pulp with highest screened yield, freeness and lowest kappa number and drainage time. Also, in Compared to leaf- branch, pulp from branch produced paper with higher thickness, light scattering coefficient and tear but lower tensile and appear density.

Discussion and Conclusion: In general, leaves and branches residue of Conocarpus compared to other lignocellulosic materials such as wheat straw and bagasse, which is widely used in the pulp and paper industry, due to qualitative properties reasons are not suitable in pure form for use in pulp and paper industries but are recommended to evaluation as the mixing with the recycled pulp.

Keywords: Lignocellulosic residue, *Conocarpus* pruning, Chemical properties, Pulp and Paper.

1- Assistant professor, Department of Cellulose Engineering, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Iran. *(*Corresponding Author*)
2- Associate professor, Department of Cellulose Engineering, Natural resources faculty, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran.
3- MS. Master graduate student, Department of Cellulose Engineering, Natural resources faculty, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran.

مقدمه

با افزایش جمعیت، صنعتی شدن و بهبود رفاه جامعه تقاضا برای مصرف محصولات لیگنوسلولزی از جمله خمیرکاغذ و فرآورده-های آن بیشتر می‌شود. منابع جنگلی به‌عنوان تامین کننده اصلی مواد اولیه لیگنوسلولزی چوب، خمیرکاغذ و کاغذ به‌دلایل متعددی از جمله مدت زمان بهره‌برداری گونه‌های جنگلی، روند روبه گسترش تخریب جنگل‌ها و آثار زیست محیطی آن قادر به تامین ماده اولیه برای این صنایع نیست(۱) و علاوه بر این‌که دولت از سال ۱۳۹۶ برای حفظ و صیانت از منابع جنگلی با ابلاغ سیاست تنفس جنگل، بهره‌برداری از جنگل‌های شمال کشور را ممنوع کرده است. این مسائل مدیران صنایع خمیرکاغذ و کاغذ را در خصوص تامین چوب به‌عنوان ماده اولیه اصلی برای واحدهای خود با نگرانی‌هایی روبرو نموده است که باعث تلاش و تکاپوی مضاعف آنها برای تامین مواد اولیه مورد نیاز خود کرده است. به‌نظر می‌رسد که اولین قدم در راستای تامین ماده اولیه مورد نیاز گزینه واردات باشد که در نگاه اول دارای مزایای آشکار و پنهان عدیده قابل دستیابی بوده ولیکن به‌دلیل مشکلات ناشی از تحریم‌ها، افزایش قیمت و بی‌ثباتی در بازار ارز، عدم اعمال سیاست‌های حمایتی موثر دولتی، وضع قوانین دست و پاگیر گمرکی، فقدان تمهیدات مورد نیاز در مبادی ورودی و غیره تاکنون توفیقات زیادی در این زمینه حاصل نشده است با این توصیف برای صنایع چوب و کاغذ کشور راهی جز اتکا به منابع داخلی غیر جنگلی از جمله ضایعات کشاورزی و باغی، زراعت چوب و بازیافت باقی نمی‌ماند(۲). ایران از نخستین کشورهایی در جهان است که در آن کشاورزی و زراعت آغاز شده است. تقریباً یک سوم زمین‌های ایران قابلیت کشاورزی دارند اما فقط ۱۲درصد از وسعت ایران تحت عملیات کشاورزی است که حجم قابل توجهی ضایعات زراعی (۲۵ میلیون تن) را تولید می‌کند(۳) که علاوه بر آن بایستی ضایعات و سرشاخه‌های حاصل از هرس درختان نخل، مثمر و غیر مثمر کشور مورد توجه قرار گیرد. با توجه به موارد فوق می‌توان گفت که ضایعات حاصل از منابع کشاورزی و باغی حجم قابل توجهی را به خود اختصاص می-دهند که می‌تواند پتانسیل خوبی برای تامین ماده اولیه برای صنایع مختلف از جمله صنایع چوب و کاغذ باشد. یکی از درختان تزیینی که اخیرا در برخی از استان‌های کشور به‌ویژه خوزستان مورد توجه قرار گرفته است درخت کنوکارپوس (*Conocarpus erectus*) است(۴). این درخت، گونه‌ای از خانواده بادام هندی و درختی همیشه سبز است که به‌دلیل مقاوم به شوری، گرما، کم آبی و همچنین داشتن سایه خوب و سرعت رشد مناسب برنامه کاشت آن در کشورهای حوزه خلیج فارس، عراق و ایران که مناطق گرم و خشک و معمولاً با خاک شور دارند دنبال می‌شود(۵). این گونه در ایران در استان‌های خوزستان، فارس، بوشهر و هرمزگان با توجه به سیاست‌های کاری شهرداری‌ها در زمینه توسعه فضای سبز و همچنین لزوم افزایش سرانه فضای سبز کاشته می‌شود. به‌عنوان مثال کاشت این گونه در اهواز و مناطق گرمسیری موجب یک انقلاب در ایجاد و گسترش سرانه فضای سبز در یک بازه زمانی کوتاه شد و در حال حاضر حدود ۵۶ درصد از فضای سبز شهر اهواز به کنوکارپوس اختصاص دارد(۶). این درخت به علت شاخ و برگ-هایی که از همان پایین درخت رشد می‌کند و سریع الرشد بودن می‌تواند باعث بسته شدن دید و مانع جریان باد شود که از منظر طراحی شهری یک ایراد بزرگ محسوب می‌شود. برای رهایی از این مشکل هرس این درخت در مناطق شهری بسیار لازم و ضروری است که با توجه به مقدار کشت این درخت در مناطق شهری حجم زیادی ضایعات لیگنوسلولزی تولید می‌کند (شکل ۱) که متاسفانه تاکنون نه تنها مورد استفاده قرار نگرفته است بلکه شهرداری‌ها با صرف هزینه بسیار زیاد مجبور به جمع‌آوری، انتقال آنها به خارج از مجموعه شهری و امحای آن دارند که می‌تواند مشکلات زیست محیطی را ایجاد کند. درحالی که این ضایعات با توجه به ویژگی‌های لیگنوسلولزی می‌تواند به‌عنوان یک منبع به منظور استفاده در صنایع مختلف از جمله صنایع چوب و کاغذ مورد توجه قرار گیرد که متاسفانه تحقیقات خیلی کمی در این خصوص گزارش شده است(۴، ۵، ۷).

شکل ۱- هرس درختان کنوکارپوس در شهربهبهان

Figure 1. Pruning of the *Conocarpus* trees in Behbahan city

کاور و همکاران(۲۰۱۸) ترکیبات ضایعات حاصل از هرس کنوکارپوس را مورد بررسی و گزارش داده‌اند که این گیاه دارای حدود ۲۹ درصد سلولز، ۲۱ درصد لیگنین و ۱۹ درصد همی-سلولز است ولی هیچ اشاره‌ای به امکان کاربرد آن برای صنایع چوب و کاغذ نشده است(۷). در تحقیقی دیگر فقط بر اساس نتایج آنالیز شیمیایی ضایعات کنوکارپوس (۴۳ درصد سلولز، ۲۳ درصد همی‌سلولز و ۳۵ درصد لیگنین)، قابلیت استفاده از آن را برای کاغذسازی پیشنهاد نموده است(۸). با وجود این، متاسفانه در کشور ایران هیچ‌گونه بررسی و مطالعه علمی در این خصوص هنوز گزارش نشده است. بنابراین ارزیابی ترکیبات شیمیایی این ضایعات لیگنوسلوزی و قابلیت تولید خمیرکاغذ برای ساخت کاغذ می‌تواند نقش مفیدی برای بهره‌برداری از این ضایعات لیگنوسلولزی ایفا نماید که علاوه بر تامین قسمتی از نیاز صنایع خمیرکاغذ و کاغذ به مواد اولیه باعث جلوگیری از مشکلات حاصل از عدم استفاده از ضایعات این درخت می‌شود. این پژوهش با هدف تعیین امکان استفاده از ضایعات لیگنوسلولزی حاصل از هرس درخت کنوکارپوس به‌عنوان یک ماده اولیه دوست‌دار محیط زیست برای استفاده در صنعت خمیرکاغذ انجام گرفته است.

روش بررسی

مواد

ضایعات حاصل از هرس شاخه و برگ درختان کنوکارپوس از شهر بهبهان جمع‌آوری(شکل ۱) و به آزمایشگاه خمیرکاغذ و کاغذ دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان منتقل شد. سپس آنها در سه گروه ۱- برگ، ۲- شاخه، و ۳- شاخه-برگ تقسیم-بندی شدند و با استفاده از قیچی باغبانی به قطعات ۲ سانتی-متری بریده و به‌مدت ۲ هفته در فضای آزمایشگاه هوا خشک شدند. در ادامه، نمونه‌ها جمع‌آوری و در پلاستیک‌های سربسته برای مراحل بعدی نگه‌داری شد. ترکیب ضایعات شاخه-برگ شامل ۵۴ درصد شاخه و ۴۶ درصد برگ بر اساس وزن خشک بود.

روش‌ها

ارزیابی شیمیایی

از نمونه‌های برگ، شاخه و شاخه-برگ به‌صورت جداگانه با استفاده از آسیاب، پودر با اندازه قابل عبور از مش ۴۰ و باقی-مانده روی مش ۶۰ با روش استاندارد TAPPI با شماره T257cm-85 تهیه شد. درصد مواد استخراجی با استفاده از سوکسوله و حلال استن بر اساس استاندارد شماره T 204cm-97 برمبنای وزن خشک پودر لیگنوسلولزی انجام شد. سپس پودر عاری از مواد استخراجی، طبق روش‌های استاندارد برای تعیین همی‌سلولز از تفریق سلولز از هولوسلولز استفاده شد. هولوسلولز به روش کلریت سدیم وایز (۹) و سپس سلولز با روش اسید نیتریک کورشنر- هافنر(۱۰) تعیین شد. لیگنین و خاکستر ضایعات لیگنوسلولزی هم به ترتیب بر اساس روش‌های استاندارد TAPPI شماره T 222 om-02 و T 211 om-93 تعیین شد.

اندازه‌گیری ابعاد الیاف

برای جداسازی الیاف شاخه و برگ کنوکارپوس از روش فرانکلین(۱۱) استفاده شد. اندازه‌گیری طول و قطر الیاف، قطر حفره و ضخامت دیواره سلولی ۱۰۰ عدد الیاف، از هر اسلاید ۱۰ عدد الیاف(۱۲)، با استفاده از میکرسکوپ دو چشمی

الیمپوس مدلBX51 و نرم افزار آنالیز تصویر *کوانتمتر*[1] صرفا در مورد شاخه امکان پذیر شد و در مورد برگ ساختار فیبری مشخصی مشاهده نشد تا مورد ارزیابی قرار گیرد.

تهیه خمیرکاغذ سودا

پخت برگ، شاخه و شاخه-برگ با استفاده از دیگ پخت آزمایشگاهی ۳ لیتری ساخت شرکت صدرا صنعت غزل مطابق شرایط جدول ۱ به روش سودا انجام شد. سپس، الیاف پخته شده با استفاده از پالایشگر دیسک صفحه‌ای ساخت شرکت فرآوری قومیس با فاصله ۳ میلی‌متری بین دیسک‌ها (۱۳) جدا-سازی و شسته شدند و وازده‌ها[2] با استفاده از غربال با مش۲۰ جداسازی شدند. نهایتا مواد حاصل پس از آبگیری، در محیط آزمایشگاه ۴۸ ساعت هوا خشک شدند و سپس جمع‌آوری و به داخل کیسه‌های سربسته منتقل و با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. در ادامه، درصد خشکی با خشک کردن نمونه‌ها در دمای ۳ ± ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت و بازده به روش‌وزن‌سنجی تعیین شد. بر اساس روش‌های استاندارد TAPPI، عددکاپای خمیرکاغذ با شماره T 236 om-99 و درجه روانی با شماره T 227 om-99 اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- شرایط پخت خمیرکاغذ سودا برای ضایعات حاصل از هرس کنوکارپوس

Table 1. Soda cooking condition of residues from *Conocarpus* pruning

شرایط پخت	مقدار	واحد
قلیایت فعال (براساس وزن خشک الیاف)	۱۷	%
دمای پخت	۱۶۰	°C
زمان رسیدن به دمای پخت	۴۵	min
زمان پخت	۶۰	min
وزن خشک ماده اولیه	۲۰۰	gr
نسبت مایع پخت به ماده اولیه	۱:۸	-

ساخت کاغذ دست ساز

کاغذهای دست‌ساز با سطح ۲۰۰ سانتی‌مربع با گراماژ ۱۲۰ گرم بر مترمربع طبق روش استاندارد TAPPI با شماره T 205 sp-02 با استفاده از یک دستگاه کاغذساز دستی ساخته شدند و خصوصیات کاغذهای دست‌ساز حاصل بر پایه روش‌های این استانداردTAPPI، ضخامت با شماره T411 om-05، شاخص مقاومت به پارگی با شماره T 414 om-04، شاخص مقاومت کششی با شماره T494 om-01، ضریب پراکنش نور با شماره‌T425 om-01 و ماتی با شماره‌T425 om-01 اندازه گیری شد.

ارزیابی نتایج

کلیه محاسبات آماری بر اساس طرح کاملا تصادفی با نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ از طریق مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن با سطح اعتماد ۹۵ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها

جدول ۲ ترکیبات شیمیایی برگ، شاخه و شاخه-برگ حاصل از هرس کنوکارپوس را نشان می‌دهد و نتایج ریخت شناسی حاصل از بررسی ابعاد الیاف شاخه کنوکارپوس نیز در جدول ۳ و شکل۲ نشان داده شده است.

1- Quantimeter Image Analyzer
2- Rejects

جدول۲ - ترکیبات شیمیایی ضایعات لیگنوسلولزی حاصل از هرس کنوکارپوس*

Table 2. Chemical compositions of lignocellulose residues derived from *Conocarpus* pruning*

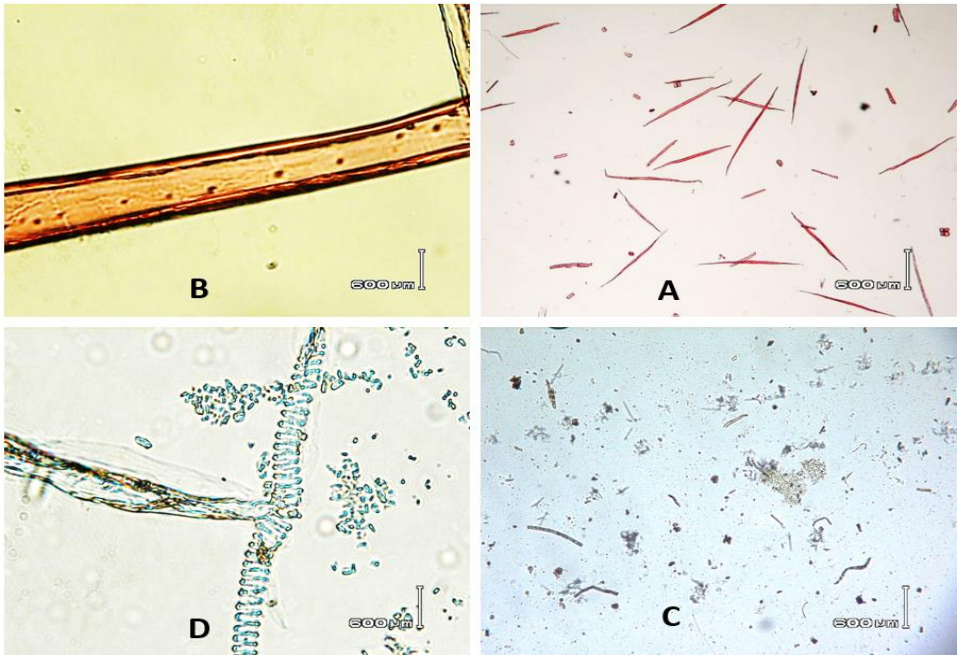
ماده اولیه	ترکیب شیمیایی(٪)				
	مواد استخراجی	لیگنین	سلولز	همی سلولز	خاکستر
برگ	۵/۹۵ c	۲۶/۸۰ c	۹/۸۰ a	۳۲/۷۷ a	۱۴/۳۶ c
شاخه	۳/۳ a	۱۶/۹۰ a	۲۵/۸۳ c	۴۳/۱۲ b	۵/۷۰ a
شاخه-برگ	۵/۰۱ b	۲۳/۱۰ b	۱۹/۶۰ b	۳۴/۹۵ a	۹/۲۸ b

*میانگین‌های هر ستون با حروف متفاوت در سطح $\alpha = 0.05$ معنی‌دار می‌باشند. حروف مذکور گروه‌بندی دانکن نتایج را نشان می‌دهد.

جدول۳- ریخت شناسی الیاف شاخه حاصل از هرس کنوکارپوس

Table 3. Morphology of branch's fibers from *Conocarpus* pruning

الیاف	میانگین	انحراف از میانگین	دامنه
طول الیاف(µm)	۲۰۸/۱۲	۱۱۹/۰۸	۳۸/۸۷-۳۰/۶۶
قطر الیاف(µm)	۱۴/۳۲	۲/۶۸	۷/۶۴-۱۶/۹۲
قطر حفره الیاف(µm)	۸/۳۱	۲/۵۴	۲/۷۷-۱۲/۷۰
ضخامت دیواره (µm)	۴/۱۶	۲/۲۷	۱/۳۹-۸/۴۶



شکل ۲.تصاویر میکروسکوپی الیاف شاخه و برگ کنوکارپوس با بزرگنمایی متفاوت(A و C: با بزرگنمایی ۴Xو B و D: با بزرگنمایی ۱۰۰X)

Figure 2. Microscopic image of the *Conocarpus* branch fiber with different zoom (A, C: Zooming X 4 and B, D: Zooming X 100)

نتایج تهیه خمیرکاغذ از برگ، شاخه و شاخ - برگ حاصل از هرس درخت کنوکارپوس در جدول ۴ ارائه شده است که بر اساس ارزیابی آماری از طریق گروه‌بندی دانکن در سطح ۰/۰۵، دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

جدول ۴. ویژگی‌های خمیرکاغذ سودا حاصل از بخش‌های مختلف هرس کنوکارپوس *

Table 4. Characteristics of soda pulp from different parts of *Conocarpus* pruning*

ماده اولیه	بازده کلی (درصد)	وازده (درصد)	بازده خمیرکاغذ غربال شده (درصد)	عدد کاپا	درجه روانی (ml)	زمان زهکشی (ثانیه)
برگ	۳۰/۵۳ a	۱/۰۰ a	۲۹/۵۳ a	۵۹/۲۳ b	۱۴۰ a	۲۱۵/۷۸ c
شاخه	۴۸/۲۷ c	۳/۰۸ b	۴۵/۱۹ c	۳۸/۸۲ a	۷۳۰ c	۴/۱۲ a
شاخه و برگ	۳۹/۳۶ b	۵/۲۶ c	۳۴/۱۰ b	۵۸/۴۶ b	۳۵۵ b	۲۳/۰۹ b

*میانگین‌های یک ستون با حروف متفاوت در $\alpha = 0.05$ معنی‌دار می‌باشند. حروف مذکور گروه‌بندی دانکن نتایج را نشان می‌دهد.

ویژگی کاغذهای ساخته شده از شاخه و شاخه-برگ حاصل از هرس درخت کنوکارپوس در جدول ۵ نشان داده شده است. بر پایه این نتایج، کاغذهای ساخته شده از ضایعات شاخه-برگ دارای ضخامت کمتر، دانسیته بیشتر و ضریب پخش نور کمتری از کاغذهای ساخته شده از الیاف شاخه به تنهایی است.

جدول ۵- ویژگی‌های کاغذ ساخته شده از خمیرکاغذ سودا حاصل از بخش‌های مختلف هرس کنوکارپوس*

Table 5. Characteristics of paper made from soda pulp obtained from different parts of *Conocarpus* pruning*

ویژگی-نوع ضایعات	شاخه	شاخه-برگ
وزن پایه، g/m^2	۱۲۴/۶۵ b	۱۲۳/۹۰ a
ضخامت، µm	۳۴۱ b	۳۱۰ a
دانسیته، g/cm^3	۰/۳۷ a	۰/۴۰ b
مقاومت به پارگی، $mN.m^2/g$	۵/۰۴ b	۳/۷۶ a
مقاومت به کشش، Nm/g	۱۲/۵۸ a	۱۵/۵۱ b
ماتی، %	۹۹/۹۵ a	۹۹/۳۰ a
ضریب پخش نور، m^2/kg	۴/۴۳ b	۳/۰۶ a

*میانگین‌های یک ستون با حروف متفاوت در $\alpha = 0.05$ معنی‌دار می‌باشند. حروف مذکور گروه‌بندی دانکن نتایج را نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

بحث

ترکیبات شیمیایی

بر پایه نتایج جدول ۲ قسمت‌های مختلف ضایعات کنوکارپوس یعنی برگ، شاخه و شاخه - برگ از نظر ترکیبات شیمیایی دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند، به‌طوری که برگ دارای بیشترین درصد مواد استخراجی(۵/۹۵)، لیگنین(۲۶/۸۰) و خاکستر(۱۴/۳۶) و کمترین درصد سلولز(۹/۸۰) و همی-سلولز(۳۲/۷۷)، در مقابل، شاخه دارای بیشترین درصد سلولز(۲۵/۸۳) و همی‌سلولز(۴۳/۱۲) و کمترین درصد مواد استخراجی(۳/۳)، لیگنین(۱۶/۹) و خاکستر(۵/۷۰) می‌باشند و

الیاف حاصل از شاخه - برگ حالت بینابینی داشت. آل-مفریج[1] و همکاران (۲۰۱۳) ترکیبات شیمیایی ضایعات درخت کنوکارپوس را شامل ۴۳ درصد سلولز، ۲۳ درصد همی‌سلولز و ۳۵ درصد لیگنین گزارش داده‌اند(۸) که با نتایج این تحقیق اختلاف دارد. این اختلاف احتمالا مربوط به تفاوت سهم قسمت‌های مختلف ضایعات کنوکارپوس است. همچنین مشاهده می‌شود که مواد استخراجی قسمت‌های مختلف ضایعات کنوکارپوس در محدوده مواد استخراجی موجود در باگاس ۳/۲۵ درصد(۱۴) وکاه گندم ۶/۱ درصد(۱۵) است. عموما وجود مواد استخراجی موجب مصرف بخشی از مواد شیمیایی لازم برای واکنش با آنها به‌جای واکنش با لیگنین می‌شود که سبب افزایش مقدار مصرف مواد شیمیایی در فرآیند پخت می‌گردد و از طرفی به دلیل خروج این مواد، بازده تولید کاهش و هزینه تولید خمیرکاغذ افزایش می‌یابد.

سلولز مهم‌ترین جزء تشکیل دهنده دیواره الیاف یا اسکلت آنها محسوب می‌شود که بیشتر بودن سلولز باعث تولید خمیرکاغذ با بازده بیشتر و خواص مقاومتی بهتر می‌شود(۱۶). نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که برگ، شاخه - برگ و شاخه کنوکارپوس به ترتیب دارای ۹/۸۰، ۱۹/۶۰ و ۲۵/۸۳ درصد سلولز می‌باشند که در مقایسه با باگاس ۵۵/۴۲ درصد(۱۷) وکاه گندم۳۴/۲ درصد (۷)دارای کمترین مقدار سلولز است در نتیجه می‌توان انتظار داشت که خمیرکاغذی با بازده کمتر و خواص مقاومتی ضعیف-تری تولید کند.

لیگنین پس از سلولز یکی از ترکیبات اصلی مواد لیگنوسلولزی است که همانند چسبی الیاف را در کنار هم نگه می‌دارد. هرچقدر که مقدار آن کمتر باشد امکان پخت آن ساده‌تر همراه با بازده بیشتر و مسائل زیست محیطی کمتر خواهد بود(۱۶). جدول ۱ نشان می‌دهد که برگ، شاخه و شاخه - برگ کنوکارپوس به ترتیب دارای ۲۶/۸۰، ۱۶/۹۰ و ۲۳/۱۰ درصد لیگنین می‌باشند. درصد لیگنین گزارش شده برای باگاس ۲۱/۶۹ (۱۷) وکاه گندم ۱۴/۹ می‌باشد(۷) که نشان دهنده کمترین مقدار لیگنین شاخه کنوکارپوس در مقایسه با برگ و مخلوط شاخه و برگ است و لیگنین برگ هم تقریبا معادل مخلوط شاخه و برگ بوده که بیش از باگاس و کاه گندم است.

همی‌سلولز به‌عنوان یکی دیگر از ترکیبات اصلی مواد لیگنوسلولزی، به‌دلیل طبیعت آب‌دوستی خود، از طریق تسهیل عمل پالایش خمیرکاغذ تواند باعث بهبود برخی از ویژگیهای کاغذ می‌شود(۱۸). بر اساس نتایج جدول ۱، شاخه دارای بیشترین درصد همی‌سلولز(۴۳/۱۲) است که در گروه‌بندی دانکن با برگ دارای اختلاف معنی‌دار بود. اما اختلاف بین برگ با شاخه - برگ معنی‌دار نبود. با مقایسه درصد همی‌سلولز شاخه کنوکارپوس(۴۳/۱۲) در این تحقیق با مقادیر گزارش شده برای باگاس ۲۵/۸۸ (۱۷) و کاه گندم ۳۸/۷(۱۹) می‌توان به‌دلیل تمایل به جذب آب بیشتر، انتظار تسهیل عمل پالایش خمیرکاغذ را داشت.

در صنعت خمیرکاغذ و کاغذ وجود مواد معدنی در ماده اولیه به‌دلیل فرسایش دستگاه‌ها و ماشین‌آلات پدیده‌ای منفی تلقی می‌شود. یکی از مشخصه الیاف غیرچوبی وجود مقدار زیادی مواد معدنی است (۲۰) که استفاده این الیاف را در صنعت خمیرکاغذ و کاغذ با محدودیت‌هایی مواجه کرده است(۲۱) در ارزیابی خواص خمیرکاغذ مقدار مواد معدنی از طریق تعیین خاکستر گزارش می‌شود. نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که برگ، شاخه-برگ و شاخه کنوکارپوس به ترتیب دارای ۱۴/۳۶، ۹/۷۰ و ۵/۲۸ درصد خاکستر می‌باشند. درصد خاکستر برای باگاس ۲/۷۳ (۱۷) و کاه گندم ۱/۸(۱۹) گزارش شده است که مشاهده می‌شود ضایعات کنوکارپوس دارای مقدار خاکستر بیشتری از کاه گندم و باگاس است که می‌تواند به‌عنوان یک ویژگی نامناسب محسوب شود.

ریخت شناسی الیاف شاخه حاصل از هرس کنوکارپوس

کوتاه بودن و کوچک بودن الیاف شاخه حاصل از هرس کنوکارپوس می‌تواند ناشی از جوان بودن شاخه به دلیل هرس کردن قسمت‌های انتهای درخت باشد، چرا که عموما چوب جوان در مقایسه با چوب بالغ دارای بافتی نرمتر و الیافی کوتاهتر، مواد استخراجی، لیگنین و همی‌سلولز بیشتر و سلولز کمتر است. همان‌طور که در شکل ۲- در قسمتهای C و D

1 - Al-Mefarrej

مشاهده می‌شود در مورد برگ ساختار فیبری مشخصی مشاهده نشد تا مورد ارزیابی قرار گیرد. معمولا ضریب لاغری الیاف (نسبت طول به قطر) شاخص مناسبی برای ارزیابی منابع فیبری جهت استفاده در صنعت کاغذسازی محسوب می‌شود. طول کوتاه الیاف شاخه کنوکارپوس منتهی به کم بودن ضریب لاغری الیاف آن(۱۴/۵۳) در مقایسه با منابع دیگر مثل باگاس(۸۵) می‌شود یک ویژگی منفی برای استفاده از آن در صنعت خمیرکاغذ و کاغذ است.

ویژگی خمیرکاغذ

بر اساس ارزیابی خمیرکاغذهای تهیه شده، خمیرکاغذ تهیه شده از برگ دارای بیشترین عدد کاپا (۵۹/۲۳) و کمترین درصد بازده کلی خمیرکاغذ (۳۰/۵۳) و بازده خمیرکاغذ غربال شده (۲۹/۵۳) بود و بر عکس خمیرکاغذ حاصل از شاخه دارای کمترین عدد کاپا (۳۸/۸۲) و بیشترین درصد بازده کلی خمیرکاغذ (۴۸/۲۷) و بازده خمیرکاغذ غربال شده (۴۵/۱۹) بود. خمیرکاغذ حاصل از شاخه-برگ با عدد کاپا (۵۸/۴۶)، بازده کلی خمیرکاغذ (۳۹/۳۶ درصد) و بازده خمیرکاغذ غربال شده (۳۴/۱۰ درصد) حالت بینابینی داشت. همچنین، خمیرکاغذ حاصل از برگ دارای درجه روانی بسیار کم (۱۴۰ml) و در نتیجه زمان زهکشی بسیار زیاد (۲۱۵/۷۸ ثانیه) هنگام کاغذسازی بود که می‌تواند به‌دلیل وجود نرمه‌های زیاد در خمیرکاغذهای حاصل از برگ باشد(شکل ۲) که سبب تاخیر خروج آب و در نتیجه کاهش زیاد درجه روانی و افزایش زمان زهکشی خمیرکاغذ می‌شوند (۲۲) به‌همین دلیل می‌توان استدلال کرد که خمیرکاغذ شاخه - برگ به‌دلیل داشتن نرمه‌های ناشی از وجود برگ دارای درجه روانی کمتر (۳۵۵ میلی‌لیتر) و زمان زهکشی بیشتر (۲۳/۰۹ ثانیه) از خمیرکاغذ حاصل از شاخه با درجه روانی (۷۳۰ میلی‌لیتر) و زمان زهکشی (۴/۱۲ ثانیه) بود. به‌دلیل نرمه زیاد و در نتیجه عدم داشتن حداقل استحکام در حالت تر، امکان ساخت کاغذ از خمیرکاغذ حاصل از برگ در عمل مقدور نشد و در نتیجه خواص مکانیکی کاغذهای حاصل از شاخه و شاخه- برگ مورد ارزیابی قرار گرفت.

خواص کاغذ دست‌ساز

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی کاغذ دانسیته ظاهری است. این ویژگی بیانگر انعطاف‌پذیری الیاف کاغذ است که تقریبا تمام خواص کاغذ را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ضریب پخش نور نیز به‌طور غیرمستقیم شاخصی برای نشان دادن سطح عدم اتصال بین مواد تشکیل دهنده کاغذ است به عبارتی هرچه ضریب بخش نور کم باشد می‌تواند ناشی از فضای خالی کمتر و احتمال پیوند بیشتر باشد(۲۳-۲۵). همان‌طور که گفته شد ضایعات حاصل از هرس کنوکارپوس با ترکیب ۴۶/۹۱ درصد برگ و ۵۳/۰۹ درصد شاخه بر اساس وزن خشک، می-تواند در هنگام تشکیل کاغذ به‌دلیل نرمه زیاد ناشی از وجود برگ، موجب تولید کاغذی با دانسیته بیشتر (۰/۴ در مقایسه با ۰/۳۷ گرم بر سانتی‌متر مربع)، ضریب بخش نور کمتر (۳/۰۶ در مقایسه با ۴/۴۳ متر مربع بر کیلوگرم) شود. از طرفی به‌دلیل اینکه شاخص مقاومت به پارگی به طول الیاف، و مقاومت خود الیاف(در درجه نخست) و به پیوند بین الیاف(در درجه دوم) بستگی دارد، و مقاومت به کشش به عنوان شاخص بیان مقاومت عمومی کاغذ به پیوند بین الیاف بستگی دارد(۲۲، ۲۶)، کاغذ حاصل از شاخه- برگ در مقایسه با کاغذ ساخته شده از شاخه، دارای شاخص مقاومت به پارگی کمتر ولی شاخص مقاومت به کشش بیشتر است. از طرفی به‌نظر می‌رسد به‌دلیل عدد کاپای بالا(جدول ۴) که منتهی به تیرگی بیشتر کاغذها و در نتیجه جذب بیشتر نور می‌شود و ضخامت زیادکاغذها(جدول ۵) که سبب عبور کمتر نور می‌شود(۲۷)، کاغذهای حاصل از هر دو نوع الیاف(شاخه و شاخه-برگ) دارای ماتی زیاد می‌باشند.

نتیجه گیری

در این تحقیق امکان استفاده از ضایعات حاصل از هرس درخت کنوکارپوس برای صنایع خمیرکاغذ و کاغذ از طریق ارزیابی ترکیبات شیمیایی برگ، شاخه و مخلوط آنها، تهیه خمیرکاغذ و ساخت کاغذ دست‌ساز مورد ارزیابی قرار گرفت. مقایسه نتایج ترکیبات شیمیایی برگ، شاخه و شاخه - برگ حاصل از هرس کنوکارپوس حاکی از اختلاف معنی‌دار بین ترکیبات شیمیایی یعنی مواد استخراجی، لیگنین، سلولز، همی‌سلولز و خاکستر بود به‌طوری‌که برگ با بیشترین مقدار مواد استخراجی، لیگنین و

خاکستر و کمترین مقدار سلولز و همی‌سلولز، خمیرکاغذی با بازده کم و عددکاپای زیاد تولید نمود که به‌دلیل درجه روانی بسیار کم و زمان زهکشی فوق العاده زیاد امکان تهیه کاغذ دست‌ساز مقدور نشد. اما، شاخه با بیشترین مقدار سلولز و همی‌سلولز و کمترین مقدار مواد استخراجی، لیگنین و خاکستر، خمیرکاغذی با بازده بیشتر، عدد کاپای کمتر، درجه روانی بیشتر و زمان زهکشی کم تولید کرد و الیاف حاصل از ضایعات شاخه - برگ حالت بینابینی داشت. همچنین کاغذهای حاصل از شاخه در مقایسه با کاغذهای حاصل از شاخه - برگ دارای ضخامت، ضریب پخش نور و شاخص مقاومت به پارگی بیشتر، و شاخص مقاومت به کشش و دانسیته کمتر بود. بنابراین توصیه می‌شود ضایعات حاصل از هرس درخت کنوکارپوس، در مقایسه با سایر مواد لیگنوسلولزی از جمله کاه گندم و باگاس که به‌طور گسترده در صنعت خمیرکاغذ و کاغذ استفاده می‌شوند، به دلیل کیفیت ضعیف (بازده کم و درجه روانی بسیار پایین و زمان زهکشی بسیار زیاد) در تولید خمیرکاغذ و کاغذ به صورت خالص استفاده نشود و توصیه می‌شود که اختلاط خمیرکاغذ کنوکارپوس با خمیر کاغذ بازیافتی مورد تحقیق قرار گیرد.

تشکر و قدرانی

از دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان و شهرداری اهواز را که نهایت همکاری و مساعدت از این پروژه را داشتند کمال تشکر و قدرانی می‌شود. توضیح اینکه کل فرآیند اجرایی این تحقیق در سال ۱۳۹۷ بوده است.

References

1. Azizi-Mossello, A. 2018. Green products in the wood and paper industry. The First National Conference on Sustainable Development in The First National Conference on Sustainable Development in Agriculture and Natural Resources, Focusing on Environmental Culture, Tehran. (In Persian)
2. Chavooshi, A., Bahmani, A.A., Darijani, A., Mootab Saei, A, Mehrabi, E., Gholipour, M., 2012. The role of wood and paper industries management of Iran in sustainable development. J. of Conservation and Utilization of Natural Resources.Vol. 1, pp.79-95.
3. Atabati, H., Azadfar, D. Andmajdabadi, A., 2018. The comparison of the abilities of leucocephala Leucenana, *Conocarpus erectus*, and Lawsonia inermis in Phytoremediation and absorption of Cs and Sr. J. of Environmental Science and Technology.
DOI: 10.22034/jest.2018.16690.2527.
4. Nascimento, D.K., Souza, I. A., Oliveira, A.F.D., Barbosa, M.O., Santana, M.A., Pereira Junior, D.F., Lira, E.C., Vieira, J.R., 2016. Phytochemical screening and acute toxicity of aqueous extract of leaves of *Conocarpus erectus* Linnaeus in Swiss Albino Mice. Anais da Academia Brasileira de Ciências.Vol.88, pp. 1431-7.
5. Chaharazi, M. 2016. Can *Conocarpus* be the cause of contamination? [Online]. Iran: Iranian Students News Agency (ISNA). Available: https://www.isna.ir/news/95080201486/%D8%A2% [Accessed 2019].
6. Kaur, D., Bhardwaj, N.K., Lohchab, R.K., 2018. Environmental Aspect of Using Chlorine Dioxide to Improve Effluent and Pulp Quality During Wheat Straw Bleaching. Waste and Biomass Valorization, pp.1-9.
7. Al-Mefarrej, H. A., Abdel-Aal, M. A. and Nasser, R. A., 2013. Chemical evaluation of some lignocellulosic residues for pulp and paper production. American-Eurasian J Agric Environ Sci, 13, pp.498-504.
8. Wise, L.E., Murphy, M., D'Adieco, A., 1946. A chlorite holocellulose, its fractionation and bearing on summative wood analysis and studies on the

hemicelluloses. Paper Trade J. Vol 122, pp. 35-43.

9. Young, R.A., 1997. Processing of agro-based resources into pulp and paper. Paper and Composites from Agro-based Resources. CRC Press/Lewis Publishers, New York, pp.137-245.
10. Franklin, G.J.N., 1945. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. Vol 155,pp. 51.
11. Azizi Mossello, A., Ainun, Z.M.A., Rushdan, I., 2009. Chemical, morphological, and technological properties of Malaysian cultivated kenaf (Hibiscus cannabinus L.) fibers. Kenaf Biocomposites, Derivatives and Economics, Bandar Baru Seri Petaling, Kuala Lumpur: Pustaka Prinsip Sdn. Bhd.
12. Little E.L., 1984. Common fuelwood crops. A handbook for their identification.
13. Smook, G.A., 2002. Handbook for pulp & and paper technologists. Angus Wilde Publ.
14. Samriha, A., 2010. Chemical analysis of bagasse used by Pars Paper Company, in National Symposium on Chemical Engineering. Islamshahr, Iran. (In Persian)
15. Saraeian, A.R., Karimi, A.N., Jahan Latibari, A., 2004. Evaluation of Chemical Composition of Various Parts of Wheat Stalk. Vol 56, pp. 447-460.
16. Rodríguez, A., Moral, A., Serrano, L., Labidi, J., Jiménez, L., 2008. Rice straw pulp obtained by using various methods. Bioresource technology. Vol 99, pp. 2881-2886.
17. Rezayati-Charani, P., Mohammadi-Rovshandeh, J., 2005. Effect of pulping variables with dimethyl formamide on the characteristics of bagasse-fiber. Vol 96, pp.1658-1669.
18. Biermann, C.J., 1996. Handbook of pulping and papermaking. Elsevier. 783.
19. Xu, F., Liu, C.F., Geng, Z.C., Sun, J.X., Sun, R.C., Hei, B.H., Lin, L., Wu, S.B., Je, J., 2006. Characterization of degraded organosolv hemicelluloses from wheat straw. Polymer Degradation and Stability. Vol 91, pp.1880-1886.
20. Enayati, A.A., Hamzeh, Y., Mirshokraiei, S.A., Molaii, M., 2009. Papermaking potential of canola stalks. Vol 4, pp. 245-256.
21. McKendry, P.J.B.t., 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. Vol 83, pp. 37-46.
22. Mohta D.C., Roy, D.N., Whiting P.,2004. Refiner mechanical pulp from kenaf for newsprint manufacture. J Tappi journal.Vol3, pp.9-14.
23. Clark, D.J.A., 1978. Pulp technology and treatment for paper.
24. Azizi Mossello, A.A., Harun J, Resalati, H., Ibrahim, R., Shams, S.R.F., Tahir, P.M.J.B.,2010. New approach to use of kenaf for paper and paperboard production.Vol 5, pp. 2112-22.
25. Seth, R.S.J.S. 2001. The difference between never-dried and dried chemical pulps.Vol 1.
26. Villar, J.C., Revilla, E., Gómez, N., Carbajo, J.M., Simón, J.L., 2009. Improving the use of kenaf for kraft pulping by using mixtures of bast and core fibers. Industrial crops and products.Vol 29, pp. 301-7.
27. TAPPI Standards,T425 om-06, 2006. Opacity of paper (15/d geometry, illuminant A/2*, 89% reflectance backing and paper backing).TAPPI Press. Atlanta, GA.