Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Wood and Forest Science and Technology

Print ISSN: 2322-2077
Online ISSN: 2322-2786

Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of stem fibers and pulp obtained from seed flax (*Linum usititassimum* L.)

Mohammadreza Dehghani Firouzabadi*

Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Paper Science and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mdehghani@gau.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 12.19.2023
Revised: 01.21.2024
Accepted: 01.22.2024

Keywords:
Flax,
Planting distance,
Pulping,
SEW process,
Soda process

ABSTRACT

Background and Objectives: While the primary objective of cultivating of seed flax (*Linum usititassimum* L.) is to produce seeds and extract oil, the plant's significant quantities of long bast fibers also make it a favorable source for papermaking industries. The aims of this study were to assess the quantitative and qualitative characteristics of seed flax and analyze its pulping properties, while exploring the impact of planting distance on these identified characteristics.

Materials and Methods: This study was conducted at the UPark farm of the University of Maine, USA, spanning from May to August 2015. The experiments followed a split-plot design within a randomized complete block layout. The primary factors consisted of four planting distances (9.0, 5.1, 2.2, and 4.4 cm), while the secondary factors included three harvest times (50, 75, and 100 days after planting). The distance between the planting rows was set at 4.25 cm, and each plot was comprised of five rows, each measuring 2 m in length. For each plot, the diameter and length of stems were measured for 30 samples extracted from the three middle rows at 50, 75, and 100 days after planting. Following the sample harvest, various plant components (core, stem bast, leaves, roots, and fruit capsules) were measured, and their respective weights and weight percentages per hectare were calculated in the laboratory. Additionally, fiber biometrics analyses were conducted on the stem bast and core. Pulping experiments were performed using the bast and the whole stem using two methods: SO_2-ethanol-water (SEW) and soda. All statistical analyses were carried out utilizing the SPSS software, and the means were compared using the Duncan test at significance levels of 1% and 5%.

Results: The results of the ANOVA indicated that the individual effects of different factors on the length and diameter of seed flax stems were significant at the 1% level, while their interaction was not significant. Increasing the planting distance led to higher yields of stem, root, leaf, and fruit capsules. Despite a decrease in the percentage of seed flax stem bast from 33% to 25.4% when the planting distance increased from 0.9 cm to 4.4 cm, the overall stem yield showed a significant increase. Notably, the longest bast and core fibers (4700 µm and 608 µm, respectively) were observed at a planting distance of 0.9 cm, while the shortest fibers (4080 µm and 510 µm, respectively) were at 4.4 cm. The pulping experiments conducted using the whole stem with soda and SEW methods demonstrated that the highest and lowest yields were 62.9% and 48.57%, respectively, achieved at cooking times of 30 and 90 minutes in the SEW process. The ANOVA results indicated that the independent effects of planting distance

and stem components on the Kappa number of the resulting SEW pulps were significant at the 5% and 1% levels, respectively. The highest Kappa number (62.12) was associated with the pulp obtained from the core of seed flax planted at a distance of 4.4 cm, while the lowest (14.88) was associated with the bast of seed flax planted at a distance of 0.9 cm. The Duncan test revealed no significant difference in the Kappa values of the pulp obtained from the core of seed flax planted at distances of 0.9 and 4.4 cm.

Conclusion: Increasing the planting distance of seed flax positively influences the yield of both bast and core of the stem. However, qualitatively, the length of bast and core fibers decreases, with the length of bast fibers consistently being approximately 8 times longer than that of core fibers. In terms of pulping, both the Kappa value and the yield of SEW pulp obtained from the bast and the core of the stem increases.

Cite this article: Dehghani Firouzabadi, Mohammadreza. 2024. Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of stem fibers and pulp obtained from seed flax (*Linum usititassimum* L.). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 30 (4), 39-56.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JWFST.2024.22004.2049
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۷۷
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۸۶

ارزیابی ویژگی‌های کمی و کیفی الیاف ساقه بزرک (*Linum usititassimum* L.) و خمیر کاغذ حاصل از آن‌ها

محمدرضا دهقانی فیروزآبادی*

نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mdehghani@gau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۸
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۲

واژه‌های کلیدی:
بزرک،
خمیرسازی،
فاصله کاشت،
فرآیند سودا،
فرآیند SEW

چکیده

سابقه و هدف: اگرچه، هدف اصلی از کشت گیاه بزرک (*Linum usititassimum* L.)، تولید بذر و استخراج روغن از آن است، اما مقادیر قابل‌توجه الیاف بلند پوست ساقه این گیاه می‌تواند منبع بسیار مناسب الیاف بلند مورد استفاده در صنایع کاغذسازی باشد. در این پژوهش سعی گردیده است که علاوه بر بررسی ویژگی‌های کمی، کیفی و خمیرسازی گیاه بزرک، به اثر فاصله کاشت این گیاه بر روی این ویژگی‌ها نیز توجه گردد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در ماه‌های مه تا اوت ۲۰۱۵ در مزرعه UPark دانشگاه مین امریکا اجرا شد. آزمایش‌ها با استفاده از کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت. فاکتورهای اصلی شامل ٤ فاصله کاشت (۰/۹، ۱/۵، ۲/۲ و ٤/٤ سانتی‌متر) و فاکتورهای فرعی شامل ۳ زمان برداشت (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ روز پس از کشت) بودند. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۵/٤ سانتی‌متر و هر کرت شامل ۵ ردیف به طول ۲ متر بود. در زمان‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ روز پس از کاشت، قطر و طول ساقه ۳۰ نمونه از هر سه ردیف میانی هر کرت اندازه‌گیری شد. پس از برداشت نمونه‌ها، اجزای مختلف گیاه (مغز ساقه، پوست ساقه، برگ، ریشه و کپسول میوه) در آزمایشگاه اندازه‌گیری و درصد وزنی آن‌ها در هر هکتار محاسبه شد. هم‌چنین، بیومتری الیاف پوست و مغز ساقه نیز انجام گرفت. آزمایش‌های خمیرسازی نیز از پوست و کل ساقه با دو روش دی‌اکسید گوگرد- اتانول- آب (SEW) و سودا صورت گرفت. تمام آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۱ و ۵ درصد انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر عوامل متغیر بر طول و قطر ساقه بزرک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود، درحالی‌که اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود. افزایش فاصله کاشت منجر به عملکرد بیش‌تر ساقه، ریشه، برگ و کپسول میوه شد. با وجود کاهش درصد پوست ساقه بزرک

از ۳۳ به ۲۵/٤ درصد زمانی که فاصله کاشت از ۰/۹ سانتی‌متر به ٤/٤ سانتی‌متر افزایش یافت، عملکرد کلی ساقه به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. بیش‌ترین الیاف پوست و مغز (به ترتیب ٤۷۰۰ و ٦۰۸ میکرون) در فاصله کاشت ۰/۹ سانتی‌متر و کم‌ترین آن‌ها (به ترتیب ٤۰۸۰ و ۵۱۰ میکرون) در فاصله کاشت ٤/٤ سانتی‌متر مشاهده شد. نتایج خمیرسازی از کل ساقه بزرک به دو روش سودا و SEW نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین درصد بازده به ترتیب با مقادیر ٦۲/۹ و ٤۸/۵۷ درصد مربوط به زمان‌های ۳۰ و ۹۰ دقیقه فرآیند SEW می‌باشد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد اثرات مستقل فاصله کاشت و اجزای ساقه بر عدد کاپای خمیر SEW به ترتیب در سطوح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین عدد کاپای خمیر (٦۲/۱۲) مربوط به خمیر حاصل از مغز بزرک کاشته شده در فاصله ٤/٤ سانتی‌متر بود، درحالی‌که کم‌ترین آن (۱٤/۸۸) مربوط به پوست بزرک با فاصله کاشت ۰/۹ سانتی‌متر بود. طبق گروه‌بندی آزمون دانکن، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر عدد کاپای خمیر حاصل از مغز کتان کاشته‌شده در فواصل ۰/۹ و ٤/٤ سانتی‌متری مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: با افزایش فاصله کاشت گیاه بزرک: به لحاظ کمی، عملکرد پوست و مغز ساقه افزایش می‌یابد. به لحاظ کیفی، طول الیاف پوست و مغز کاهش می‌یابد؛ به‌گونه‌ای که همواره طول الیاف پوست در حدود ۸ برابر طول الیاف مغز می‌باشد. به لحاظ خمیرسازی نیز عدد کاپا و بازده خمیر SEW حاصل از پوست و هم‌چنین مغز ساقه افزایش می‌یابد.

استناد: دهقانی فیروزآبادی، محمدرضا (۱۴۰۲). ارزیابی ویژگی‌های کمی و کیفی الیاف ساقه بزرک (*Linum usititassimum* L.) و خمیر کاغذ حاصل از آن‌ها. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۳۰ (۴)، ۵۶-۳۹.
DOI: 10.22069/JWFST.2024.22004.2049

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

در کشورهایی که منابع محدود الیاف لیگنوسلولزی دارند، اقدامات مختلفی برای یافتن منابع لیگنوسلولزی جدید انجام شده است. از جمله مهم‌ترین این اقدامات می‌توان به بازیافت فرآورده‌های کاغذی، مدیریت اصولی جنگل‌ها، توسعه زراعت چوب، استفاده از پسماندهای کشاورزی برای جبران بخشی از کمبود ماده اولیه اشاره نمود (۱ و ۲). این کمبود عمدتاً به عوامل مختلفی از جمله دسترسی محدود به شیوه‌های کشاورزی مدرن، زیرساخت‌های ناکافی برای تولید زیست‌توده کارآمد و تقاضاهای رقابتی برای استفاده از زمین نسبت داده می‌شود. از سوی دیگر، نیاز فزاینده‌ای در جهان برای در نظر گرفتن استراتژی‌های کشاورزی جایگزین وجود دارد که صنعت کشاورزی را که صرفاً بر تولید مواد غذایی متمرکز بوده است به سمتی سوق دهد که نیازهای سایر بخش‌های صنعتی مانند کاغذسازی و نساجی را نیز تأمین کند؛ بنابراین، الیاف غیرچوبی می‌توانند به‌عنوان مواد اولیه مهم لیگنوسلولزی و صنعتی به‌شمار آیند (۳). استفاده از الیاف غیرچوبی در تولید کاغذ به‌دلیل تغییر در سیاست‌های کشاورزی، مسائل تأمین چوب و جنبه‌های زیست‌محیطی توسط سازمان‌های مختلف جهانی نیز توصیه می‌شود (٤).

یکی از قدیمی‌ترین الیاف گیاهی چندمنظوره مورد استفاده در صنایع کاغذسازی و نساجی، الیاف گیاه *Linum usititassimum* می‌باشد (۵). بزرک با نام انگلیسی Seed flax یکی از دو تیپ رشدی این گیاه می‌باشد که برای استخراج روغن و تولید بذر کشت می‌گردد. ساقه این ژنوتیپ، کوتاه، دارای انشعابات فراوان و درنتیجه، عملکرد دانه زیاد است، ولی کیفیت الیاف آن‌ها مناسب صنایع ریسندگی نمی‌باشد. تیپ دیگر رویشی این گیاه، کتان با نام انگلیسی Fiber flax است که برای تولید الیاف از ساقه کاشته می‌شود. ساقه‌های این ژنوتیپ بلند است و فقط در ناحیه فوقانی ساقه دارای انشعابات محدودی می‌باشد. عملکرد دانه کتان کم است، اما دارای الیاف بلند، نرم و با کیفیت مناسب برای صنایع ریسندگی است (٦، ۷، ۸). کتان بعد از پنبه به‌طور گسترده برای اهداف فیبر استفاده شده است. با افزایش استفاده از پنبه و منابع الیاف مصنوعی، سطح کشت الیاف کتان در سراسر جهان به‌سرعت کاهش یافت. علاوه‌بر استفاده مستقیم از دانه کتان به‌عنوان غذا در محصولات غذایی، از آن به‌عنوان روغن صنعتی، روغن پخت‌وپز نیز استفاده می‌شود. هم‌چنین، بقایای آن که حاوی مواد غذایی غنی است به‌عنوان خوراک دام و مکمل غذا قابل‌استفاده می‌باشد (۸).

۸۹٦٦۳٦ تن الیاف کتان در مساحتی به وسعت ۲٤۱۱۰۳ هکتار در جهان تولید می‌شود که تقریباً ۹۵/۵ درصد تولید آن در اروپا و بقیه در کشورهای آسیایی، آفریقایی و آمریکای جنوبی صورت می‌گیرد. سه کشور برتر تولیدکننده الیاف کتان فرانسه (٦۷۸۳۹۰ تن)، بلژیک (۸۷۰۰۰ تن) و بلاروس (۳٥٦۸۲ تن) هستند. پس‌ازاین کشورها چین، فدراسیون روسیه، بریتانیا، هلند و مصر قرار دارند (۹).

عملکردهای مطلوب بذر در بزرک و کتان به‌ترتیب ۱/۵ و ۰/۸ تن در هکتار می‌باشد. تولید حدود یک تن الیاف در هکتار برای کتان نیز انتظار می‌رود. ارتفاع بوته در بزرک معمولاً از ٤۰ تا ۹۰ سانتی‌متر است، اما ارتفاع بوته کتان تا ۱٥۰ سانتی‌متر نیز می‌رسد (۷). الگوهای کاشت مناسب (فاصله بین ردیف‌ها و بین بوته‌ها) می‌تواند عامل تعیین‌کننده در تهیه فضای فضایی مناسب برای رشد گیاهان و عملکرد در نظر گرفته شود. در صورت وجود تراکم زیاد، رشد آن‌ها باعث کاهش قطر ساقه‌ها و خوابیدن

آن‌ها می‌شود، درحالی‌که در تراکم‌های کم، شاخه‌های ثانویه و کپسول‌های بذر بیش‌تری تولید می‌گردد. افزایش تراکم گیاه برای تولید الیاف کتان با کیفیت بالا توصیه می‌شود (۸، ۱۰، ۱۱). مطالعات قبلی نشان داده است که تنوع در جمعیت گیاه منجر به تفاوت معنی‌دار در عملکرد می‌شود (۸ و ۱۲). تراکم بوته تأثیر قابل‌توجهی بر پارامترهای مورفولوژیکی ساقه کتان الیافی دارد. بر اساس گزارش‌های قبلی، فاصله کاشت تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد گیاه، الیاف و بذر کتان دارد (۱۳).

اگرچه، هدف اصلی از کشت بزرک، تولید بذر و استخراج روغن از آن می‌باشد، اما مقادیر قابل‌توجه پوست ساقه لیفی این گیاه (هرچند کم‌تر از کتان است) می‌تواند منبع بسیار مناسب الیاف بلند مورد استفاده در صنایع کاغذسازی برای کشورهایی مانند ایران که فاقد جنگل‌های سوزنی‌برگ هستند، باشد. در این پژوهش، سعی شده است که علاوه بر بررسی ویژگی‌های کمی، کیفی و خمیرسازی گیاه بزرک، به اثر فاصله کاشت این گیاه بر روی این ویژگی‌ها نیز توجه گردد.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل کشت: امور کاشت، داشت و برداشت این پژوهش در ماه‌های می (اردیبهشت) الی آگست (مرداد) سال ۲۰۱۵ در مزرعه UPark دانشگاه مین (شهر اورونو، ایالت مین، آمریکا) با عرض جغرافیایی ٤٤ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٦۸ درجه و ٤۰ دقیقه غربی با ارتفاع ۳۸ متر از سطح دریا انجام گردید.

طراحی آزمایش‌ها: آزمایش‌های به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (برای بررسی اثرات بلوک‌ها بر ویژگی‌های کمی و کیفی) و فاکتوریل (برای بررسی اثرات مستقل و متقابل فاصله کاشت و زمان برداشت) انجام گردید. فاکتور اصلی شامل ٤ فاصله کاشت (۰/۹، ۱/۵، ۲/۲ و ٤/٤ سانتی‌متر) و فاکتور فرعی شامل ۳ زمان برداشت (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ روز پس از کشت) بود (شکل ۱- الف). فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۵/٤ سانتی‌متر و هر کرت شامل ۵ ردیف به طول ۲ متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در ٤ می ۲۰۱۵ (۲٤ اردیبهشت ۱۳۹٤) به‌صورت دستی انجام گردید. برای جلوگیری از اثرات ناشی از تنش‌های خشکی، هر روز آبیاری انجام گردید. در زمان‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ روز با استفاده از کولیس دیجیتالی و متر، قطر و طول ساقه ۳۰ نمونه از هر سه ردیف میانی هر کرت اندازه‌گیری شد (شکل ۱- ب و ج). مطابق عملیات قبلی، برای اندازه‌گیری عملکرد نهایی، نمونه‌برداری از ردیف‌های ۲ الی ٤ هر کرت و با حذف ۳۰ سانتی‌متر از انتهای هر دو ردیف انجام گردید (شکل ۱- د). پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و تفکیک اجزای آن، وزن خشک‌شده در آون مغز ساقه، پوست ساقه، برگ، ریشه و کپسول میوه در هر هکتار اندازه‌گیری و محاسبه شد.

شکل ۱- (الف) کرت‌بندی زمین با فواصل کاشت مختلف، (ب) اندازه‌گیری قطر ساقه، (ج) اندازه‌گیری طول ساقه و (د) نمونه‌های برداشت‌شده از کرت‌ها.

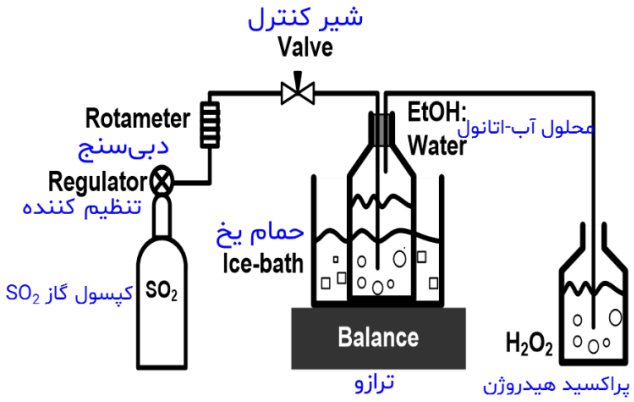
Figure 1. (A) Plotting the land with different planting distances, (B) stem diameter measurement, (C) stem length measurement and (D) samples harvested from the plots.

بیومتری الیاف: به‌منظور بیومتری الیاف پوست و مغز ساقه بزرک، الیاف این بخش‌های تفکیک‌شده از یکدیگر، با استفاده از روش فرانکلین وابری گردید. به کمک چشمی مدرج، لام میلی‌متری و میکروسکوپ نوری طول و قطر ۱۲۰ فیبر پوست و مغز ساقه بزرک هر کرت اندازه‌گیری شد.

آنالیز شیمیایی مواد اولیه: نمونه‌های مورد نیاز با ابعاد استاندارد برای آنالیز ترکیبات شیمیایی (پودر پوست و مغز ساقه بزرک) به‌روش TAPPI T 257 cm-85 تهیه شد. مقدار سلولز با استفاده از روش Kürschner-Hoffer تعیین گردید. مواد استخراجی محلول در الکل- استن و لیگنین‌های محلول و غیرمحلول در اسید به‌ترتیب براساس دستورالعمل‌های T 204 cm-97، T um-250 و T 222 om-02 استاندارد TAPPI اندازه‌گیری شدند.

عملیات خمیرسازی: آزمایش‌های خمیرسازی در دو بخش انجام گرفت. در بخش اول، برای مقایسه اثر روش خمیرسازی (روش‌های SEW و سودا) بر ویژگی‌های خمیر، از کل ساقه گیاه همه کرت‌ها به نسبت مساوی خرده‌هایی تهیه گردید. برای تهیه ۱۲۰ میلی‌لیتر مایع پخت SEW در نظر گرفته شده برای هر دیگ پخت، از نسبت گاز دی‌اکسید گوگرد: اتانول: آب به ترتیب (از راست به چپ) برابر با ۱۲: ٤۳/٥: ٤٤/٥ (درصد وزنی/ وزنی) استفاده گردید. تزریق گاز دی‌اکسید گوگرد به مقدار ۱۲ درصد حجم کل مایع پخت (معادل ۱٤/٤ گرم) در حمام یخ صورت گرفت (۱٤) (شکل ۲). دمای خمیرسازی ۱۳٥ درجه سانتی‌گراد، نسبت مایع پخت به ماده لیگنوسلولزی معادل ٦ به ۱ و زمان خمیرسازی در دمای بیشینه پخت، ۳۰، ٦۰ و ۹۰ دقیقه در نظر گرفته شد (لازم به ذکر است که زمان رسیدن دمای دایجستر از دمای محیط آزمایشگاه به دمای بیشینه پخت ۱۳٥ درجه سانتی‌گراد، ۲۰ دقیقه بود). برای پخت سودا، از قلیاییت فعال ۲۰ درصد بر مبنای NaOH استفاده گردید. بقیه شرایط خمیرسازی سودا مشابه با خمیرسازی SEW در نظر گرفته شد. پس از عملیات پخت، شستشوی خمیرهای SEW با محلول آب- اتانول ٤۰ درصد حجمی در دمای ٦۰ درجه

سانتی‌گراد انجام شد (۱۵). شستشوی خمیرهای سودا نیز با آب گرم صورت گرفت (شکل ۳). در بخش دوم، به‌منظور بررسی اثر متقابل فاصله کاشت × اجزای ساقه بر ویژگی‌های خمیر SEW، پوست و مغز ساقه کرت‌های با کم‌ترین و بیش‌ترین فاصله کاشت (به ترتیب ۰/۹ و ٤/٤ سانتی‌متر) کاملاً از همدیگر جدا گردید. سپس در زمان ٦۰ دقیقه عملیات خمیرسازی SEW با خرده‌های پوست و مغز جدا شده، مطابق با شرایط آزمایش قبلی انجام گرفت.



شکل ۲- عملیات تزریق گاز دی‌اکسید گوگرد به محلول آب- اتانول جهت تهیه مایع پخت سفید SEW (۱۵).

Figure 2. Operation of injecting SO_2 gas into water-ethanol solution to prepare SEW white liquor (15).

شکل ۳- خمیرهای حاصل از پخت SEW (الف) و سودا (ب) قبل از شستشو.

Figure 3. Pulps obtained from (A) SEW and (B) soda prior to washing.

آنالیز خمیر: بازده خمیر غربال‌شده با توجه به استاندارد T 210 cm-03 آیین‌نامه TAPPI تعیین گردید. هم‌چنین، درصد وازده در طول غربال مرطوب (یعنی ذراتی که از مش شماره ۲۰ یا منافذ ۰/۸٤۱ میلی‌متری عبور نکردند) اندازه‌گیری شد. تعیین عدد کاپای نمونه‌های خمیر نیز با استفاده از استاندارد T 236 cm-99 آیین‌نامه TAPPI انجام شد.

روش تجزیه‌وتحلیل آماری: پژوهش حاضر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی طرح‌ریزی شد. در انتهای آزمایش‌ها تمامی اطلاعات در نرم‌افزار Excel سازماندهی و برای تهیه نمودارها نیز از این نرم‌افزار استفاده گردید. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل اطلاعات به‌دست‌آمده ضمن رعایت پیش‌فرض‌های لازمه مانند نرمال‌بودن داده‌ها (آزمون کولموگروف- اسمیرنوف)،

از آنالیز واریانس توسط نرم‌افزار SPSS 24 استفاده شد. هم‌چنین، به‌منظور گروه‌بندی میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن (DMRT) در سطح ۱ و ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تعیین ترکیبات شیمیایی ماده اولیه: به‌طورکلی، الیاف پوست بزرک حاوی مقدار بیش‌تری سلولز در مقایسه با الیاف مغز آن است. مقدار لیگنین غیرمحلول در اسید (کلاسون) پوست بزرک نسبت به مغز آن بسیار کم‌تر است (جدول ۱). پاسخ مستقیمی به این‌که چگونه فاصله کاشت به‌طور مستقیم بر مقدار سلولز تأثیر می‌گذارد، وجود ندارد، زیرا بخشی از روابط پیچیده فیزیولوژی گیاه و شرایط محیطی است. به‌طورکلی، هنگام کاشت بزرک یا هر گیاه صنعتی و زراعی دیگری، فاصله مناسب بین گیاهان برای اطمینان از رشد بهینه، نفوذ نور و استفاده مؤثر از مواد مغذی ضروری است. کاشت خیلی نزدیک می‌تواند منجر به رقابت برای منابع شود، درحالی‌که فاصله بسیار زیاد ممکن است منجر به استفاده ناکافی از فضای موجود شود. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج به‌دست‌آمده توسط Marques و همکاران (۲۰۱۰)، Hurter و Byrd (۲۰۱۹) و Goudenhooft و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد (۳، ۱۶ و ۱۷).

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی بزرک در فواصل کاشت مختلف.

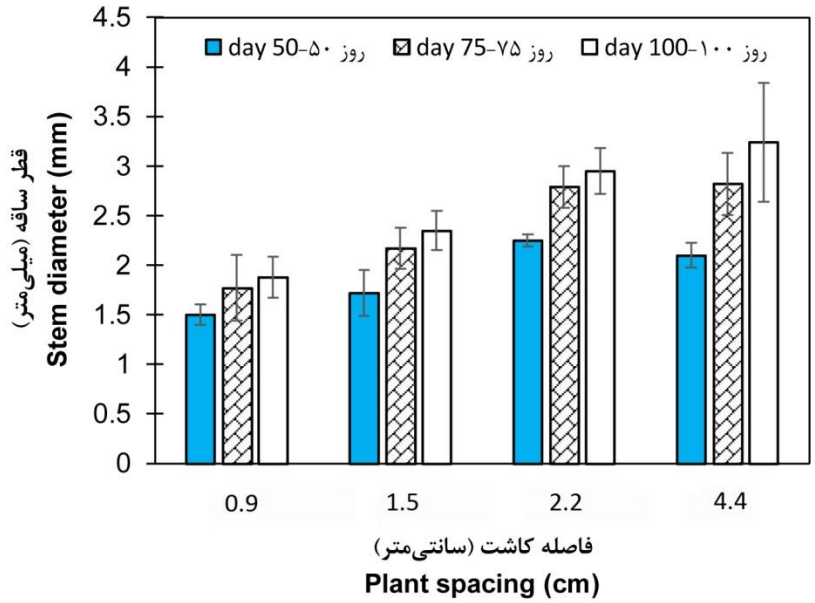
Table 1. Chemical characteristics of seed flax in different planting intervals.

ویژگی‌ها (Characteristics)	فاصله کاشت ۰/۹ سانتی‌متری Planting distance of 0.9 cm		فاصله کاشت ٤/٤ سانتی‌متری Planting distance of 4.4 cm	
	مغز (٪) Core (%)	پوست (٪) Bast (%)	مغز (٪) Core (%)	پوست (٪) Bast (%)
سلولز به‌روش کروشنر هافر (Kurschner-Hoffer's cellulose)	51.84	75.96	48.94	76.68
لیگنین غیرمحلول در اسید (Acid-insoluble lignin)	19.90	3.48	20.79	5.08
لیگنین محلول در اسید (Acid-soluble lignin)	1.77	0.65	2.31	1.15
لیگنین کل (Total lignin)	21.67	4.13	23.10	6.23
مواد استخراجی محلول در الکل- استون (Alcohol-acetone soluble content)	1.86	2.97	2.10	2.50

تأثیر فاصله کاشت و زمان برداشت بر طول و قطر ساقه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات مستقل عوامل متغیر (فاصله کاشت و زمان برداشت) بر قطر ساقه بزرک در سطح ۱ درصد معنی‌دار است؛ اما اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نگردید. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش فاصله کاشت، قطر ساقه به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (p<۰/۰۱). بیش‌ترین قطر ساقه (۳/۲٤ میلی‌متر) در فاصله کاشت ٤/٤ سانتی‌متری و کم‌ترین آن (۱/۵ میلی‌متر) در فاصله کاشت ۰/۹ سانتی‌متری بود (شکل ٤). هم‌چنین نتایج نشان داد با افزایش زمان برداشت، قطر ساقه به‌طور معنی‌دار افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که در همه فواصل کاشت، قطر ساقه به‌طور معنی‌دار از روز ۵۰ به روز ۱۰۰ افزایش یافته است.

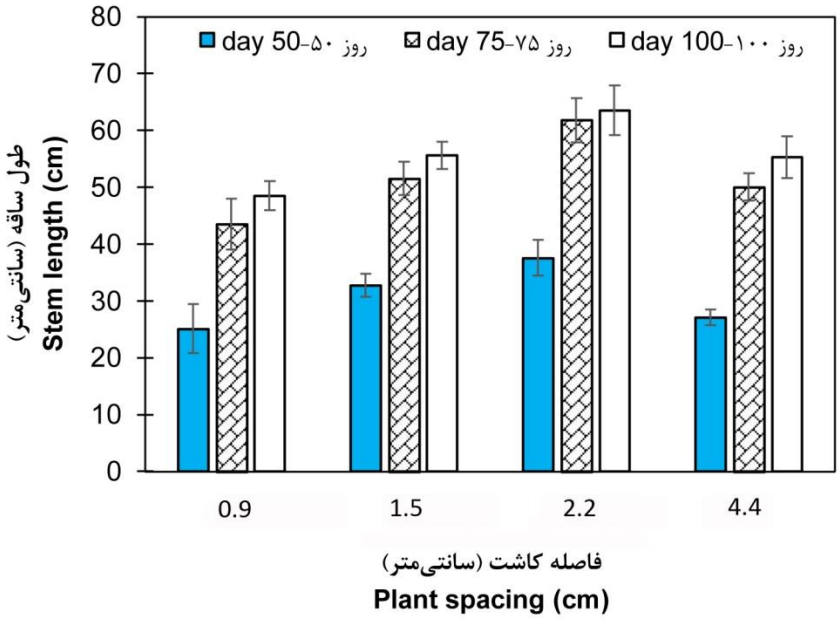
نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات مستقل عوامل متغیر (فاصله کاشت و زمان برداشت) بر طول ساقه بزرک در سطح ۱ درصد معنی‌دار است؛ اما اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نگردید. این بدین معنی

است که ترکیب فاصله کاشت × زمان برداشت نتوانسته است موجب تغییر حالت معنی‌دار طول ساقه گردد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش زمان برداشت، طول ساقه بزرگ به‌طور معنی‌دار افزایش می‌یابد. بیش‌ترین طول ساقه بزرگ (٦۳/۵۲ سانتی‌متر) مربوط به برداشت پس از ۱۰۰ روز و با فاصله کاشت ۲/۲ سانتی‌متری و کم‌ترین آن (۲۵/۱۲ سانتی‌متر) مربوط به برداشت ۵۰ روز و با فاصله کاشت ۰/۹ سانتی‌متری بود (شکل ۵).



شکل ٤- اثر متقابل فاصله کاشت و زمان برداشت بر قطر ساقه.

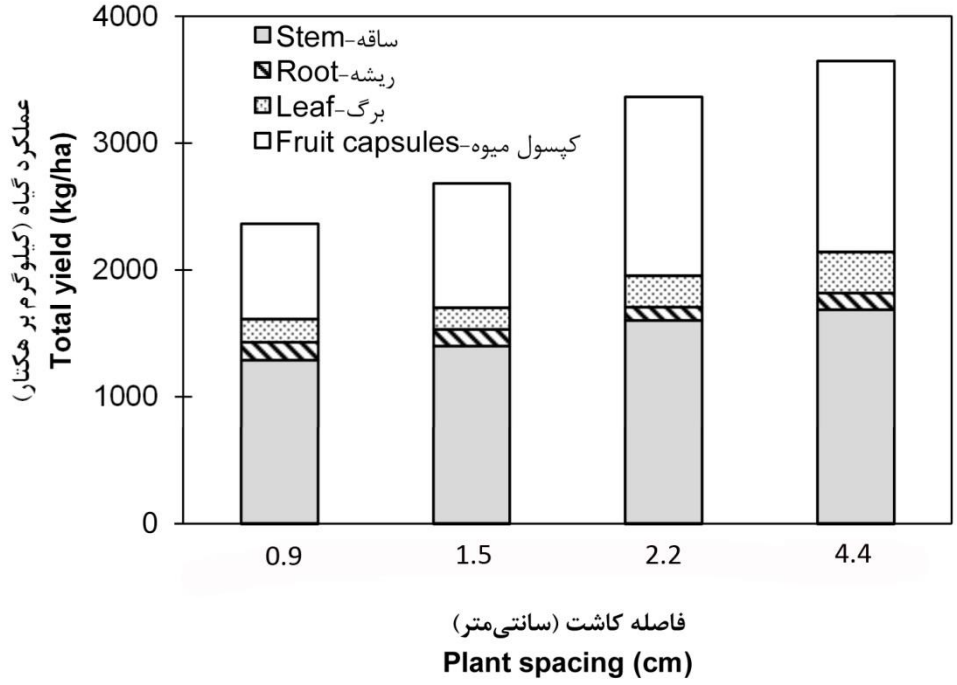
Figure 4. Interaction between planting distance and harvesting time on stem diameter.



شکل ۵- اثر متقابل فاصله کاشت و زمان برداشت بر طول ساقه.

Figure 5. Interaction between planting distance and harvesting time on stem length.

تأثیر فاصله کاشت و زمان برداشت بر عملکرد کل و عملکرد ساقه: نتایج نشان داد با افزایش فاصله کاشت، عملکرد ساقه، ریشه، برگ و کپسول میوه افزایش می‌یابد (شکل ٦). بیش‌ترین عملکرد ساقه (١٦٩١/٤٦ کیلوگرم در هکتار) در فاصله کاشت ٤/٤ سانتی‌متری و کم‌ترین آن (١٢٨٨/٢١ کیلوگرم در هکتار) در فاصله کاشت ٠/٩ سانتی‌متری است. بیش‌ترین عملکرد ریشه (١٤٥/٢٩ کیلوگرم در هکتار) در فاصله کاشت ٠/٩ سانتی‌متری و کم‌ترین آن (١٠٦/٤٥ کیلوگرم در هکتار) در فاصله کاشت ٢/٢ سانتی‌متری است. بیش‌ترین عملکرد برگ (٣٢١/٦٦ کیلوگرم در هکتار) در فاصله کاشت ٤/٤ سانتی‌متری و کم‌ترین آن (١٧٢/٤٩ کیلوگرم در هکتار) در فاصله کاشت ١/٥ سانتی‌متری است. بیش‌ترین عملکرد کپسول میوه (١٥٠٨/٨٧ کیلوگرم در هکتار) در فاصله کاشت ٤/٤ سانتی‌متری و کم‌ترین آن (٧٥٣/٦٦ کیلوگرم در هکتار) در فاصله کاشت ٠/٩ سانتی‌متری است.

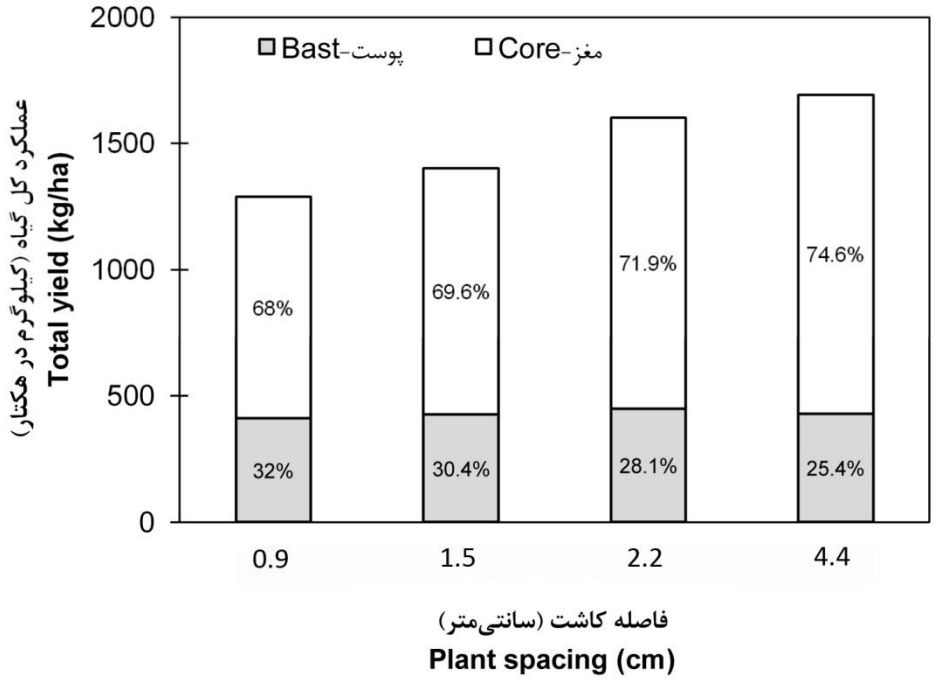


شکل ٦- اثر فاصله کاشت بر عملکرد کل گیاه.

Figure 6. The effect of planting distance on the yield of the whole plant.

نتایج نشان داد با افزایش فاصله کاشت، مقدار عملکرد مغز ساقه بزرک به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای و مقدار عملکرد پوست ساقه این گیاه به میزان اندکی افزایش می‌یابد. با توجه به این موضوع و دقت در شکل ٧، می‌توان نتیجه گرفت که درصد مقدار پوست بزرک با افزایش فاصله کاشت، کاهش می‌یابد. یکی از اهداف اصلی پژوهش‌های کشاورزی، بهبود عملکرد گیاهان در واحد سطح است و با توجه به ویژگی‌های اقلیمی هر منطقه و ارقام به‌کاررفته، انتخاب تراکم مناسب گیاه از راه‌های دستیابی به این هدف می‌باشد. مطابق نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، فاصله کاشت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد داشته است.

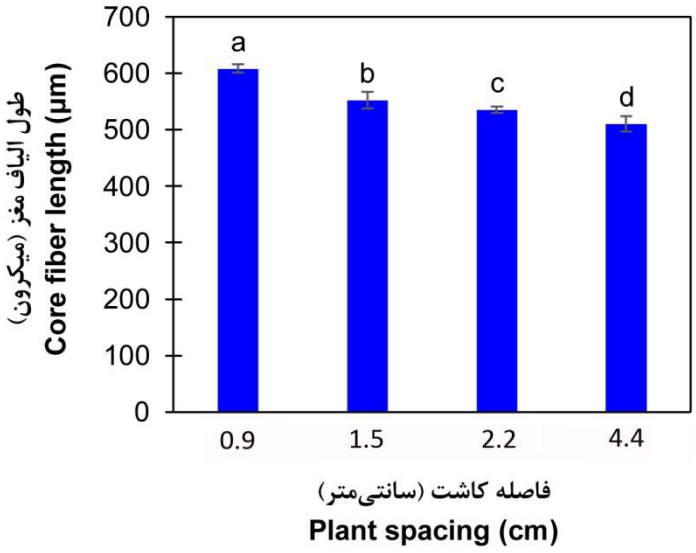
براساس گزارش‌های قبلی، فاصله کاشت تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد، الیاف و دانه کتان دارد (۱۳). درنتیجه رقابت بین بوته‌ها با کاهش فاصله کاشت، طول ساقه، افزایش (۱۸ و ۱۹) و قطر ساقه، تعداد شاخه‌ها و عملکرد بذر کتان کاهش می‌یابد (۲۰). اگرچه رقابت کتان با علف‌های هرز در دوره اول رشد بسیار ضعیف است؛ اما افزایش تراکم گیاه باعث ایجاد اثر سایه‌زنی و سرکوب علف‌های هرز می‌شود (۲۱). عملکرد گیاه کتان (*Linum usititassimum* L.) به‌طور مستقیم با انتخاب تراکم مطلوب ارتباط دارد. به‌طوری‌که انتخاب تراکم مطلوب گیاه می‌تواند موجب عملکرد مناسب در هر هکتار گردد (۸).



شکل ۷- اثر فاصله کاشت بر عملکرد ساقه.

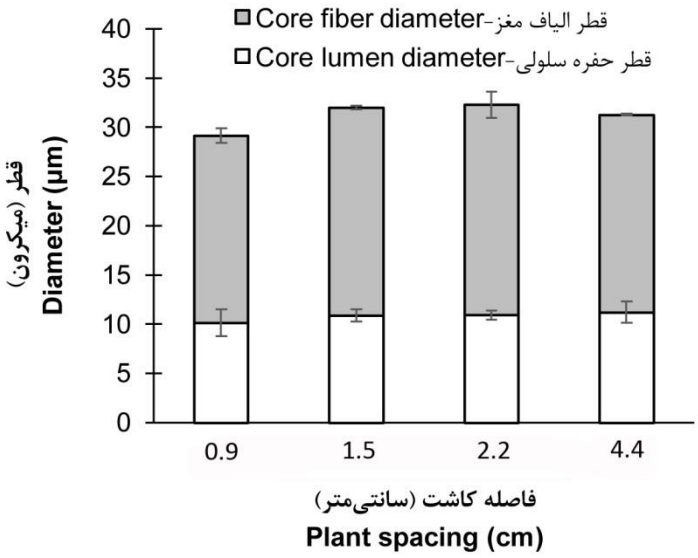
Figure 7. The effect of planting distance on the stem yield.

تأثیر فاصله کاشت بر طول الیاف مغز ساقه بزرک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد طول الیاف مغز ساقه بزرک بین فواصل کاشت مختلف در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش فاصله کاشت، طول الیاف مغز بزرک به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (p<۰/۰۱). بیش‌ترین طول الیاف مغز بزرک (٦۰۸/۲٤ میکرون) در فاصله کاشت ۰/۹ سانتی‌متری و کم‌ترین آن (۵۱۰/۲۵ میلی‌متر) در فاصله کاشت ٤/٤ سانتی‌متری بود (شکل ۸). هم‌چنین، نتایج نشان داد قطر الیاف مغز ساقه بزرک بین فواصل کاشت مختلف در سطح ۵ درصد معنی‌دار است (p<۰/۰۵). بیش‌ترین قطر الیاف مغز بزرک (۲۱/۳۷ میکرون) و قطر حفره سلولی الیاف مغز بزرک (۱۱/۲۱ میکرون) به ترتیب در فواصل کاشت ۲/۲ و ٤/٤ سانتی‌متری بود. هم‌چنین، کم‌ترین قطر الیاف (۱۸/۹۹ میکرون) و قطر حفره سلولی (۱۰/۱٦ میکرون) در فاصله کاشت ۰/۹ سانتی‌متری بود (شکل ۹). طبق شکل ۹، علی‌رغم روند افزایشی قطر حفره سلولی مغز بزرک با افزایش فاصله کاشت، این تفاوت بین فواصل کاشت از لحاظ آماری معنی‌داری نبود (p>۰/۰۵).



شکل ۸- تأثیر فاصله کاشت بر طول الیاف مغز بزرک.

Figure 8. The effect of planting distance on the core fiber length.



شکل ۹- تأثیر فاصله کاشت بر قطر الیاف و قطره حفره سلولی مغز ساقه بزرک.

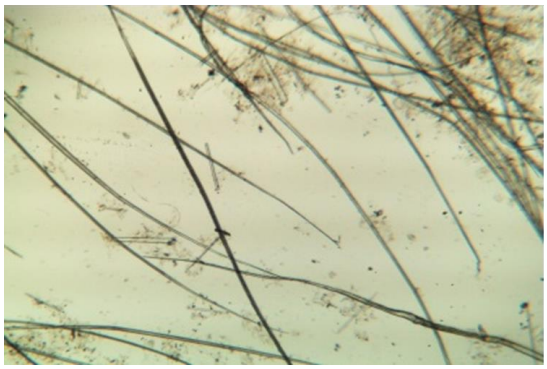
Figure 9. The effect of planting distance on the core fiber diameter and core lumen diameter.

تأثیر فاصله کاشت بر طول الیاف پوست بزرک: مقایسه میانگین نتایج طول الیاف پوست ساقه در کم‌ترین و بیش‌ترین فاصله کاشت نشان داد که طول الیاف پوست ساقه بزرک حاصل از فاصله کاشت ٤/٤ و ۰/۹ سانتی‌متری به ترتیب با میزان ٤/۰۸ و ٤/۷ کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. با مقایسه اعداد طول الیاف دو بخش ساقه بزرک، می‌توان به نسبت ۸ برابری طول الیاف پوست نسبت به طول الیاف مغز آن در همه فواصل کشت پی برد. قطر الیاف پوست ساقه بزرک برای فواصل کاشت ٤/٤ و ۰/۹ سانتی‌متری نیز به ترتیب ٤/۸۸ و ۵/۵۵ میلی‌متر تعیین گردید؛ بنابراین نتایج نشان می‌دهد که

افزایش فاصله کاشت، بر طول و قطر الیاف پوست ساقه بزرک می‌افزاید. تصاویر میکروسکپی الیاف پوست و مغز ساقه بزرک در شکل ۱۰ جهت مقایسه آمده است.

الیاف مغز بزرک (Core fiber)

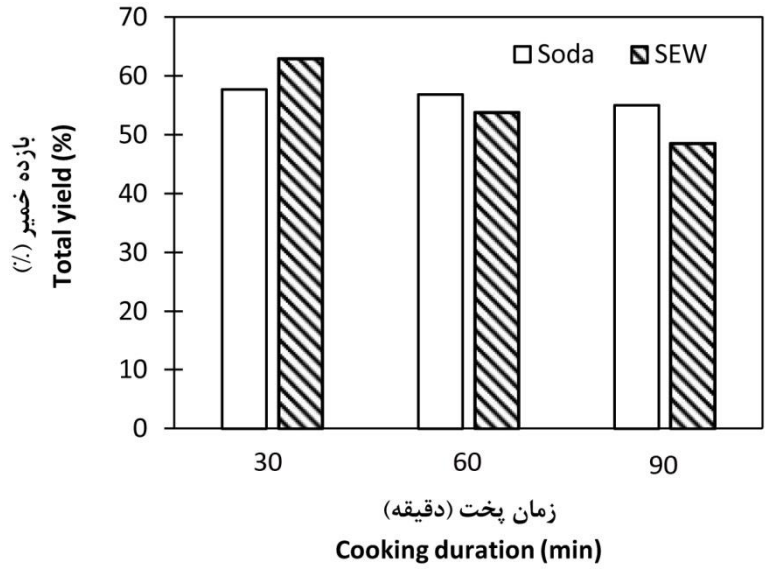
الیاف پوست بزرک (Bast fiber)



شکل ۱۰- تصاویر میکروسکوپی الیاف مغز و پوست بزرک.

Figure 10. Microscopic images of core and bast fibers.

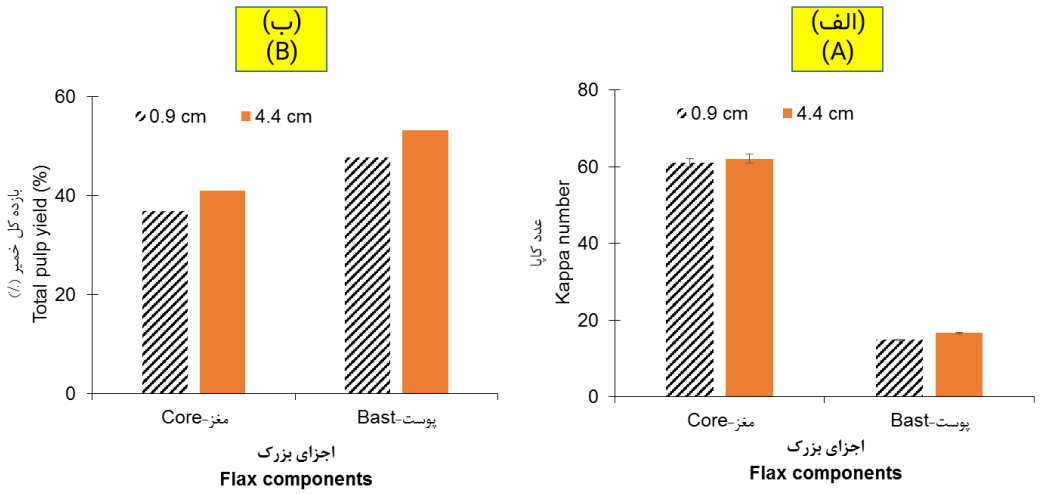
نتایج خمیرسازی از کل ساقه بزرک مخلوط کرت‌ها به دو روش سودا و SEW: شکل ۱۱، نتایج خمیرسازی از کل ساقه بزرک در سه زمان مختلف پخت در دو نوع خمیرسازی سودا و SEW را نشان می‌دهد. مطابق با شکل، بیش‌ترین و کم‌ترین درصد بازده به ترتیب با مقادیر ٦۲/۹ و ٤۸/٥۷ درصد مربوط به زمان‌های ۳۰ و ۹۰ دقیقه فرآیند SEW می‌باشد. نتایج نشان داد که بازده خمیر فرآیند SEW نسبت به سودا در زمان ۳۰ دقیقه بیش‌تر است، اما با افزایش زمان پخت، بازده پخت SEW کم‌تر از بازده خمیرسازی سودا می‌گردد. Tatari و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی ویژگی‌های خمیر کاغذ حاصل از باگاس نیشکر به روش SEW و سودا گزارش کردند که بازده خمیر SEW نسبت به سودا در زمان‌های پخت کم نسبت به سودا بیش‌تر است، اما با افزایش زمان پخت، این روند معکوس شده و بازده پخت SEW نسبت به سودا کاهش می‌یابد (۱٤). در پژوهش دیگری، Iakovlev و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که بازده خمیر کاغذ حاصل از کاه گندم به روش SEW تحت شرایط خمیرسازی با دمای ۱۳٥ درجه سانتی‌گراد و زمان پخت ۱۰۰-٤۰ دقیقه بین ٦٤/۲-٥۱/٥ درصد است (۲۲). در مطالعه دیگری، Huang و همکاران (۲۰۱۸) از مقادیر ۲-۰/٥ درصد گاز دی‌اکسید گوگرد در ترکیب با اتانول- آب برای پیش‌تیمار بامبو استفاده کردند و نتایج مشابهی را گزارش کردند (۲۳). Huang و همکاران (۲۰۱۹) نیز از فرآیند SEW برای تولید خمیر حل‌شونده از ساقه توتون تحت شرایط پخت دمای ۱۳٥ درجه سانتی‌گراد و زمان ۸۰ دقیقه استفاده کردند و گزارش کردند که بازده خمیر کاغذ ٥۰/۲ درصدی تحت شرایط فوق حاصل شده است (۲٤). Sharazi (۲۰۱۷) نیز مقادیر مشابهی را برای بازده خمیر کاغذ حاصل از باگاس نیشکر به روش SEW گزارش کرد. مقادیر بازده خمیر کاغذ به‌دست‌آمده در این مطالعه با نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش‌های ذکر شده مطابقت دارد (۲٥).



شکل ۱۱- مقایسه بازده خمیر کاغذ حاصل از بزرک به دو روش سودا و SEW.

Figure 11. Comparison of pulp yield obtained from seed flax by soda and SEW methods.

اثر فاصله کاشت بر نتایج خمیرسازی از پوست و مغز ساقه بزرک به روش SEW: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات مستقل عوامل متغیر (فاصله کاشت و اجزای ساقه) بر عدد کاپای خمیرهای حاصله به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار است. بیش‌ترین عدد کاپا (٦٢/١٢) مربوط به مغز بزرک در فاصله کاشت ٤/٤ سانتی‌متری و کم‌ترین آن (١٤/٨٨) مربوط به پوست بزرک در فاصله کاشت ۰/۹ سانتی‌متری است. طبق گروه‌بندی آزمون دانکن، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر عدد کاپای مغز بزرک در فواصل کاشت ۰/۹ و ٤/٤ سانتی‌متری مشاهده نگردید (شکل ١٢).



شکل ۱۲- اثر فاصله کاشت و اجزای بزرک بر (الف) عدد کاپا و (ب) بازده کل خمیر SEW.

Figure 12. Effect of planting distance and seed flax components on (A) Kappa number and (B) total yield of SEW pulp.

علت کم‌تر بودن عدد کاپای خمیر پوست بزرک نسبت به خمیر مغز آن را می‌توان به ماهیت شیمیایی این مواد مرتبط دانست؛ زیرا مقدار لیگنین در پوست بزرک به‌مراتب کم‌تر از مغز آن است. در جدول ۲، نتایج خمیرسازی مغز و پوست بزرک به روش SEW با سایر گزارش‌های قبلی مقایسه شده است.

جدول ۲- مقایسه نتایج خمیرسازی با منابع.

Table 2. Comparing pulping results with literature.

روش خمیرسازی (Pulping method)	ماده فیبری (Fiber material)	بازده خمیر (Pulp yield)	عدد کاپا (Kappa number)	منبع (Ref.)
SEW	پوست ساقه بزرک (Seed flax stem bast)	47.76 -53.11	14.88-16.64	مطالعه حاضر (Present study)
SEW	مغز ساقه بزرک (Seed flax stem core)	36.91-41	61-62.12	مطالعه حاضر (Present study)
SEW	کاه گندم (Wheat straw)	44.2	11.8	(22)
SEW	باگاس نیشکر (sugarcane bagasse)	44.2	29.6	(26)
SEW	کاج الدار (*Pinus eldarica*)	48.56	31.5	(27)
SEW	کاج الدار (*Pinus eldarica*)	52.50	47.50	(28)
سودا – آنتراکینون (Soda-AQ)	کل ساقه کتان (Whole stalk of flax)	46.3	15.2	(16)
سودا – آنتراکینون (Soda-AQ)	پوست کتان (Flax stem bast)	60.6	4.1	(16)
کرافت (Kraft)	کل ساقه کتان (Whole stalk of flax)	44	15	(29)

نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد کل ماده خشک و عملکردهای برگ، پوست ساقه، ریشه، مغز ساقه، ساقه، بذر، تعداد کپسول میوه در هر پایه، نسبت پوست ساقه به کل ساقه، قطر ساقه و طول الیاف پوست و مغز تحت‌تأثیر فاصله کاشت قرار دارند. با افزایش فاصله کشت از ۰/۹ به ٤/٤ سانتی‌متر، طول الیاف پوست ساقه، از ٤/۰۸ به ٤/۷ میلی‌متر و طول الیاف مغز ساقه از ۵۱۰ به ٦۰۸ میکرومتر افزایش یافت. بدین‌ترتیب، در همه فواصل کاشت، طول الیاف پوست ساقه حدود ۸ برابر طول الیاف مغز ساقه بزرک بود. اگرچه، بیش‌ترین درصد وزنی پوست ساقه نسبت به کل ساقه مربوط به کم‌ترین فاصله کاشت (۰/۹ سانتی‌متری) بود، اما کم‌ترین عملکرد پوست ساقه به همین فاصله کاشت اختصاص داشت. با افزایش فاصله کاشت، درصد مغز ساقه به کل ساقه و هم‌چنین عملکرد مغز ساقه افزایش یافت. با توجه به نتایج بیومتری الیاف می‌توان انتظار داشت که الیاف پوست ساقه بزرک یکی از بهترین الیاف برای کاغذسازی باشد؛ اگرچه، الیاف مغز ساقه این گیاه به‌دلیل کوتاه بودن برای کاغذسازی مناسب نیست. نتایج خمیرسازی ساقه بزرک این پژوهش نیز نشان داد که بازده فرآیند SEW نسبت به سودا در زمان ۳۰ دقیقه بیش‌تر است، اما با افزایش زمان پخت، بازده پخت SEW کمتر از بازده خمیرسازی سودا می‌گردد.

سپاسگزاری

از جناب آقای پروفسور آدریان ون هنینگن، استاد محترم دپارتمان مهندسی شیمی دانشگاه مین آمریکا که فروتنانه آزمایشگاه خود را برای انجام یکی از پژوهش‌های دوره فرصت مطالعاتی نویسنده در اختیار قرار داد، سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

1. Adu, C., Jolly, M., & Thakur, V. K. (2018). Exploring new horizons for paper recycling: A review of biomaterials and biorefinery feedstocks derived from wastepaper. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 13, 21-26.
2. Kaur, D., Bhardwaj, N. K., & Lohchab, R. K. (2017). Prospects of rice straw as a raw material for paper making. *Waste Management*. 60, 127-139.
3. Marques, G., Rencoret, J., Gutiérrez Suárez, A., & Río Andrade, J. (2010). Evaluation of the chemical composition of different non-woody plant fibers used for pulp and paper manufacturing. *The Open Agriculture J*. 4, 93-101.
4. González-García, S., Moreira, M. T., Artal, G., Maldonado, L., & Feijoo, G. (2010). Environmental impact assessment of non-wood based pulp production by soda-anthraquinone pulping process. *J. of Cleaner Production*. 18 (2), 137-145.
5. Stavropoulos, P., Mavroeidis, A., Papadopoulos, G., Roussis, I., Bilalis, D., & Kakabouki, I. (2023). On the path towards a "Greener" EU: A mini review on flax (*Linum usitatissimum* L.) as a Case Study. *Plants*. 12 (5), 1102.
6. Berglund, D. R., & Zollinger, R. K. (2002). Flax production in North Dakota. North Dakota State University Press, Fargo, North Dakota. Pp: 1-10.
7. Khajepour, M. R. (2005). Industrial plants. Agricultural Jihad Publishing House of Isfahan. [In Persian]
8. Arslanoglu, Ş. F., Sert, S., Şahin, H. A., Aytaç, S., & El Sabagh, A. (2022). Yield and yield criteria of flax fiber (*Linum usititassimum* L.) as influenced by different plant densities. *Sustainability*. 14 (8), 4710.
9. FAO. (2022). Food and Agriculture data. Rome, available at: **http://www.fao.org/faostat/en/#home.**
10. Abd Eldaiem, M. A. M. (2015). Response of some flax genotypes under different plant densities. *J. of Plant Production*. 6 (7), 1247-1261.
11. El-Gedwy, E. S. M. (2020). Effect of nitrogen fertilizer rates and pant density on straw, fiber yield and anatomical manifestations of some flax cultivars. Annals of Agricultural Science. *Moshtohor*. 58 (4), 855-700.
12. Santos, R. F., Tomassoni, F., Bassegio, D., da Silva, T. R. B., Siqueira, J. A. N. C., de Souza, S. N. M., Antonio, L., & Secco, D. (2016). Brown flax grown under different planting densities. *African J. of Agricultural Research*. 11 (10), 800-804.
13. Saleem, M.H., Fahad, S., Khan, S. U., Din, M., Ullah, A., Sabagh, A. E., & Liu, L. (2020). Copper-induced oxidative stress, initiation of antioxidants and phytoremediation potential of flax (*Linum usitatissimum* L.) seedlings grown under the mixing of two different soils of China. *Environmental Science and Pollution Research*. 27 (5), 5211-5221.
14. Tatari, A., Dehghani Firouzabadi, M. R., Saraeyan, A. R., & Aryaie Monfared, M. H. (2017). Comparative study of the characteristics of pulp and paper prepared by Sulfur dioxide-Ethanol-Water (SEW) and soda from bagasse fiber. *Iranian J. of Wood and Forest Science and Technology*. 24 (3), 221-239. [In Persian]
15. Tatari, A., Dehghani Firouzabadi, M. R., Saraeyan, A. R., Aryaie Monfared, M. H., & Yadollahi, R. (2017). Effects of washing method on the bagasse pulping characteristics processed by the sulfur dioxide-ethanol-water (SEW) method. *Iranian J. of Wood and Paper Industries*. 7 (4), 549-559. [In Persian]
16. Hurter, R. W., & Byrd, M. V. (2019). Pulping and TCF bleaching of Canadian seed flax straw. TAPPI 19PEERS Conference, October 27-30, 2019, St. Louis, Missouri, USA. Pp: 1-46.
17. Goudenhooft, C., Bourmaud, A., & Baley, C. (2019). Flax (*Linum usitatissimum* L.) fibers for composite reinforcement: exploring the link between plant growth, cell walls development, and fiber properties. *Frontiers In Plant Science*. 10, 411.
18. Abd El-Mohsen, A. A., Abdallah, A. M., & Mahmoud, G. O. (2013). Optimizing and describing the influence of planting

dates and seeding rates on flax cultivars under Middle Egypt region conditions. *World Essays J.* 1 (4), 142-152.

19. Emam, S. M., & Dewdar, M. D. (2015). Seeding rates and phosphorus source effects on straw, seed and oil yields of flax (*Linum usitatissimum* L.) grown in newly-reclaimed soils. *International J. of Current Microbiology and Applied Sciences.* 4 (3), 334-343.
20. Abou-Zied, K. A., Sanaa, S., Hassan, K. H. E., & Nawar, A. I. (2015). Effect of seeding rates and weed control treatments on productivity and weed suppression in flax cultivar Sakha. *Alexandria J. of Agricultural Research.* 60 (3), 221-228.
21. Sánchez Vallduví, G. E., & Sarandón, S. J. (2011). Effects of changes in flax (*Linum usitatissimum* L.) density and interseeding with red clover (*Trifolium pratense* L.) on the competitive ability of flax against Brassica weeds. *J. of Sustainable Agriculture.* 35 (8), 914-926.
22. Iakovlev, M., Sixta, H., & van Heiningen, A. (2011). SO_2-ethanol-water (SEW) pulping: II. Kinetics for spruce, beech, and wheat straw. *J. of Wood Chemistry and Technology.* 31 (3), 250-266.
23. Huang, C., Ma, J., Liang, C., Li, X., & Yong, Q. (2018). Influence of sulfur dioxide-ethanol-water pretreatment on the physicochemical properties and enzymatic digestibility of bamboo residues. *Bioresource Technology*. 263, 17-24.
24. Huang, C., Sun, R., Chang, H. M., Yong, Q., Jameel, H., & Phillips, R. (2019). Production of dissolving grade pulp from tobacco stalk through SO_2-ethanol-water fractionation, alkaline extraction, and bleaching processes. *BioResources*. 14 (3), 5544-5558.
25. Sharazi, A. M. (2017). SO_2-alcohol-water fractionation of sugarcane straw. The University of Maine. 146p.
26. Sharazi, A. M., & Van Heiningen, A. (2017). Ethyl xylosides formation in SEW (AVAP®) fractionation of sugarcane straw; implications for ethanol and xylose recovery. Holzforschung. 71 (12), 951-959.
27. Dehghani Firouzabadi, M., & Tatari, A. (2023). SO_2-ethanol–water (SEW) and Kraft pulp and paper properties of Eldar pine (*Pinus eldarica*): a comparison study. Biomass Conversion and Biorefinery. Pp: 1-9. **DOI: 10.1007/ s13399-023-03785-x.**
28. Tatari, A., Dehghani Firouzabadi, M., & Ghasemian, A. (2023). The effect of ethanol concentration of the SO_2-ethanol-water (SEW) process liquor on the characteristics of Eldar pine (*Pinus eldarica*) pulp. *J. Forest Wood Products.* 76 (1), 1-10. [In Persian]
29. Tekleyohanis, T. (2020). Production and characterization of pulp from flax straw. M.Sc. Thesis, Addis Ababa University. 90p.