

Investigating on properties of soda-AQ pulp produced from terjin (*Saccharum ravennae*)

Hamid Reza Mehri Iraei¹, Elyas Afra^{*2}, Mohammad Hadi Aryaie Monfared³,
Hossein Mahdavi⁴, Hasan Sadeghifar⁵

1. Ph.D. Student, Dept. of Paper Sciences and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: hamid_mehry40@yahoo.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Paper Sciences and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: afra@gau.ac.ir
3. Assistant Prof., Dept. of Paper Sciences and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: aryaie@gau.ac.ir
4. Full Prof., Dept. of Polymer Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: hosinmahdavi@ut.ac.ir
5. Adjunct Prof., Dept. of Forest Biomaterials, North Carolina State University, Raleigh, NC, USA. E-mail: h.sadeghifar@gmail.com

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 11.01.2022

Revised: 11.21.2022

Accepted: 11.22.2022

Keywords:

Non-woody plants,

Soda-anthraquinone,

Terjin (*Saccharum ravennae*)

ABSTRACT

Background and Objectives: The reduction of forest wood resources has increased the necessity of using alternative primary resources including weedy non-wood plants, wood of fast-growing trees and agricultural residues in papermaking industries. On the other hand, most of the country's agricultural waste is consumed in animal husbandry industries, and wood farming also faces many challenges due to costs such as removing the roots after cutting the tree. Hence the need to use a weedy non-wood raw material seems essential. terjin (*Saccharum ravennae*) is one of the native weedy non-wood resources of the country, which has a good distribution in the country, and so far, its potential for use has not been evaluated. Therefore, the purpose of this research is to investigate the chemical and morphological characteristics of terjin, as well as the production and evaluation of refined and unrefined soda-anthraquinone pulp from it as a raw material to offer to papermaking industries.

Materials and Methods: In this research, terjin leaves were obtained from Gorgan region located in Golestan province. In order to measure the biometric characteristics of terjin, the samples were cut using the Franklin method, and then the dimensions of its fibers were measured using an optical microscope, and then their biometric coefficients were calculated. In order to measure the chemical properties of the fibers, the samples were first grinded and then their chemical properties, including the percentage of ash, extractives, lignin (klason) and cellulose were also measured based on the TAPPI standard. In order to prepare pulp from terjin, the samples were cooked at different levels of time (30 and 60 minutes) and chemical (alkalinity 14, 16 and 18%) under a temperature of 160 °C and 0.1% anthraquinone consumption, and then their yield, freeness and kappa number was measured. In the following, the pulps were refined to freeness of 350 ± 20 ml CSF, and then handsheet paper with a grammage of 60 g/m^2 was prepared from refined and unrefined pulps, and their physical, optical and resistance characteristics were measured by TAPPI standards. Finally, the results were evaluated and analyzed using one-way analysis of variance and Duncan's test in SPSS software environment.

Results: The results showed that the length, diameter, lumen diameter and wall thickness of the fibers were 1.85 mm, 10.82 μm , 5.32 μm and 2.75 μm , respectively; and biometric coefficients including Slenderness ratio, Flexibility coefficient and Runkel ratio were 171.14, 49.12 and 103.60 respectively. Its chemical composition included percentage of ash, extractive, lignin and cellulose were 5.75, 2.53, 26.73 and 44.63 respectively. The results of pulping showed that with the increase of alkalinity percentage and cooking time, yield, kappa number and freeness of pulp decreased. Also, the results showed that refining and increasing the alkalinity percentage and cooking time increase the density, decrease the opacity and increase the resistance characteristics of pulp. According to the results, the brightness increased with the increase in alkalinity percentage, while the increase in cooking time and the use of refining treatment did not have a significant effect on the brightness of the soda-anthraquinone pulp obtained from terjin. According to the results, the best characteristics were obtained after refining the pulp obtained from cooking at 18% alkalinity for 30 and 60 minutes, and also at 16% alkalinity for 60 minutes.

Conclusion: In general, terjin has better morphological and chemical characteristics than many non-woody plants, and in some cases, such as fiber length, its characteristics are comparable to hardwood. Also, refined and unrefined soda-anthraquinone pulp of terjin has relatively good and acceptable papermaking characteristics, and it can be suggested to the papermaking industry as a part of the raw material for the production of pulp.

Cite this article: Mehri Iraei, Hamid Reza, Afra, Elyas, Aryaie Monfared, Mohammad Hadi, Mahdavi, Hossein, Sadeghifar, Hasan. 2022. Investigating on properties of soda-AQ pulp produced from terjin (*Saccharum ravennae*). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 29 (3), 35-51.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JWFST.2022.20741.1989

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بررسی ویژگی‌های خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون تولیدشده از ترجین (*Saccharum ravennae*)

حمیدرضا مهری ایرائی^۱، الیاس افرا^{۲*}، محمدهادی آریایی منفرد^۳، حسین مهدوی^۴، حسن صادقی فر^۵

۱. دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: hamid_mehry40@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: afra@gau.ac.ir
۳. استادیار گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: aryaie@gau.ac.ir
۴. استاد گروه شیمی پلیمر، دانشکده شیمی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: hosinmahdavi@ut.ac.ir
۵. استاد مدعو بخش بیومواد جنگلی، دانشگاه NSCU، رالی، کارولینای شمالی، امریکا. رایانامه: h.sadeghifar@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: کاهش منابع چوبی جنگلی، ضرورت استفاده از منابع اولیه جایگزین شامل گیاهان غیرچوبی خودرو، چوب درختان سریع‌الرشد و پسماندهای کشاورزی را در صنایع کاغذسازی - افزایش داده است. از طرفی قسمت عمده پسماندهای کشاورزی کشور، در صنایع دامداری مصرف می‌شوند و زراعت چوب نیز به دلیل هزینه‌هایی چون حذف ریشه پس از قطع درخت با چالش‌های فراوانی روبه‌رو می‌باشد. از این رو لزوم استفاده از یک ماده اولیه غیرچوبی خودرو ضروری به نظر می‌رسد. ترجین (<i>Saccharum ravennae</i>) یکی از منابع غیرچوبی خودرو بومی کشور است که از پراکنش خوبی در سطح کشور برخوردار بوده و تاکنون پتانسیل استفاده از آن مورد ارزیابی قرار داده نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی ویژگی‌های شیمیایی و مورفولوژیکی ترجین و هم‌چنین تولید و ارزیابی خمیرکاغذ پالایش‌شده و پالایش‌نشده سودا-آنتراکینون از آن به‌عنوان یک ماده اولیه جهت پیشنهاد به صنایع کاغذسازی می‌باشد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۸/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۱	مواد و روش‌ها: در این پژوهش برگ‌های ترجین از منطقه گرگان واقع در استان گلستان تهیه شد. جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های بیومتری ترجین، نمونه‌ها با استفاده از روش فرانکلین وابری شده و سپس با استفاده از میکروسکوپ نوری، ابعاد الیاف آن اندازه‌گیری و سپس ضرایب بیومتری آن‌ها محاسبه شد. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی، نمونه‌ها ابتدا آسیاب شده و سپس ویژگی‌های شیمیایی آن‌ها شامل درصد خاکستر، مواد استخراجی،
واژه‌های کلیدی: ترجین (<i>Saccharum ravennae</i>)، سودا-آنتراکینون، گیاهان غیرچوبی	

لیگنین (کلاسون) و سلولز بر اساس استانداردهای تاپی اندازه‌گیری شدند. به منظور تهیه خمیرکاغذ از ترجین، نمونه‌ها در سطوح مختلف زمانی (۳۰ و ۶۰ دقیقه) و ماده شیمیایی مصرفی (قلیابیت ۱۴، ۱۶ و ۱۸ درصد) تحت دمای °C ۱۶۰ و مقدار مصرف ۰/۱ درصد آنتراکینون پخت شده و سپس بازده، عدد کاپا و درجه روانی آن‌ها اندازه‌گیری شد. در ادامه خمیرکاغذها تا درجه روانی ml CSF 350 ± 20 پالایش شده و سپس از خمیرکاغذهای پالایش شده و پالایش نشده کاغذ دست‌ساز با گراماژ 60 g/m^2 تهیه و در ادامه ویژگی‌های فیزیکی، نوری و مقاومتی آن‌ها توسط استانداردهای تاپی اندازه‌گیری شد. در نهایت نتایج حاصل با استفاده از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه و دانکن در محیط نرم‌افزار SPSS تحت ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که طول، قطر، قطر حفره و ضخامت دیواره الیاف به ترتیب $1/85 \text{ mm}$ ، $10/82 \text{ }\mu\text{m}$ ، $5/32 \text{ }\mu\text{m}$ و $2/75 \text{ }\mu\text{m}$ ؛ و ضرایب بیومتری شامل ضریب درهم‌رفتگی، ضریب انعطاف‌پذیری و ضریب رانکل به ترتیب $1/14/171$ ، $1/12/49$ و $1/60/103$ ؛ و ترکیبات شیمیایی آن شامل درصد خاکستر، مواد استخراجی، لیگنین و سلولز به ترتیب $5/75$ ، $2/53$ ، $26/73$ و $44/63$ درصد بود. نتایج حاصل از خمیرسازی نشان داد که با افزایش درصد قلیابیت و زمان پخت، بازده، عدد کاپا و ماتی خمیرکاغذ کاهش یافت. هم‌چنین نتایج نشان داد که پالایش و افزایش درصد قلیابیت و زمان پخت سبب افزایش دانسیته، کاهش ماتی و افزایش ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ می‌شود. با توجه به نتایج، با افزایش درصد قلیابیت درجه روشنی افزایش یافت؛ درحالی‌که افزایش زمان پخت و استفاده از تیمار پالایشی، تأثیر معنی‌داری بر درجه روشنی خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون حاصل از ترجین نداشته است. با توجه به نتایج، بهترین ویژگی‌ها پس از پالایش خمیرکاغذ پس از پخت، تحت قلیابیت ۱۸ درصد به مدت ۳۰ و ۶۰ دقیقه و هم‌چنین قلیابیت ۱۶ درصد به مدت ۶۰ دقیقه حاصل شد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، ترجین از ویژگی‌های مورفولوژیکی و شیمیایی بهتری نسبت به بسیاری از گیاهان غیرچوبی برخوردار بوده و در برخی موارد هم‌چون طول الیاف، ویژگی‌های آن قابل‌مقایسه با ویژگی‌های پهن‌برگان نیز می‌باشد. هم‌چنین خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون پالایش شده و پالایش نشده ترجین از ویژگی‌های کاغذسازی نسبتاً خوب و قابل‌قبولی برخوردار بوده و می‌توان آن را به‌عنوان بخشی از ماده اولیه برای تولید خمیرکاغذ، به صنایع کاغذسازی پیشنهاد نمود.

استناد: مهری ایرانی، حمیدرضا، افرا، الیاس، آریایی منفرد، محمدحادی، مهدوی، حسین، صادقی‌فر، حسن (۱۴۰۱). بررسی ویژگی‌های خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون تولیدشده از ترجین (*Saccharum ravennae*). نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۹ (۳)، ۵۱-۳۵.

DOI: 10.22069/JWFST.2022.20741.1989



© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

کاغذ و محصولات سلولزی از جمله محصولات مهم مورد استفاده برای بشر بوده و با افزایش روزافزون جمعیت، تقاضای جهانی برای استفاده از این محصولات رو به افزایش می‌باشد. این در حالی است که سطح جنگل‌ها و منابع چوبی مورد استفاده برای تأمین ماده اولیه مورد نیاز برای تولید محصولات مذکور رو به کاهش بوده و به دلایل زیست‌محیطی، استفاده از آن‌ها با محدودیت مواجه می‌باشد (۱ و ۲). از جمله راهکارهای ارائه و پیشنهاد شده برای برطرف نمودن این مشکل شامل کشت و استفاده از گیاهان سریع‌الرشد، پسماندهای کشاورزی، بازیافت کاغذ، گیاهان غیرچوبی خودرو به صورت طبیعی (که قابلیت کشت نیز دارند) و گیاهان غیرچوبی لیفی می‌باشند (۱). پژوهش‌گران مختلفی پتانسیل گیاهان چوبی سریع‌الرشد و پسماندهای کشاورزی مانند صنوبر، ساقه کلزا و کاه گندم را جهت تولید خمیر و کاغذ مورد ارزیابی قرار داده و گزارش نموده‌اند که مواد مذکور از پتانسیل مناسبی برخوردار بوده و می‌توان از آن‌ها برای تأمین بخشی از ماده اولیه صنایع کاغذسازی استفاده نمود (۱، ۳، ۴، ۵)؛ اما استفاده از این منابع نیز با چالش‌های مهمی روبه‌رو می‌باشد؛ زیرا در عمل بسیاری از کشاورزان به دلیل مشکلاتی چون هزینه‌های مربوط به حذف ریشه درخت پس از قطع آن‌ها اقدام به زراعت درختان سریع‌الرشد ننموده و هم‌چنین، یکی از رقبای اصلی صنایع کاغذ در تأمین ماده اولیه از پسماندهای کشاورزی، صنایع دامداری می‌باشند. با توجه به مشکل مذکور، استفاده از منابع غیرچوبی خودرو در طبیعت مانند ساقه بامبو و میسکانتوس^۱ مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته و گزارش نموده‌اند که خمیر کاغذ حاصل از این منابع از ویژگی‌های نسبتاً خوبی برخوردار بوده و می‌توان آن‌ها را جایگزین بخشی از منابع چوبی متداول مورد

استفاده برای کاغذسازی مانند توس، ممرز و صنوبر نمود (۱ و ۵). صنایع کاغذسازی ایران، به دلیل کاهش چشمگیر سطح منابع جنگلی (۶) و مصرف قسمت اعظم پسماندهای کشاورزی مانند کاه گندم و کاه برنج برای نهاده‌های دامی، با مشکل تأمین ماده اولیه برای تولید مواجه می‌باشند. همان‌گونه که ذکر شد منابع غیرچوبی خودرو طبیعی یکی از منابع قابل جایگزین با چوب بوده و می‌توان همانند خیلی از کشورهای دیگر چون هند، چین و کشورهای اروپایی از این پتانسیل استفاده نمود (۱). یکی از گیاهان غیرچوبی بومی ایران که شباهت ساختاری بسیار زیادی با میسکانتوس داشته و تاکنون ویژگی‌های آن به‌عنوان یک منبع سلولزی برای استفاده در صنایع خمیر و کاغذ تحت بررسی قرار نگرفته است، گیاهی به نام *Saccharum ravennae* (شکل ۱) می‌باشد (۷). ترجمین یک گیاه غیرچوبی علفی چندساله- (با ساختار برگ‌های متحدالمرکز) با ریزوم‌های محکم و پایدار است که از گستردگی بسیار خوبی در مناطق مختلف کشور (گرگان، خوزستان، ایرانشهر، بروجرد، بندرعباس و...) برخوردار بوده و به نظر می‌رسد می‌توان باهدف کاهش فرسایش خاک و هم‌چنین تأمین بخشی از ماده اولیه سلولزی در صنایعی چون صنایع خمیر و کاغذ، پتانسیل آن را مورد ارزیابی قرار داد. جهت ارزیابی پتانسیل یک منبع به‌عنوان ماده اولیه در صنایع خمیر و کاغذ، ارزیابی ویژگی‌های شیمیایی و مورفولوژیکی و هم‌چنین ویژگی‌های خمیر کاغذ و کاغذ حاصل از آن ضروری می‌باشد (۸). با توجه به موارد ذکر شده در این پژوهش ویژگی‌های مورفولوژیکی و شیمیایی الیاف ترجمین و هم‌چنین ویژگی‌های خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون (عموماً برای تولید خمیر کاغذ از گیاهان غیرچوبی از فرآیندهای سودا و یا سودا-آنتراکینون استفاده می‌شود) (۸ و ۹) حاصل از آن تحت بررسی قرار گرفت. هم‌چنین یکی از متداول‌ترین عملیات‌های کاغذسازی باهدف بهبود

1- Miscanthus

پژوهش حاضر تأثیر پالایش بر ویژگی‌های کاغذهای ساخته‌شده از خمیرکاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف پخت نیز مورد ارزیابی قرار گرفته شده است.

ویژگی‌های ساختاری و مقاومتی کاغذ که عموماً در تمامی کارخانه‌های خمیر و کاغذ مورد استفاده قرار می‌گیرد، پالایش خمیرکاغذ است (۹). بنابراین در



شکل ۱- تصویر گیاه ترجین (*Saccharum ravennae*) واقع در منطقه گرگان.

Figure 1. The image of Tarjin plant (*Saccharum ravennae*) located in Gorgan region.

(d) و ضخامت دیواره ییاف (w) اندازه‌گیری شده (۱۰۰ عدد) و سپس ضرایب بیومتری شامل ضریب درهم‌رفتگی (L/D)، ضریب انعطاف‌پذیری ((d/D) × ۱۰۰) و ضریب رانکل ((۲w/d) × ۱۰۰) با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده محاسبه شد (۱۱).

تهیه خمیرکاغذ و تعیین بازده و عدد کاپای آن: برای تولید خمیرکاغذ از ترجین، مقدار ۱۰۰ گرم ماده خشک اولیه در دیگ پخت چرخان با ۶ مخزن به گنجایش ۲/۵ لیتر، با نسبت مایع پخت به ماده اولیه ۸ به ۱ (۸/۱)، مقدار مصرف ۰/۱ درصد آنتراکینون، دمای °C ۱۶۰ و سطوح مختلف قلیانیت و زمان پخت آورده شده در جدول زیر، تحت پخت قرار داده شدند. پس از اتمام پخت، خمیرکاغذها شستشو و سپس هوا خشک شدند. بازده خمیرکاغذهای تولیدشده با استفاده از روش توزین و عدد کاپای آن‌ها با استفاده از دستورالعمل شماره ۹۹-om-۲۳۳۶ آیین‌نامه تاپی اندازه‌گیری شد.

مواد و روش‌ها

منطقه نمونه‌برداری و تهیه ماده اولیه: نمونه برگ‌های ترجین از منطقه گرگان واقع در استان گلستان جمع‌آوری و سپس به ابعاد ۳-۴ cm تبدیل شدند. در ادامه نمونه‌ها هوا خشک شده و سپس درصد رطوبت آن‌ها با استفاده از روش توزین اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی: به‌منظور اندازه‌گیری درصد ترکیبات شیمیایی ترجین، نمونه‌ها توسط استاندارد ۰۲-T۲۵۷ cm آسیاب شده و درصد مواد استخراجی، لیگنین (لیگنین کلاسون)، سلولز و خاکستر آن‌ها به ترتیب با استفاده از استانداردهای ۹۹-T۲۸۰ pm، ۰۲-T۲۲۲ om، ۹۸-T۲۶۴ om و ۰۲-T۲۱۱ om آیین‌نامه تاپی اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفولوژیکی: وابری الیاف با هدف اندازه‌گیری ویژگی‌های بیومتری، با استفاده از روش فرانکلین انجام شد (۱۰). در ادامه نمونه‌ها با استفاده از زافرانین رنگ‌آمیزی شده و با استفاده از میکروسکوپ نوری طول (L)، قطر (D)، قطر حفره

جدول ۱- سطوح مختلف قلیانیت و زمان مورد استفاده برای پخت.

Table 1. Different levels of alkalinity and time used for cooking.

درصد سود مصرفی (به ازای وزن خشک ماده اولیه) Percentage of Caustic soda used as dry weight of raw material	زمان پخت (m) Pulping time (m)
14, 16, 18	30, 60

بر اساس استانداردهای ۰۵-om-۱۱T، ۰۲-om-۵۲T، ۰۱-om-۲۵T، ۹۲-om-۰۴T، ۰۲-om-۰۳T و ۰۴-om-۱۴T اندازه‌گیری شدند. سپس از تقسیم گراماژ کاغذ بر ضخامت و از تقسیم ویژگی‌های مقاومتی بر گراماژ به ترتیب دانسته و شاخص ویژگی‌های مقاومتی محاسبه گردید.

آنالیز آماری: طرح آماری مورد استفاده در این پژوهش از نوع کاملاً تصادفی بوده و برای تجزیه و تحلیل آماری ویژگی‌های اندازه‌گیری شده از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه ($P < 0.05$) و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. نرم‌افزار مورد استفاده در این پژوهش برای آنالیز آماری داده‌ها SPSS بود. علائم اختصاری مورد استفاده برای معرفی تیمارهای مختلف پخت در جدول زیر آورده شده است.

تعیین درجه روانی و پالایش خمیر کاغذها و ساخت کاغذ دست‌ساز از آن‌ها: درجه روانی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف پخت با استفاده از شماره استاندارد ۹۹-۲۲۷vom آیین‌نامه تاپی اندازه‌گیری شد. خمیر کاغذهای تولید شده با استفاده از دستگاه PFI mill و بر اساس استاندارد شماره ۰۰-sp-۲۴۸ T آیین‌نامه تاپی تا درجه روانی ۳۵۰±۲۰ml CSF پالایش شده و در ادامه با استفاده از دستگاه ساخت کاغذ دست‌ساز آزمایشگاهی و بر اساس استاندارد شماره ۰۲-sp-۲۰۵ T آیین‌نامه تاپی، از خمیر کاغذهای پالایش شده و شده، کاغذ دست‌ساز با گراماژ 60 g/m^2 تولید گردید.

تعیین ویژگی‌های کاغذهای دست‌ساز ساخته شده: ویژگی‌های کاغذهای دست‌ساز ساخته شده شامل ضخامت، درجه روشنی، ماتی، مقاومت به کشش، مقاومت به ترکیدن و مقاومت به پاره شدن به ترتیب

جدول ۲- علائم اختصاری مورد استفاده برای معرفی تیمارهای مختلف پخت.

Table 2. Abbreviations used to introduce different cooking treatments.

توضیحات Description	علائم اختصاری Abbreviation signs
قلیانیت (%) Alkalinity (%)	A
زمان (m) Time (m)	T

مثال: $A_{14}T_{30}$ ← قلیانیت ۱۴ درصد و زمان پخت ۳۰ دقیقه

Example: $A_{14}T_{30}$ → 14% alkalinity and 30 minutes cooking time

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی: ویژگی‌های شیمیایی ترجین در مقایسه با برخی دیگر از منابع گیاهی متداول برای کاغذسازی در جدول زیر آورده شده است. همان‌گونه که در جدول زیر مشاهده می‌شود مقدار سلولز ترجین در حد سلولز دیگر گیاهان غیرچوبی متداول برای کاغذسازی می‌باشد. با توجه به نتایج، لیگنین ترجین

از صنوبر بیش‌تر بوده ولی در حد نوئل، بامبو و میسکانتوس می‌باشد. درصد مواد استخراجی ترجین نیز در حد صنوبر است. هم‌چنین با توجه به جدول زیر درصد خاکستر ترجین از صنوبر و نوئل بیش‌تر بوده و در حد دیگر گیاهان غیرچوبی می‌باشد.

جدول ۳- ویژگی‌های شیمیایی ترجین و برخی دیگر از منابع گیاهی.

Table 3. Chemical properties of Terjin and some other plant sources.

میسکانتوس Miscanthus	بامبو (میان‌گره) Bamboo (internode)	ساقه کلزا Rapeseed stem	کل ساقه کنف Whole Kenaf	صنوبر Poplar	نوئل <i>Picea abies</i>	ترجین Terjin	منابع گیاهی Plant resources	ویژگی‌ها Properties
43.7	51.7	44.5	43.8	51.56	59.74	44.63	سلولز (%) Cellulose (%)	
28.5	25.7	24.45	15.5	22.70	28.29	26.73	لیگنین (%) Lignin (%)	
-	.75	1.32	-	3.33	1.41	2.53	مواد استخراجی (%) Extractives (%)	
2.01	14.65	6.43	4.1	0.48	0.3	5.75	خاکستر (%) Ash content (%)	
(15)	(17)	(16)	(15)	(13)	(12)	پژوهش حاضر Current study	منبع Reference	

ویژگی‌های مورفولوژیکی: ویژگی‌های مورفولوژیکی ترجین در جدول زیر آورده شده است. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود طول الیاف ترجین از میانگین طول الیاف صنوبر و گیاهان غیرچوبی ذکرشده در جدول، بیش‌تر بوده و از میانگین طول الیاف نوئل، کم‌تر می‌باشد. طبق پژوهش‌های انجام شده توسط پژوهش‌گران مختلف، عموماً با افزایش ضریب درهم‌رفتگی ویژگی‌های مقاومتی و کیفی؛ و با افزایش ضریب انعطاف‌پذیری مقاومت به کشش و ترکیدن کاغذ افزایش می‌یابد (۸ و ۱۱). هم‌چنین

ضریب رانکل، نشان‌دهنده تغییرات کیفی مقاومت به پارگی کاغذ می‌باشد (۱۱). با توجه به نتایج، الیاف ترجین از ضریب درهم‌رفتگی بیش‌تری نسبت به الیاف نوئل، صنوبر و دیگر گیاهان متداول غیرچوبی ذکرشده در جدول برخوردار می‌باشد. هم‌چنین ضریب انعطاف‌پذیری الیاف ترجین کم‌تر از الیاف نوئل و صنوبر ولی بیش‌تر از ضریب انعطاف‌پذیری الیاف گیاهان غیرچوبی ذکرشده در جدول می‌باشد. ضریب رانکل الیاف ترجین نیز در محدوده گیاهان غیرچوبی ذکرشده در جدول می‌باشد.

جدول ۴- ویژگی‌های مورفولوژیکی ترجین و برخی دیگر از منابع گیاهی.

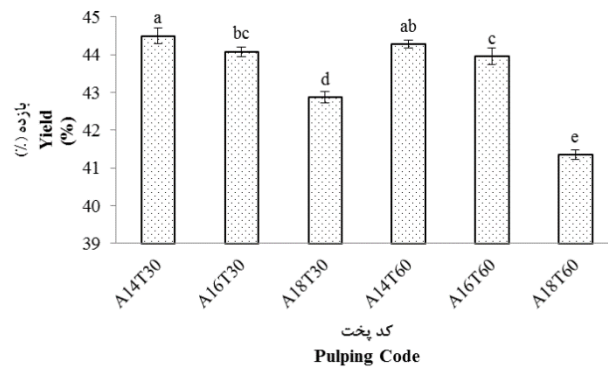
Table 4. Morphological properties of Terjin and some other plant sources.

میسکانتوس Miscanthus	بامبو Bamboo	ساقه کلزا Rapeseed stem	کل ساقه کنف Whole Kenaf	صنوبر Poplar	نوئل <i>Picea abies</i>	ترجین Terjin	منابع گیاهی Plant resources ویژگی‌ها Properties
0.97±	1.08	0.814	1.29	1.07	3.07	1.85	طول الیاف (mm) Fiber length (mm)
14.2±2.5	12.31	16.8	22.1	25.68	44.67	10.82	قطر الیاف (μm) Fiber with (μm)
5.9±2.2	3.90	12.4	12.7	15.40	36.29	5.32	قطر حفره سلولی (μm) Lumen diameter (μm)
4.1±0.8	4.20	2.2	4.3	5.14	4.19	2.75	ضخامت دیواره سلولی (μm) Cell wall thickness (μm)
68.3	88.15	48.45	58.3	40.67	68.72	171.14	ضریب درهم‌رفتگی Slenderness ratio
41.5	31.68	47.74	57.5	59.77	81.23	49.12	ضریب انعطاف‌پذیری Flexibility coefficient
130	215.67	120.31	67	67.29	23.02	103.60	ضریب رانکل Runkel ratio
(14)	(16)	(15)	(14)	(13)	(12)	پژوهش حاضر Current study	منبع Reference

ویژگی‌های خمیر کاغذ

بازده: با توجه به نتایج، بازده خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف با افزایش میزان قلیائیت از ۱۴ به ۱۸ درصد و زمان پخت از ۳۰ به ۶۰ دقیقه به طوری معنی‌داری کاهش پیدا کرده است ($P < 0/05$ ، شکل ۲) که احتمالاً دلیل آن به ترتیب، افزایش سرعت و مقدار لیگنین‌زدایی در طی فرآیند پخت به دلیل افزایش غلظت یون OH^- و افزایش میزان حذف لیگنین به دلیل افزایش زمان واکنش لیگنین‌زدایی می‌باشد (۸ و ۱۷). مقادیر بازده در قلیائیت ۱۴ و ۱۶ درصد

تحت زمان پخت ۳۰ و ۶۰ دقیقه از مقادیر بازده در قلیائیت ۱۸ درصد و مدت‌زمان پخت ۳۰ و ۶۰ دقیقه بیش‌تر بوده است. بیش‌ترین و کم‌ترین بازده به ترتیب مربوط به تیمار $A_{14}T_{30}$ (۴۴/۳۵ درصد) و $A_{18}T_{60}$ (۴۱/۳۵ درصد) بوده است. با توجه به نتایج تأثیر روند و مقدار افزایش قلیائیت و زمان پخت بر میزان بازده خمیر کاغذ، معادل با نتایج حاصل از پژوهش انجام‌شده توسط دانیلوویچ و همکاران (۲۰۱۸) بر روی خمیر کاغذ سودا میسکانتوس بوده و با آن مطابقت دارد (۱۸).

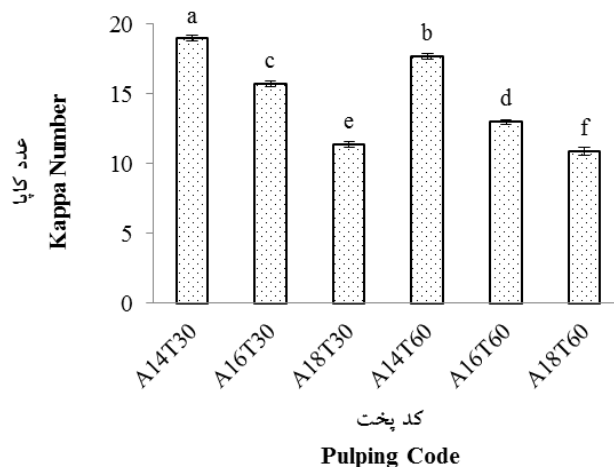


شکل ۲- بازده خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف پخت.

Figure 2. Yield of pulp obtained from different cooking treatments.

عدد کاپا: بر طبق نتایج به دست آمده، عدد کاپا خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف با افزایش قلیائیت و زمان پخت کاهش پیدا کرده است (شکل ۳، $P < 0.05$) که احتمالاً دلیل آن افزایش درصد حذف لیگنین الیاف به دلیل افزایش زمان واکنش لیگنین زدایی و هم‌چنین افزایش غلظت یون OH^- در محیط واکنش می‌باشد (۸ و ۱۷). بیش‌ترین عدد کاپا مربوط به تیمار $\text{A}_{14}\text{T}_{30}$ (۱۹/۰۱) و کم‌ترین عدد کاپا مربوط به تیمارهای $\text{A}_{18}\text{T}_{30}$ (۱۱/۳۷)، $\text{A}_{18}\text{T}_{60}$ (۱۰/۸۹) و $\text{A}_{16}\text{T}_{60}$ (۱۲/۹۹) است. روند و مقدار تأثیر افزایش قلیائیت و زمان پخت بر میزان عدد کاپا در یک بازه مشخص، تقریباً معادل با نتایج حاصل از پژوهش انجام شده توسط دانیلوویچ و همکاران (۲۰۱۸) بر روی خمیر کاغذ سودا میسکانتوس (۱۸) و هم‌چنین پژوهش انجام شده توسط اسدالله‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) بر روی پخت سودا-آنتراکینون کف بوده و با آن‌ها مطابقت دارد (۷).

عدد کاپا: بر طبق نتایج به دست آمده، عدد کاپا خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف با افزایش قلیائیت و زمان پخت کاهش پیدا کرده است (شکل ۳، $P < 0.05$) که احتمالاً دلیل آن افزایش درصد حذف لیگنین الیاف به دلیل افزایش زمان واکنش لیگنین زدایی و هم‌چنین افزایش غلظت یون OH^- در محیط واکنش می‌باشد (۸ و ۱۷). بیش‌ترین عدد کاپا مربوط به تیمار $\text{A}_{14}\text{T}_{30}$ (۱۹/۰۱) و کم‌ترین عدد کاپا مربوط به تیمارهای $\text{A}_{18}\text{T}_{30}$ (۱۱/۳۷)، $\text{A}_{18}\text{T}_{60}$ (۱۰/۸۹) و $\text{A}_{16}\text{T}_{60}$ (۱۲/۹۹) است.

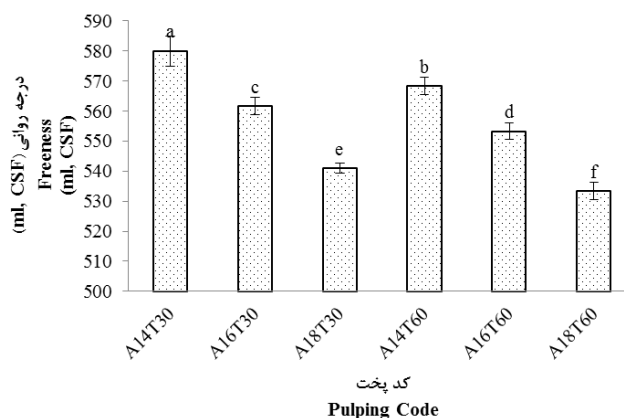


شکل ۳- عدد کاپا خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف پخت.

Figure 3. Kappa number of pulp obtained from different cooking treatments.

حذف لیگنین می‌باشد (۸ و ۹). نتایج تأثیر افزایش قلیائیت و زمان پخت بر درجه روانی خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون کف گزارش شده توسط اسدالله‌زاده و همکاران (۲۰۱۲)، با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (۷).

درجه روانی: بر طبق نتایج به دست آمده، درجه روانی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف با افزایش زمان پخت و قلیائیت کاهش پیدا کرده است ($P < 0/05$ ، شکل ۴) که احتمالاً دلیل آن افزایش میزان آبدوستی و واکنش‌پذیری الیاف خمیر کاغذ در نتیجه



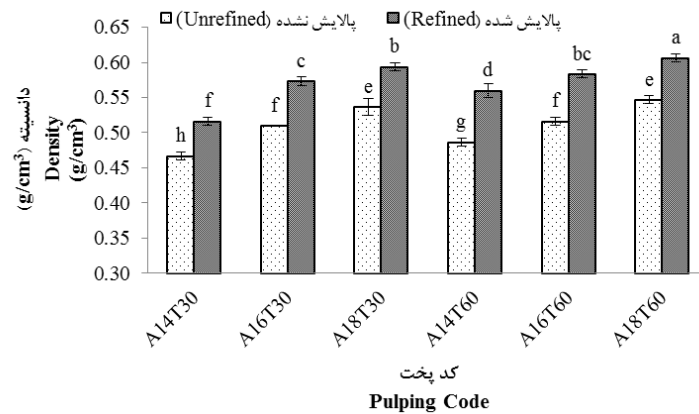
شکل ۴- درجه روانی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف پخت.

Figure 4. Freeness of pulp obtained from different cooking treatments.

به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از خمیر کاغذهای پالایش نشده بود که دلیل آن فیبریله شدن و افزایش سطح اتصال بین الیاف پس از پالایش می‌باشد (۱۹). دامنه دانسیته خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف بین $0/47-0/61 \text{ g/cm}^3$ بوده و بیش‌ترین دانسیته مربوط به خمیر کاغذ پالایش شده تیمارهای $A_{18}T_{30}$ ، $A_{18}T_{60}$ و $A_{16}T_{60}$ و کم‌ترین دانسیته مربوط به خمیر کاغذ پالایش نشده تیمار $A_{14}T_{30}$ بوده است.

ویژگی‌های فیزیکی کاغذ دست‌ساز

دانسیته: بر طبق نتایج به دست آمده، دانسیته کاغذهای ساخته شده از خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف، با افزایش قلیائیت و زمان پخت افزایش پیدا کرده است ($P < 0/05$ ، شکل ۵) که احتمالاً دلیل آن افزایش انعطاف‌پذیری و سطح اتصال بین الیاف در نتیجه افزایش حذف لیگنین در طی پخت می‌باشد (۸ و ۱۹). هم‌چنین نتایج نشان داد که دانسیته کاغذهای ساخته شده از خمیر کاغذهای پالایش شده



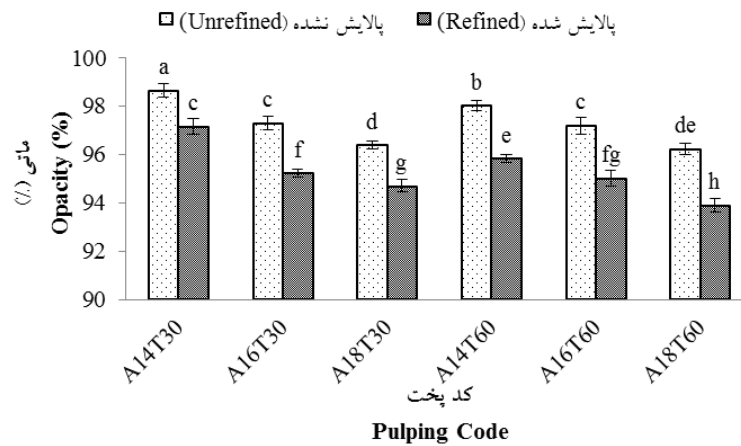
شکل ۵- دانسیته خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف پخت.

Figure 5. Density of pulp obtained from different cooking treatments.

خمیر کاغذ می‌باشد (۸ و ۱۹). ماتی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف آزمایش بیش‌تر از ۹۰ بوده و بیش‌ترین ماتی مربوط به خمیر کاغذ پالایش نشده $A_{14}T_{30}$ (۶۶/۹۸ درصد) و کم‌ترین آن مربوط به خمیر کاغذ پالایش شده $A_{18}T_{60}$ (۹۱/۹۳ درصد) می‌باشد.

ویژگی‌های نوری کاغذ دست‌ساز

ماتی: با توجه به نتایج، ماتی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف با افزایش قلیائیت، زمان پخت و هم‌چنین اعمال پالایش کاهش معنی‌داری یافته است ($P < 0.05$ ، شکل ۶) که دلیل آن کاهش تفرق نور در نتیجه افزایش سطح اتصال بین الیاف و دانسیته

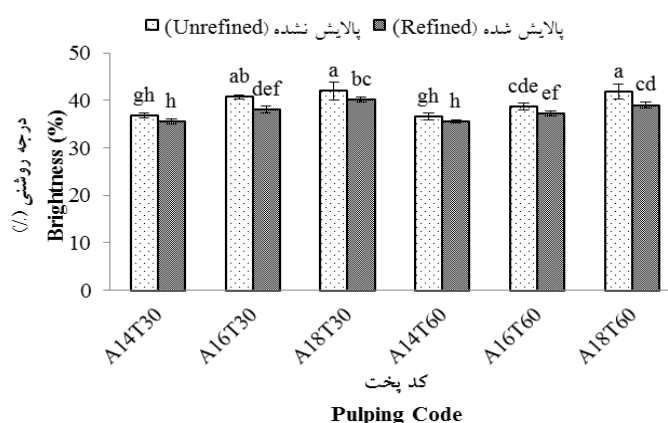


شکل ۶- ماتی خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف پخت.

Figure 6. Opacity of pulp obtained from different cooking treatments.

بین ۴۲-۳۵/۶ درصد بوده که در محدوده عدد کاپای برابر، از محدوده درجه روشنی خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون کنف (۲۴-۲۶ درصد) گزارش شده توسط اسدالله‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) (۷) بیش‌تر و تقریباً معادل با درجه روشنی خمیرکاغذ سودا میسکانتوس (۴۰-۳۵ درصد) گزارش شده توسط دانیلوویچ و همکاران (۲۰۱۸) می‌باشد (۱۸) که نشان می‌دهد درجه روشنی خمیرکاغذ حاصل از این گیاه پس از پخت، قابل مقایسه با دیگر گیاهان غیرچوبی می‌باشد.

درجه روشنی کاغذ دست‌ساز: نتایج نشان داد که افزایش قلیائیت از ۱۴ به ۱۸ درصد موجب افزایش معنی‌دار درجه روشنی خمیرکاغذ می‌شود ($P < 0.05$). شکل ۷) که احتمالاً دلیل آن افزایش درصد حذف لیگنین در نتیجه افزایش غلظت یون OH^- در محیط واکنش می‌باشد (۸ و ۱۷)، درحالی‌که با اعمال پالایش و افزایش زمان پخت، میزان درجه روشنی خمیرکاغذها تغییر معنی‌داری را نشان نداده است. دامنه درجه روشنی خمیرکاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف



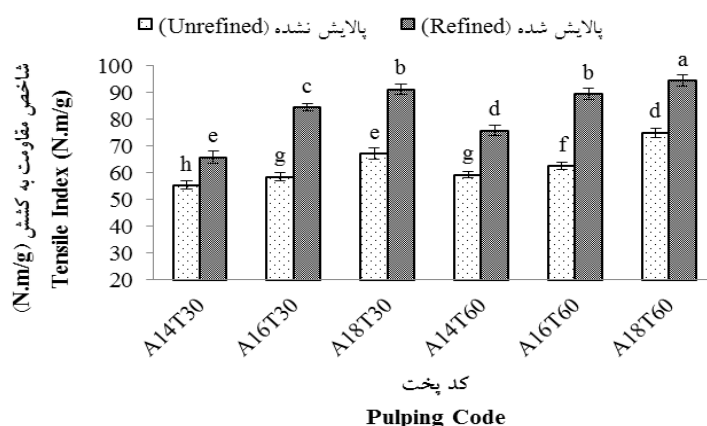
شکل ۷- درجه روشنی خمیرکاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف پخت.

Figure 7. Brightness of pulp obtained from different cooking treatments.

$A_{16}T_{60}$ (۸۹/۵۸- N.m/g)، $A_{18}T_{60}$ (۹۴/۵۳- N.m/g)، $A_{16}T_{30}$ و $A_{18}T_{30}$ (۹۱/۳۵- N.m/g) بوده است. شاخص مقاومت به کشش کاغذهای ساخته شده از خمیرکاغذهای حاصل از تیمارهای مذکور، از بیش‌ترین شاخص مقاومت به کشش خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون کنف، بامبو، باگاس، کاه گندم (به ترتیب ۷۶، ۷۵/۶۶، ۸۵/۴۱ و ۵۳/۵- N.m/g) گزارش شده توسط فردوس و همکاران (۲۰۲۱)، بیش‌تر بوده است (۲۰) که نشان‌دهنده این است که شاخص مقاومت به کشش خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ترجین، تحت شرایط تیمارهای مذکور معادل و بیش‌تر از بسیاری از گیاهان غیرچوبی متداول برای تولید خمیر و کاغذ می‌باشد.

ویژگی‌های مقاومتی

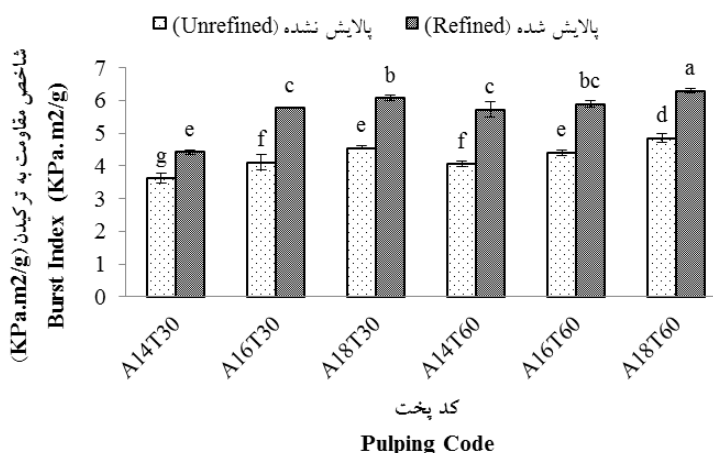
شاخص مقاومت به کشش: نتایج نشان داد که با افزایش قلیائیت از ۱۴ به ۱۸ درصد و زمان پخت از ۳۰ به ۶۰ دقیقه و همچنین اعمال پالایش، شاخص مقاومت به کشش خمیرکاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف افزایش معنی‌داری می‌یابد که ($P < 0.05$). شکل ۸) که احتمالاً دلیل آن افزایش سطح اتصال بین الیاف در نتیجه افزایش میزان آب‌دوستی و انعطاف‌پذیری الیاف خمیرکاغذ پس از حذف لیگنین در طول پخت و همچنین افزایش فیبرله شدن سطح الیاف پس از پالایش می‌باشد (۸ و ۱۹). بیش‌ترین شاخص مقاومت به کشش مربوط به خمیرکاغذ پالایش شده تیمارهای



شکل ۸- شاخص مقاومت به کشش خمیرکاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف پخت.
 Figure 8. Tensile index of pulp obtained from different cooking treatments.

شاخص مقاومت به کشش (۶/۳۰ KPa.m²/g) A_{۱۸}T_{۶۰} بوده که از بیش‌ترین شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ ساخته‌شده از خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون کنف، بامبو، باگاس و کاه گندم (به ترتیب ۴/۴۷، ۵/۱۶، ۴/۹۰ و KPa.m²/g (۳/۱۱) گزارش‌شده توسط فردوس و همکاران (۲۰۲۱) بیش‌تر بوده است (۲۰) که نشان‌دهنده این است که شاخص مقاومت به ترکیدن خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ترجین تحت شرایط تیمارهای مذکور بیش‌تر از بسیاری از گیاهان غیرچوبی متداول برای تولید خمیر و کاغذ می‌باشد.

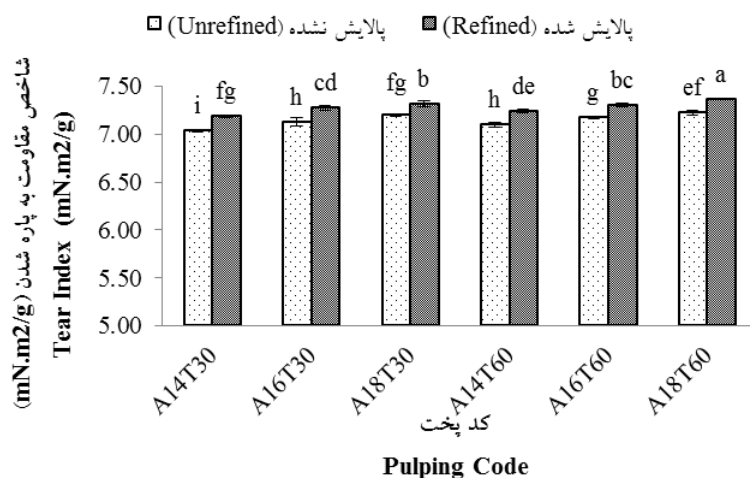
شاخص مقاومت به ترکیدن: بر اساس نتایج، با افزایش قلیائیت و زمان پخت و همچنین اعمال پالایش شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای ساخته‌شده از خمیرکاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف افزایش معنی‌داری یافته است ($P < 0.05$). شکل ۹) که دلایل آن همان مواردی هستند که در بخش فوق ذکر و تشریح شده و موجب افزایش شاخص مقاومت به کشش شده‌اند. بیش‌ترین شاخص مقاومت به ترکیدن، مربوط به کاغذهای ساخته‌شده از خمیرکاغذ پالایش‌شده حاصل از تیمارهای A_{۱۸}T_{۶۰} (۶/۰۸ KPa.m²/g) و A_{۱۶}T_{۶۰} (۵/۹۱ KPa.m²/g)



شکل ۹- شاخص مقاومت به ترکیدن خمیرکاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف پخت.
 Figure 9. Burst index of pulp obtained from different cooking treatments.

تیمارهای مذکور از بیش‌ترین شاخص مقاومت به پاره شدن خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون بامبو و باگاس (به ترتیب ۶/۸۵ و ۵/۹۸ $\text{mN.m}^2/\text{g}$) گزارش شده توسط فردوس و همکاران (۲۰۲۱) (۲۰) بیش‌تر بوده، ولی از شاخص مقاومت به پاره شدن خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون کف ($10/66 \text{ mN.m}^2/\text{g}$) گزارش شده توسط اسدالله‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) کم‌تر بوده است (۷)؛ که نشان‌دهنده این است که شاخص مقاومت به پاره شدن خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون ترجیح تحت شرایط تیمارهای مذکور بیش‌تر از بسیاری از گیاهان غیرچوبی متداول برای تولید خمیر و کاغذ بوده و درعین حال شاخص مقاومت به پاره شدن آن می‌تواند از برخی دیگر از گیاهان غیرچوبی نیز کم‌تر باشد.

شاخص مقاومت به پاره شدن: نتایج نشان داد که شاخص مقاومت به پاره شدن خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف با افزایش قلیائیت و زمان پخت و همچنین اعمال پالایش به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است ($P < 0/05$ ، شکل ۱۰) که دلیل آن افزایش آبدوستی، انعطاف‌پذیری، لهیدگی و میزان سطح اتصال بین الیاف در نتیجه افزایش میزان حذف لیگنین (در طول پخت) و فیبریله شدن سطح الیاف (پس از پالایش) می‌باشد (۱۷ و ۱۹). بیش‌ترین شاخص مقاومت به پاره شدن مربوط به کاغذ دست‌ساز ساخته شده از خمیر کاغذ پالایش شده حاصل از تیمارهای $A_{16}T_{60}$ ($7/37 \text{ mN.m}^2/\text{g}$)، $A_{18}T_{60}$ ($7/32 \text{ mN.m}^2/\text{g}$) و $A_{18}T_{30}$ ($7/30 \text{ mN.m}^2/\text{g}$) بوده است. مقادیر شاخص مقاومت به پاره شدن



شکل ۱۰- شاخص مقاومت به پاره شدن خمیر کاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف پخت.

Figure 10. Tear index of pulp obtained from different cooking treatments.

برخی موارد هم‌چون طول الیاف قابل‌مقایسه با ویژگی‌های پهن‌برگان نیز می‌باشد. با توجه به نتایج، با افزایش درصد قلیائیت و زمان واکنش بازده، عدد کاپا و همچنین درجه روانی خمیر کاغذ کاهش می‌یابد. بر طبق نتایج، استفاده از پالایش و افزایش درصد قلیائیت و زمان پخت موجب افزایش دانسیته، کاهش

نتیجه‌گیری

این پژوهش باهدف بررسی پتانسیل ترجیح به‌عنوان یک ماده قابل‌استفاده در صنعت کاغذسازی انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که ترجیح از ویژگی‌های مورفولوژیکی و شیمیایی بهتری نسبت به بسیاری از گیاهان غیرچوبی برخوردار بوده و در

۱۶ درصد به مدت ۶۰ دقیقه پخت شده و سپس تحت پالایش قرار گرفتند، از بهترین ویژگی‌ها برخوردار بودند. به‌طور کلی ترجیح از ویژگی‌های کاغذسازی خوبی برخوردار بوده و مقادیر ویژگی‌های آن پس از پالایش، معادل و یا حتی بهتر از بسیاری از گیاهان غیرچوبی متداول برای کاغذسازی بوده و در نتیجه، می‌توان ترجیح را به‌عنوان یکی از منابع اولیه قابل کاربرد در صنایع کاغذسازی پیشنهاد نمود.

ماتی و افزایش ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذهای تولیدی می‌شود. هم‌چنین با توجه به نتایج، با افزایش درصد قلیائیت، درجه روشنی افزایش می‌یابد در حالی که افزایش زمان پخت و هم‌چنین استفاده از تیمار پالایشی تأثیر محسوسی بر درجه روشنی خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ترجیح نمی‌گذارد. با توجه به نتایج، خمیرکاغذهایی که تحت قلیائیت ۱۸ درصد به مدت ۳۰ و ۶۰ دقیقه و هم‌چنین در قلیائیت

منابع

1. Bajpai, P. 2021. Nonwood plant fibers for pulp and paper. Elsevier, 238p.
2. Latibari, A., Khosravani, A., and Rahmaninia, M. 2007. Technology of paper recycling. Aeij Press, Tehran, 540p. (In Persian)
3. Saraeian, A.R., Ghasht-Roodkhani, A.K., Aliabadi, M., and Dahmardeh-Ghaleh, M. 2011. Comparison of soda and kraft pulp properties of Populus deltoids sapwood and heartwood. J. of Wood & Forest Science and Technology. 17: 4. 125-137.
4. Potucek, F., Gurung, B., and Hajkova, K. 2014. Soda pulping of rapeseed straw. Cellulose Chemistry and Technology. 48: 7. 683-691.
5. Danielewicz, D., and Surma-Ślusarska, B. 2019. Miscanthus × Giganteus stalks as a potential non-wood raw material for the pulp and paper industry. Influence of pulping and beating conditions on the fibre and paper properties. Industrial Crops and Products. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111744>.
6. Asadollahzade, M.T., and Resalati, H. 2012. Investigation on soda and soda-aq pulping of whole kenaf. J. of Wood & Forest Science and Technology. 18: 4. 93-110.
7. Ghahreman, A. 1996. Flora of Iran research institute of forests and rangelands. Tehran. V16 :N1973. 253p. (In Persian)
8. Sixta, H. 2006. Hand book of Pulp. Wiley Press, 1352p.
9. Mirshokrai, A. 2000. Handbook of pulp and paper technology. 2nd Ed., Aeij, Tehran, 520p. (Translated In Persian)
10. Franklin, G.L. 1954. A rapid method of softening wood for anatomical analysis. Tropical Woods. 88: 35-36.
11. Hosseini, S.Z. 2000. Fiber morphology in wood and pulp. Gorgan University Of Agricultural Sciences And Natural Resources, Gorgan. 288p. (In Persian)
12. Fakhryan, A., Hosseinzadeh, A., Golbabaie, F., and Hosseinkhani, H. 2004. Investigation on delignification and pulping of Spruce (Picea abies). J. of Wood and Paper Science and Researches. 18: 2. 219-238.
13. Goli, M., Zabihzadeh, M., Asadpour, G., and Barzan, A. 2016. Evaluation alternative in mwpi's newsprint production with mixture of species on the properties of cmp paper. J. of Forest and Wood. 39: 3. 625-635.
14. Ververis, A.C., Georghiou, K., Christodoulakis, N., Santas, P., and Santas, R. 2004. Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. Industrial Crops and Products. 19: 245-254.
15. Ebrahim, Z., Esmaeili, A., Zabihzadeh, M., Dastoorian, F., and Ahmadi, M. 2008. Study on anatomical and chemical properties of rapeseed stem. The First Iranian conference on Supplying Raw Materials and Development of Wood & Paper Industries. Gorgan.

16. Mehri, E., and Ghasemian, A. 2013. Fiber dimensions and chemical properties of bamboo. *Iranian J. of Wood and Paper Science Research*. 29: 2. 335-342.
17. Mirshokrai, A. 2002. *Wood chemistry fundamentals and applications*. 2nd Ed. Aeij, Tehran, 208p. (Translated In Persian)
18. Danielewicz, D., Dybka-Stepien', K., and Surma-Ślusarska, B. 2018. Processing of miscanthus × giganteus stalks into various soda and kraft pulps. Part I: Chemical composition, types of cells and pulping effects. *Cellulose*. 25: 6731-6744.
19. Afra, E. 2006. *Properties of paper*. Aeij press, Tehran, 360p. (Translated in Persian)
20. Ferdous, T., Yonghao, N., Abdul-Quaiyyum, M., Uddin, M.N., and Sarwar-Jahan, M. 2021. Non-wood fibers: relationships of fiber properties with pulp properties. *ACS Omega*. 6: 21613-21622.

