بررسی پتانسیل استفاده از الیاف باقی مانده از جزءجزءسازی ساقه کلزا با گلیسرول در تولید خمیرکاغذ

بهاره جعفری[۱]
سحاب حجازی[۲*]
یحیی همزه[۳]
علی عبدالخانی[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع چوب و فرآورده های سلولزی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج،ایران

[۲] دانشیار گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[۳] استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

[۴] دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:
shedjazi@gau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۱

چکیده

در این تحقیق، جزءجزء شدن ساقه کلزا با گلیسرول به عنوان یک حلال سبز و همچنین کاریرد الیاف باقی مانده برای تولید خمیرکاغذ مورد بررسی قرار گرفتند. جزءجزء شدن ساقه کلزا با گلیسرول در دماها و زمان‌های مختلف با افزودنی‌های قلیایی و یا با افزودنی‌های اسیدی و همچنین کاتالیزور کلرید کلسیم با در نظر گرفتن L/S به نسبت های مختلف و همچنین درصد های متفاوت گلیسرول به آب انجام شد. نتایج نشان می دهند که افزایش دما پس از ۱۷۰ درجه سانتی گراد درصد بازده بعد از غربال را ثابت نگه داشته یا کاهش می دهد. افزایش زمان جزءجزءسازی بعد از ۳ ساعت تاثیر منفی بر روی درصد بازده بعد از غربال دارد . اثر افزودنی اسیدی بر روی درصد بازده بعد از غربال به‌طور چشمگیری بیشتر از افزودنی قلیایی بود. . افزایش نسبت L/S تا ۱۲/۱، درصد بازده بعد از غربال را افزایش و بیشتر از آن، بازده را ثابت یا نزولی می نماید. . از الیاف باقی مانده تیمار بهینه کاغذ دست‌ساز ساخته شد. شاخص پارگی، شاخص کشش و مقاومت به لهیدگی درحالت حلقوی، به ترتیب ۲/۰۷ mN.m^2/g ، ۱۴/۳۸ Nm/g و ۱۳۵/۴ N اندازه‌گیری شدند. با توجه به نتایج، از الیاف باقی مانده می توان خمیرکاغذی با ویژگی‌های مقاومتی مشابه خمیرکاغذ های شیمی مکانیکی تولید کرد. نتایج نشان دادند که گلیسرول برای جزءجزءسازی ساقه کلزا مناسب بوده و ۸۸ درصد از همی سلولزها، ۴۲ درصد از سلولز و ۳۰ درصد از لیگنین در مایع پخت سیاه باقی مانده وجود دارند که می‌توانند به عنوان مواد شیمیایی سکویی در یک پالایشگاه زیستی استفاده شوند.

واژگان کلیدی: ساقه کلزا، پالایشگاه زیستی محصول کامل، گلیسرول، خمیرکاغذ، جزءجزءسازی.

مقدمه

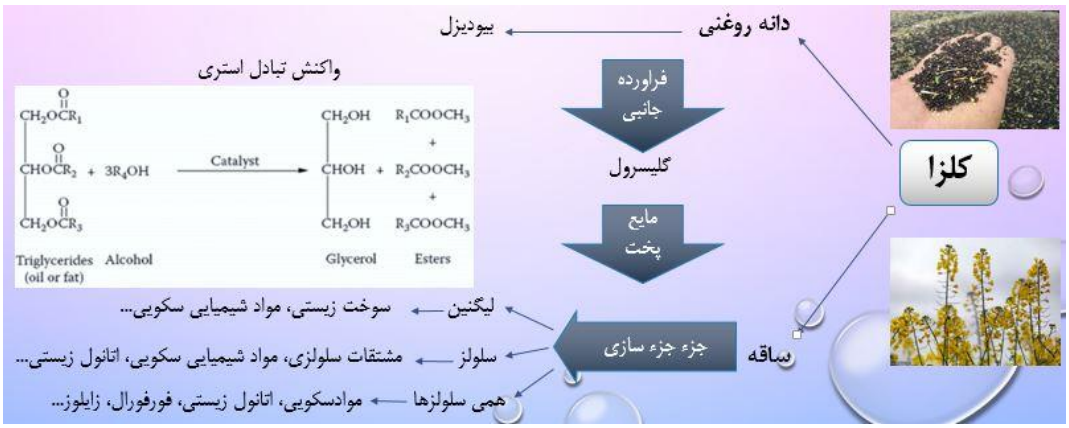
در سالهای اخیر سوخت‌های تجدید پذیر جایگاه ویژه ای در سیاست گذاری‌های انرژی و اشتغال کشورهای مختلف پیدا کرده اند. یکی از انواع این سوخت ها، بیودیزل می‌باشد. بیودیزل از واکنش شیمیایی روغن‌های گیاهی مانند روغن کلزا و سویا، و متانول در حضور کاتالیزور ساخته می‌شود[۱]. این واکنش شیمیایی که مرسوم‌ترین و مناسب‌ترین آن امروزه ترانس استریفیکاسیون روغن با کمک یک الکل کوتاه زنجیر است، مولکول‌های روغن را به متیل استر (بیودیزل) و گلیسرول تبدیل می‌کند[۲]. بنابراین گلیسرول به صورت محصول جانبی تولید دیزل زیستی به عنوان یک ماده شیمیایی در سطح گسترده تولید می گردد. در بررسی صورت گرفته توسط Soh و Eckelman (۲۰۱۶)

گلیسرول به همراه آب، متانول، اتانول، استون و اتیل استات از جمله حلال های توصیه شده، سبز و دوست دار محیط زیست در بین حلال های مختلف شیمیایی شناخته می شوند [۳]. امروزه تمایل به استفاده از زیست توده[۱]"به صورت کامل" مورد توجه بخش های تحقیق و صنعت قرار گرفته است. به این منظور جزء جزء سازی زیست توده و به ویژه زیست توده لیگنوسلولزی در زیرساخت هایی تحت عنوان پالایشگاه زیستی[۲]در حال توسعه می باشد. [۴] در پالایشگاه های زیستی در طی فرآیندهای مختلف، زیست توده با الگوگیری از اصول حاکم بر پالایشگاه نفتی[۳]در راستای تولید سوخت‌های زیستی[۴] مواد زیستی[۵] و انرژی زیستی[۶] و به منظور تداوم جریان پایدار مواد و انرژی و مقابله با گرمایش جهانی[۷] و تغییرات اقلیمی[۸]به ترکیبات تشکیل دهنده خود و مواد شیمیایی سکویی[۹]تجزیه می گردد [۴]. یکی از انواع پالایشگاه های زیستی، پالایشگاه زیستی محصول کامل[۱۰]می باشد. پالایشگاه زیستی محصول کامل مختص محصولات زراعی است که در آنها امکان استفاده توأم از دانه و ساقه وجود دارد. البته در حالت استفاده از ساقه بین این نوع پالایشگاه و پالایشگاه زیستی لیگنوسلولزی[۱۱]هم-پوشانی وجود دارد. از جمله گیاهان مناسب برای استفاده در پالایشگاه زیستی محصول کامل، گیاه کلزا می‌باشد که برای تولید دانه‌های روغنی، روغن‌های خوراکی و کنجاله مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر تولید روغن از گیاهانی مانند کلزا، امکان تولید گازوئیل زیستی[۱۲]نیز از دانه‌های روغنی آنها وجود دارد و لذا به کارگیری ساقه کلزا به عنوان یک ماده لیگنوسلولزی، برای تحقق مفهوم پالایشگاه زیستی کامل می‌تواند طیف وسیعی از فرآورده-های تولیدی را برای تحقق مفهوم پالایشگاه زیستی کامل پوشش دهد (شکل۱) [۴].

وابستگی شدید ایران (بیش از ۹۰ درصد) به واردات دانه‌های روغنی، کنجاله و روغن و خروج سالانه قریب به ۴ میلیارد دلار ارز برای واردات دانه‌های روغنی، روغن و کنجاله منجر به تدوین طرح ۱۰ ساله کاهش وابستگی کشور به دانه‌های روغنی در وزارت جهاد کشاورزی گردیده است [۵]. آمارها حاکی از صعودی بودن روند تولید کلزا است. در سال ۱۳۷۸ طرح کلزا با سطح کشت ۱۷۲۴۰ هکتار و مقدار ۱۷۰۱۰ تن تولید در ایران شروع شد. سطح کشت کلزا برای سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، ۳۵۰ هزار هکتار با میزان تولید ۶۰۰ هزار تن بوده است که حاکی از افزایش ۲۰ برابری در سطح زیر کشت و ۳۵ برابری در مقدار تولید در طی تقریبا ۲۰ سال است. همچنین برنامه سال ۱۴۰۵ کشور، سطح برداشت کلزا را ۶۷۰ هزار هکتار و تولید آن را ۱ میلیون و ۷۵۰ هزار تن پیش بینی کرده است [۵]. با توجه به آمار می‌توان پیش‌بینی کرد که حجم هنگفتی از ساقه کلزا به صورت پسماند در مزارع پس از برداشت باقی بماند. بر خلاف کاه غلات، ساقه کلزا به علت ضخیم و خشبی‌بودن قابل تغذیه برای دام نیست. همچنین سوزاندن آن هم باعث آلودگی شدید محیط زیست و تولید گاز دی اکسید کربن می‌شود که از جمله عوامل افزایش گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی است. لذا چنانچه ساقه کلزا جهت تولید خمیرکاغذ و یا جزء-جزءسازی به اجزای آن یعنی سلولز، همی‌سلولزها و لیگنین و نهایتا تولید مواد شیمیایی سکویی و فرآورده‌های مختلف در قالب یک پالایشگاه زیستی مورد استفاده قرار گیرد، ضمن تبدیل به ماده‌ای با ارزش افزوده زیاد، مفهوم یک پالایشگاه زیستی کامل را در تلفیق با تولید گازوئیل زیستی محقق می نماید.

---

[1] Biomass
[2] Biorefinery
[3] Refinery
[4] Biofuels
[5] Biomaterials
[6] Bioenergy
[7] Global warming
[8] Climate changes
[9] Platform chemicals
[10] Whole crop biorefinery
[11] Lignocellulosic feedstock biorefinery
[12] Biodiesel



شکل۱: تحقق مفهوم پالایشگاه زیستی محصول کامل با کلزا

Novo و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه ای لیگنین‌زدایی حلال آلی باگاس مغززدایی شده با استفاده از ترکیب گلیسرول-آب بدون کاتالیزور را بررسی و بهترین نتیجه را با میزان گلیسرول ۸۰٪، زمان واکنش ۱۵۰ دقیقه و دمای ۱۹۸/۳ درجه سانتی گراد به دست آوردند. این شرایط منجر به تولید خمیرهایی با بازده ۵۴/۴ درصد ، ۷/۷۵درصد لیگنین باقی مانده (۸۱/۴ درصد لیگنین‌زدایی) و ۱۳/۷ درصد مقدار همی‌سلولزها شد. نتایج نشان دادند که محتوای بالای گلیسرول به تولید خمیرهایی با لیگنین‌زدایی بیشتر و میزان کمتر گلیسرول به تولیدخمیرهایی بامقدار همی‌سلولزهای بیشتر منجر می‌شود[۶]. Saberikhah و همکاران (۲۰۱۱) ، خمیرکاغذسازی از کاه گندم با حلال آلی گلیسرول و ۲٪ NaOH به عنوان یک کاتالیزور و بدون آن در زمان‌های مختلف پخت (۱۸۰ ، ۹۰ ، ۴۵ و ۳۰ دقیقه) و در دمای ریفلاکس (۱۹۵-۲۰۵ درجه سانتی گراد) را مورد مطالعه قرار دادند. بهترین خواص کاغذ دست‌ساز با هیدروکسید سدیم ۲٪ در حلال پخت، در مدت زمان ۳۰ دقیقه بدست آمد. در نتیجه‌ی استفاده از شرایط متنوع پخت در محدوده تغییرات در نظر گرفته شده، مقادیر مطلوب ۶۴/۱ ٪ بازده و عدد کاپای۶۴ را به دست آوردند [۷]. Romaní و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشتند، که فرآیند گلیسرول می‌تواند راه حل خوبی برای جزءجزءسازی چوب اکالیپتوس به ترکیبات اصلی آن باشد و باعث بهبود قند سازی آنزیمی سلولز شود. مطالعه متغیرهای فرآیندی شامل درصد گلیسرول به اب، دما و زمان فرآیند بودند و تحقیق با استفاده از طرح آزمایشی بکس- بنکن انجام شد.

در چوب اکالیپتوسی که تحت تیمار با شرایط دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد، ۵۶٪ در صد گلیسرول و زمان ۶۹ دقیقه قرار گرفته بود، سلولز به مقدارکمی بازیابی شد و در نهایت بستر جامدی با مقادیر درصد بالای سلولز (۷۷ گرم در ۱۰۰ گرم جامد پیش تیمار شده)، مقدار لیگنین کم (۹ گرم در ۱۰۰ گرم ماده جامد پیش تیمار شده) و ۱۸ درصد همی سلولز باقی مانده، به دست آمد. قندسازی آنزیمی با دستیابی به ۹۸٪ تبدیل سلولز به گلوکز انجام شد[۸]. Ebrahimiyan pourbazari و همکاران (۲۰۱۵) سینتیک لیگنین‌زدایی فرآیند خمیرکاغذسازی از ساقه گندم با استفاده از گلیسرول، در شرایط استفاده از کاتالیزور سدیم هیدروکسید ۲٪ و بدون آن، در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد و در زمان‌های ۳۰ تا ۱۸۰ دقیقه در شرایط رفلاکس را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش زمان خمیرکاغذسازی مقدار لیگنین باقی مانده در خمیرکاغذ، درصد کربوهیدرات و بازده در هر دو حالت استفاده از کاتالیزور و بدون آن کاهش می‌یابد. مقدار لیگنین باقی مانده‌ی خمیر در شرایط استفاده از کاتالیزور که سدیم هیدروکسید ۲درصد می‌باشد، برابر ۵۶/۵۹٪ و بدون استفاده از آن ۸۱/۱٪ می‌باشد که نشان می‌دهد میزان لیگنین زدایی ساقه گندم با استفاده از حلال آلی گلیسرول در شرایط دمایی و زمانی یکسان، با استفاده از کاتالیست افزایش می‌یابد .بررسی‌ها نشان داد که سرعت لیگنین‌زدایی در این شرایط از واکنش مرتبه اول پیروی می‌نماید و ثابت های سرعت واکنش‌ها در هر فاز لیگنین زدایی به ترتیب برابر $3 \times 10^{-3} min^{-1}$ ، $6 \times 10^{-4} min^{-}$

[1] و $4\times10^{-3}\ min^{-1}$، $1\times10^{-3}\ min^{-1}$ تعیین شدند. باید در نظر داشت که شرایط رفلاکس نمی‌تواند شرایط واقعی خمیرکاغذسازی را نشان دهد[۹]. Chotirotsukon و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی جزءجزءسازی پشت سر هم و دو مرحله‌ای باگاس نیشکر با استفاده از آب گرم و یک فرآیند آلی بر پایه گلیسرول کاتالیز شده با اسید آلی را انجام دادند و موفق به بازیابی ۶۶/۱٪ از همی‌سلولزها و ۷۸/۳٪ لیگنین در شرایط بهینه شدند. اسید فرمیک نسبت به H_2SO_4 و HNO_3 به عنوان یک کاتالیزور برای مرحله گلیسرول از نظر کارآیی لیگنین‌زدایی و گزینش‌پذیری، برتر بود. مایع فرمیک اسید مصرف شده با گلیسرول می‌تواند حداقل برای چهار بارمتوالی بدون کاهش قابل توجه در بازده محصول یا گزینش‌پذیری، بازیابی شود. این تحقبق یک فرآیند متوالی کارآمد برای جزءجزءسازی اجزای مشتق شده از لیگنوسلولز را معرفی می نماید که اجازه بازیابی حلال و بازیابی لیگنین با خلوص بالا را می‌دهد[۱۰]. با توجه به تحقیقات فوق که در خصوص برخی از مواد لیگنوسلولزی صورت گرفته و نظر به فقدان داده های علمی در خصوص تیمار کلزا با گلیسرول، در این تحقیق پتانسیل این حلال آلی با استفاده از کاتالیزور های قلیایی و اسیدی جهت جزءجزءسازی ساقه کلزا و همچنین استفاده از جامد یا الیاف باقی مانده آن در تولید خمیر کاغذ مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش ها

مواد

ساقه کلزا از یکی از مزارع کشت کلزا در استان گلستان تهیه ، با دستگاه برش به طول یک تا سه سانتی‌متر تبدیل و جهت رسیدن به رطوبت تعادل، در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند. نمونه‌ها بعد از رسیدن به رطوبت تعادل، به دلیل جلوگیری از تبادل رطوبتی و تغییر میزان رطوبت، در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شدند. سپس میزان رطوبت نمونه‌های تمامی کیسه‌ها اندازه‌گیری شد و در طول آزمایش‌ها، بعد از هربار برداشت نمونه، به‌منظور ثابت ماندن شرایط رطوبتی، درب کیسه بسته می‌شد. گلیسرول با درصد خلوص ۹۹ درصد از شرکت پاکسان تهیه و مورد استفاده گردید. استون، اسید سولفوریک، اسید استیک، کلریت سدیم، پرمنگنات سدیم، تیوسولفات سدیم، یدید پتاسیم و کلرید کلسیم از شرکت های معتبر فروش مواد شیمیایی تهیه گردیدند.

روش ها

اندازه گیری ترکیبات شیمیایی

کلیه آزمایش‌های اندازه گیری ترکیب شیمیایی طبق آیین نامه Tappi و دستورالعمل های مربوطه به شرح زیر انجام گرفته اند:

تهیه پودر طبق دستورالعمل شماره T235cm-02، اندازه‌گیری درصد رطوبت T264-om 88، تعیین مقدار خاکستر T21om-93، تهیه پودر عاری از مواد استخراجیT280pm-99 ، لیگنین کلازون T222om-98 و سلولز با جداسازی همی سلولزها با هیدروکسید پتاسیم پس از تولید هولوسلولز با روش کلریت سدیم و اسید استیک.

محفظه پخت

برای پخت ساقه کلزا از دایجستر آزمایشگاه خمیرکاغذ دانشکده‌ی منابع طبیعی دانشگاه تهران که مجهز به ترموستات جهت تنظیم دما می‌باشد استفاده گردید. مایع گرم‌کننده دیگ روغن گلیسیرین است و این دستگاه دارای حرکت دورانی و همچنین محفظه‌هایی با ظرفیت ۳/۷ لیتر می‌باشد.

متغیرهای جزءجزءسازی

جدول۱ شرایط جزءجزءسازی ساقه کلزا در نسبت-های مختلف گلیسرول به آب همراه با افزودنی‌ها در دما، زمان و نسبت مایع پخت به وزن خشک ساقه کلزا(L/S) را نشان می‌دهد.

جدول ۱: شرایط تیمار ساقه کلزا با گلیسرول

شماره تیمار	دما (°C)	زمان (h)	L/S	نسبت گلیسرول به آب	کاتالیزور اسید یا قلیا
۱	۱۷۰	۳	۸/۱	۱۰۰	٪ ۵ KOH
۲					٪ ۱۰ KOH
۳					٪ ۱۰ NaOH
۴				۷۵:۲۵	
۵**			۱۲/۱	۱۰۰	
۶		۶			
۷			۱۵/۱		
۸	۱۹۰	۳	۱۲/۱	۱۰۰	
۹				۷۵:۲۵	
۱۰	۱۷۰	۳		۱۰۰	٪ ۳ H_2SO_4
۱۱				۷۵:۲۵	
۱۲				۶۰:۴۰	
۱۳				۵۰:۵۰	
۱۴		۴		۷۵:۲۵	
۱۵		۵			
۱۶		۶			
۱۷		۳	۱۰/۱		
۱۸			۱۵/۱		
۱۹**			۲۰/۱		
۲۰**			۱۲/۱	۱۰۰	
۲۱				۷۵:۲۵	
۲۲*					–
۲۳*					٪ ۲ H_2SO_4
۲۴N					٪ ۳ H_2SO_4
۲۵N*					
۲۶N*					٪ ۲ H_2SO_4
۲۷N*				۱۰۰	
۲۸N*	۱۹۰				٪ ۱ H_2SO_4
۲۹N*					٪ ۲ H_2SO_4
۳۰N*				۷۵:۲۵	
۳۱*	۱۷۰				۴٪ H_2SO_4

*از افزودنی کلرید کلسیم ۰/۰۵ مولار در تیمار استفاده شده است. **در این تیمار مرحله ساقه کلزا به مدت ۱۴ ساعت جهت تسهیل پخت در آب خیسانده شد. N - در این تیمارها از ساقه کلزای تازه برداشت استفاده شده است.

مراحل و شرایط جزءجزءسازی

به‌منظور انجام جزءجزءسازی ، ۵۰ گرم وزن خشک ساقه کلزا آغشته شده با مایع جزءجزءسازی به داخل سیلندرهای دیگ پخت ریخته و درب سیلندرها محکم بسته شد و پس از رسیدن گلیسیرین درون دیگ به دمای موردنظر، سیلندرها داخل دیگ قرار گرفتند و تیمارها بر اساس مدت زمان مورد نظر انجام

شـــدند. مـــایع و ســـاقه کلـــزا، بـــه دلیـــل حرکـــت دورانـــی محفظـــه‌هـــای دیـــگ، بـــه‌خـــوبی بـــا هـــم مخلوط شدند.

شستشوی الیاف باقی مانده و جداسازی آنها

پس از پایان هر تیمار، سیلندرها باز شده، پس از سرد کردن آن‌ها به‌منظور جدا کردن مایع از محتویات داخل آن روی الک ۲۰۰ مش تخلیه و با استفاده از آب تحت فشار الیاف باقی مانده کاملا شستشو داده شدند.جداسازی دستجات الیاف ساقه کلزا از همدیگر با استفاده از یک جداکننده الیاف آزمایشگاهی تحت نیروی مکانیکی انجام گردید، پس از پایان عمل جداسازی، به منظور تعیین بازده کل، بازده بعد از غربال و وازده، الیاف حاصله روی الک ۱۸ مش که الک ۲۰۰ مش زیر آن قرارگرفته بود شستشو شدند. الیاف باقی مانده روی الک ۱۸ مش، تحت عنوان وازده و الیاف عبور کرده از الک ۱۸ مش و باقی مانده روی الک ۲۰۰ مش، خمیرکاغذ قابل قبول می‌باشد و بخشی که همراه آب از الک ۲۰۰ مش عبور کرده، دور ریز و نرمه‌های الیاف می‌باشد.

اندازه‌گیری بازده کل، بازده بعد از غربال و میزان وازده

پس از پایان هر تیمار و شستشوی جامد باقی مانده و بعد از خشک کردن الیاف قابل قبول و وازده های الک در هوای آزاد، درصد رطوبت آن ها تعیین و میزان بازده بعد از غربال ، وازده و بازده کل محاسبه گردیدند.

تعیین عدد کاپا

اندازه‌گیری عدد کاپا مطابق با استاندارد شماره T236om-99 آیین‌نامه TAPPI انجام گرفت.

پالایش الیاف

پالایش الیاف باقی مانده حاصل از تیمار بهینه طبق استاندارد T248om-88 آیین‌نامه TAPPI توسط دستگاه پالایش گر آزمایشگاهی PFI Mill با دور پالایشگر ۶۰۰ تا درجه روانی (CSF) ۳۰۰ انجام گرفت.

تهیه کاغذ دست‌ساز

ساخت کاغذ دست‌ساز بر اساس استاندارد TAPPI آیین‌نامه شماره T205om-88 و با استفاده از دستگاهLabtech Handsheet Maker انجام شد. در این تحقیق ساخت کاغذ ۱۲۰ گرمی، پالایش شده و پالایش نشده از الیاف باقی مانده مد نظر بود. کاغذهای دست‌ساز براساس آیین‌نامه T402om-88 در محفظه‌ی (اتاق متعادل‌سازی) تحت درجه حرارت ۱۰±۲۳ و رطوبت‌نسبی ۲±۵۰ درصد قرار گرفته و خشک شدند. آزمایش‌های مربوط به اندازه‌گیری مقاومت نیز در همین شرایط انجام گرفت.

اندازه‌گیری خواص مقاومتی

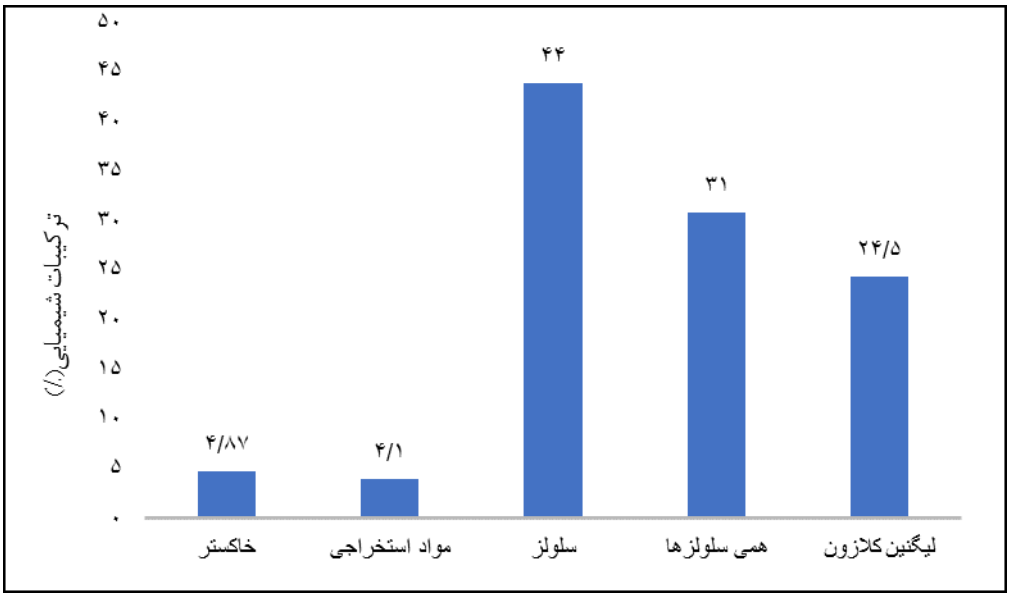
شاخص پارگی طبق استاندارد شماره T414om-88 ، شاخص کشش بر اساس استاندارد شماره T494om-06 و مقاومت به له‌شدن در حالت حلقوی (RCT) مطابق با استاندارد T 822 om-93 آیین‌نامه TAPPI اندازه گیری شدند.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل ترکیبات شیمیایی

میزان خاکستر، لیگنین، سلولز و همی‌سلولزهای ساقه کلزا اندازه‌گیری و مورد ارزیابی قرار گرفتند (شکل ۲).

Hamasi و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی ترکیبات شیمیایی ساقه کلزا میزان سلولز را ۴۳ درصد، لیگنین ۱۹/۳ درصد، مـواد اسـتخراجی ۶/۵ و خاکـستر را ۷/۳ درصـد اندازه‌گیری کرده اند[۱۱].Ahmadi و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه ای میزان سلولز، لیگنین، مواد استخراجی و خاکستر ساقه کلزا را به ترتیب ۴۳، ۱۷، ۲/۲ و ۶ به دست آورده اند[۱۲]. Samariha و همکاران (۲۰۱۲) نیـز میزان سلولز، لیگنین، مواد استخراجی و خاکستر را به ترتیب ۴۴، ۱۹/۲۱، ۶ و ۱۳درصد گزارش داده اند [۱۳]. نتایج نشان می‌دهد که مقدار ترکیبات شیمیایی ساقه کلزا از میزان قابل قبولی برخوردار است و پتانسیل استفاده به عنوان ماده اولیه درصنایع سلولزی را دارد.

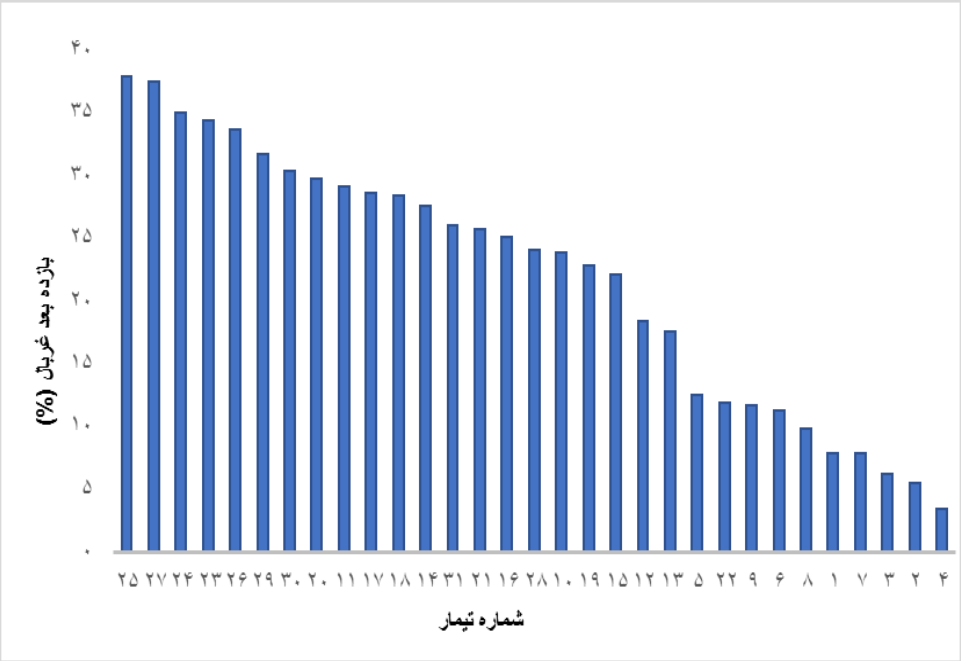


شکل ۲: نتایج تجزیه و تحلیل ترکیبات شیمیایی ساقه کلزا

اندازه‌گیری بازده بعد از غربال ،بازده کل و وازده بعد از تیمارها

در شکل۳ ، به مقایسه میزان بازده بعد از غربال الیاف تحت شرایط متفاوت پخت پرداخته شده است.

تیمار شماره ۲۵ و تیمار شماره ۲۷ بیشترین درصد بازده بعد از غربال (۳۷/۹۲ و ۳۷/۵۳) را داشتند .همچنین تیمار شماره ۴ کمترین میزان درصد بازده بعد از غربال (۳/۳۶) را داشت. با توجه به نتایج حاصله دمای بالاتر از ۱۷۰ درجه سانتی گراد در تیمار ساقه کلزا با استفاده از گلیسرول تقریبا بی‌تاثیر یا دارای اثر کاهشی بر میزان بازده بعد از غربال بوده است. همچنین با مقایسه‌ی بین پخت های شماره ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۶ که با شرایط پخت یکسان و با زمان‌های متفاوت ۳، ۴، ۵، ۶ انجام شده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که بهترین نتیجه با زمان پخت ۳ ساعت حاصل شده است و بیشترین درصد بازده بعد از غربال با این زمان به دست آمده است و با افزایش زمان تیمار این درصد کاهش می‌یابد که دلیل آن می‌تواند به تخریب الیاف و افزایش نرمه‌ها نسبت داده شود. مشاهده می‌شود که استفاده از KOH و NaOH به عنوان کاتالیزورهای قلیایی بر خلاف نتایج به دست آمده از سایر تحقیقات [۹] [۷]، تاثیر به خصوصی در کاهش میزان وازده و افزایش بازده بعد از غربال در مورد تیمار ساقه کلزا با گلیسرول نداشته است. اما استفاده از کاتالیزور اسیدی H_2SO_4 تاثیر چشم گیری در کاهش میزان وازده و افزایش بازده بعد از غربال داشته است.

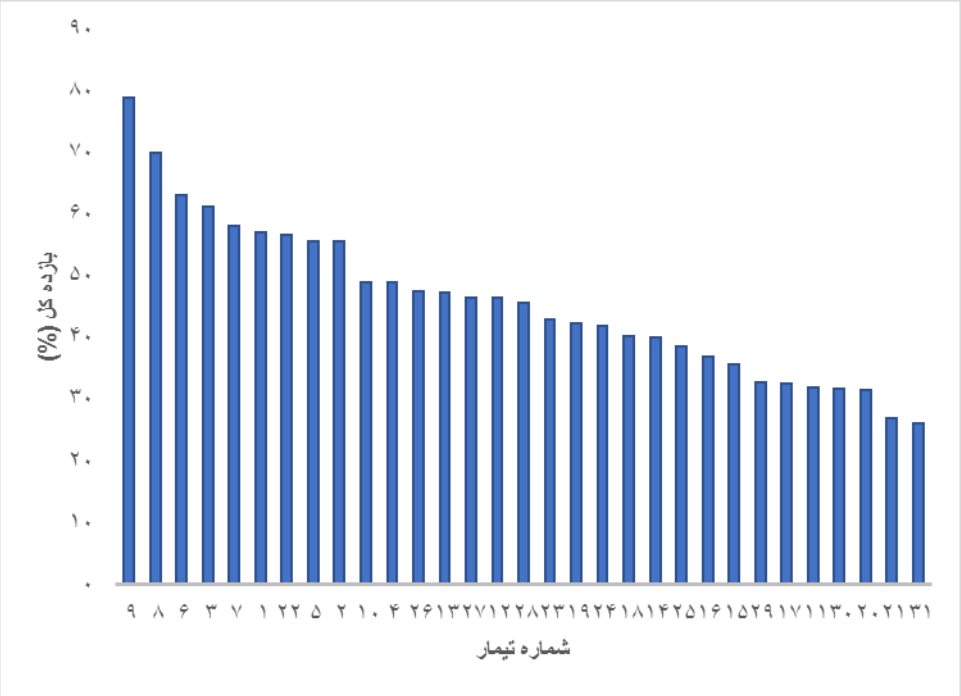


شکل ۳: مقایسه‌ی بازده بعد از غربال در تیمارهای متفاوت گلیسرول از ساقه کلزا

با افزایش درصد اسید تا ۳ درصد بازده بعد از غربال نیز افزایش یافت اما در درصدهای بالاتر باعث ایجاد نرمه و کاهش بازده بعداز غربال شد که در تیمار شماره ی ۳۱ با شرایط دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد , زمان پخت ۳ ساعت، میزان L/S ۱۲/۱، نسبت گلیسرول به آب ۲۵/۷۵، ۴ درصد سولفوریک اسید و کلرید کلسیم ۰/۰۵ مولار درمقایسه با تیمار شماره ی ۲۵ با همین شرایط اما با ۳ درصد سولفوریک اسید, این نتیجه قابل مشاهده است. مقایسه نتایج مربوط به دو تیمار ۲۴ و۲۵ که در شرایط یکسان و با افزودن و عدم افزودن کلرید کلسیم ۰/۰۵ مولار به عنوان افزودنی انجام شدند، نشان می‌دهد که تاثیر افزودنی بر روی درصد بازده بعد از غربال مثبت بوده است و باعث افزایش این مقدار شده است. همچنین با توجه به نتایج مشاهده گردید که استفاده از کلزای تازه باعث افزایش درصد بازده بعد از غربال می‌شود. در بررسی تاثیر نسبت مایع جزءجزءسازی به ساقه کلزا مشخص شد که در نسبت ۱۲/۱ بهترین نتیجه حاصل می‌شود و بالاترین درصد بازده بعداز غربال مربوط به این نسبت می‌باشد. بهترین نتایج بازده بعد از غربال با نسبت گلیسرول به آب ۲۵/۷۵ و ۱۰۰ درصد گلیسرول به دست آمد. سفیدگران و همکاران (۱۳۸۵) تحقیقی را با هدف بررسی امکان تولید کاغذ فلوتینگ از ساقه کلزا به روش سودا و مقایسه آن با کاه برنج انجام داده‌اند. پخت با شرایط دمای ۱۷۰ و ۱۶۰ درجه سانتی گراد، زمان پخت ۶۰ و۹۰ دقیقه و با درصد سود سوز آور در سه رده ۱۶، ۱۸، و ۲۰ درصد، انجام شد. در مورد ساقه کلزا تیمارهای انتخاب شده دارای بازده ۵۲/۹۳ تا ۵۹/۶۸ درصد بود که از بازده کل این تحقیق بالاتر، اما برای یک خمیر کاغذ مورد استفاده برای تولید کاغذ فلوتینگ کمتر بود [۱۴].Mazhari Mousavi و همکارن (۲۰۰۸) پخت بهینه فرایند سوداآنتراکنون را در مورد ساقه کلزا با شرایط ۲۰ درصد ماده شیمیایی، درجه حرارت ۱۷۵ درجه سانتی گراد و زمان پخت ۷۰ دقیقه با میزان بازده بعد از غربال ۳۶/۷ درصد گزارش دادند که مشابه بازده بعد از غربال این پژوهش می‌باشد[۱۵].Molayiو همکاران (۲۰۱۰) خمیر کاغذسازی سودا از ساقه کلزا را با استفاده از قلیایت ۲۲ ٪ ، زمان پخت ۱۰۰ دقیقه و دمای حداکثر ۱۶۰ درجه سانتی گراد و نسبت مایع پخت به ماده خشک ۱/۸ انجام و درصد بازده پس از غربال را ۳۶/۱ گزارش کردند که مشابه این تحقیق می‌باشد [۱۶].Ahmadi و همکاران(۲۰۱۰) تولید خمیرکاغذ نیمه شیمیایی سولفیت خنثی (NSSC) از ساقه کلزا با شرایط ۸٪ مواد شیمیایی، زمان پخت ۲۰دقیقه، دمای ۱۷۵درجه سانتی گراد و

نسبت مایع پخت به ساقه کلزا ۱/۸ را بررسی و درصد بازده بعد از غربال را ۶۷ درصد گزارش دادند[۱۲].

شکل ۴ مقایسه بازده کل تیمارها با شرایط متفاوت برای ساقه کلزا را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که تغییر شرایط تیمار از جمله دما، زمان، درصد اسید و قلیاییت، نسبت گلیسرول به آب و نسبت مایع جزءجزءسازی به ساقه کلزا بر میزان بازده کل تاثیر قابل ملاحظه ای داشته است.



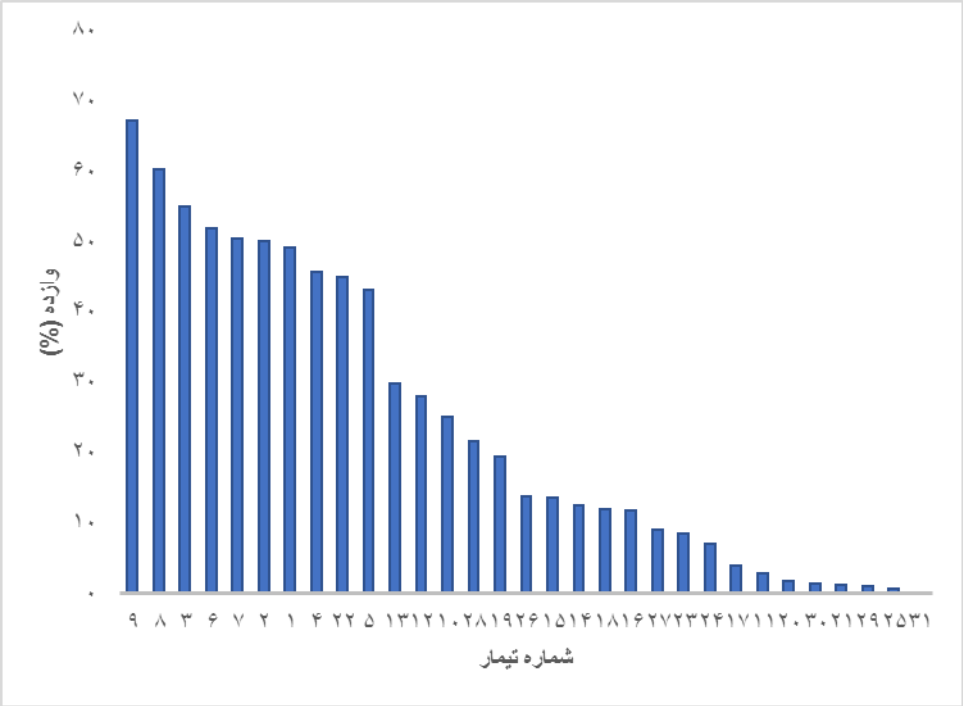
شکل۴: مقایسه بازده کل در تیمارهای مختلف گلیسرول از ساقه کلزا

درشکل ۵ به مقایسه میزان وازده در شرایط مختلف تیمار پرداخته شده است. برطبق نتایج حاصله مشخص گردید که استفاده از اسید و افزایش درصد آن تاثیر قابل ملاحظه ای در کاهش میزان وازده داشته است. افزایش دما اندکی باعث کاهش میزان وازده شده است. همچنین تاثیر نسبت گلیسرول به آب نیز بر کاهش میزان وازده معنی‌دار بوده است. تیمار شماره ۲۵، تیمار شماره ۲۹ و تیمار شماره ۲۱ کمترین درصد وازده (۰/۶۳، ۰/۹۶ و ۱/۱۷) را داشتند.

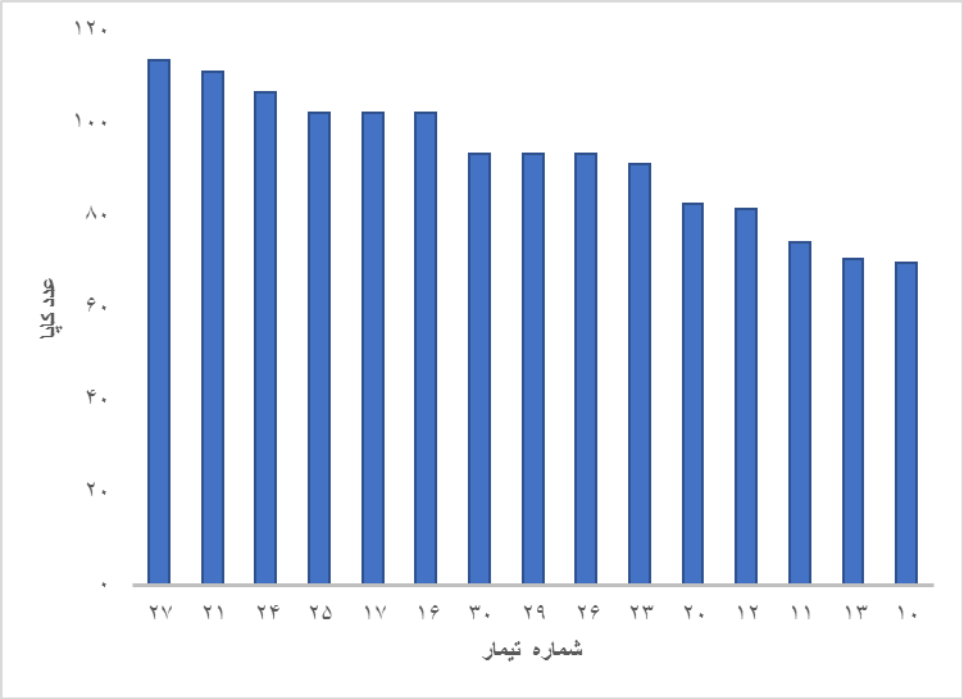
عدد کاپا

شکل ۶ مقایسه عدد کاپا برای تیمارهای با شرایط متفاوت را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری عدد کاپا فقط برای تیمارهایی با بازده قابل قبول الیاف باقی مانده انجام شد.

تیمار شماره ۲۷ بیشترین عدد کاپا (۱۱۳/۵) و تیمار شماره ۱۰ کمترین عدد کاپا (۸۴/۶۹) را دارند. Sefidgaran و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیق خود در خصوص ساقه کلزا عدد کاپای ۶۷/۱۰ تا ۹۷/۱۷ ، Mazhari Mousavi و همکارن (۲۰۰۸) ، عدد کاپا را ۲۴/۳ گزارش کردند. مقایسه با سایر تحقیقات نشان می دهد که در کل گلیسرول در مقایسه با سایر مواد شیمیایی رایج برای لیگنین زدایی عامل شیمیایی ضعیف تری می باشد [۱۴] [۱۵] .با توجه به نتایج به دست آمده، تیمار شماره ۲۷ با شرایط دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد، زمان پخت ۳ ساعت، ۲ درصد اسید سولفوریک، نسبت مایع پخت به ساقه کلزای ۱/۱۲، نسبت گلیسرول به اب ۰/۱۰۰ و استفاده از کلرید کلسیم ۰/۵ مولار به دلیل بازده بعد از غربال مطلوب و وازده مناسب به عنوان تیمار بهینه انتخاب شد.



شکل۵: مقایسه میزان وازده در تیمارهای های مختلف گلیسرول از ساقه کلزا



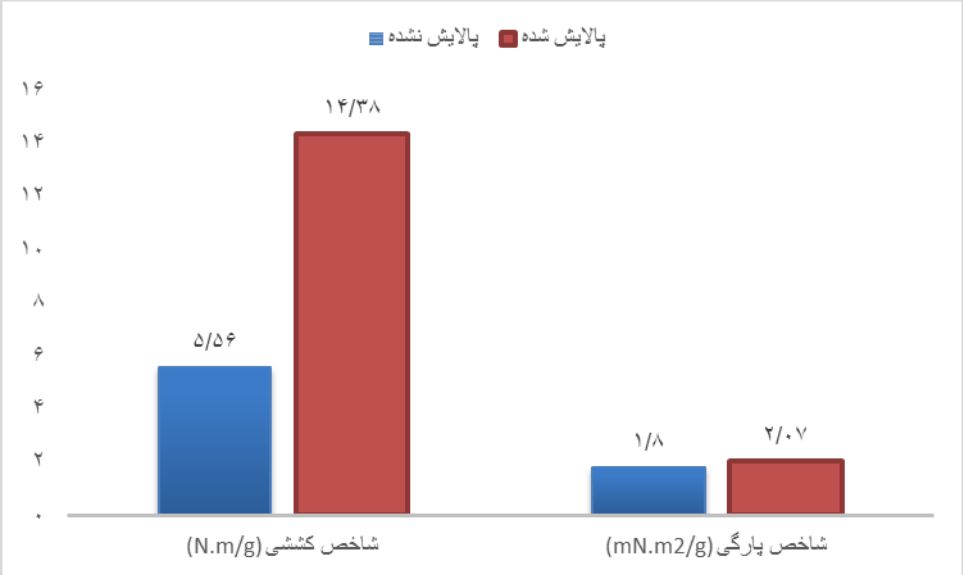
شکل۶: مقایسه عدد کاپا برای تیمارهای مختلف گلیسرول از ساقه کلزا

اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای دست ساز

نتایج شاخص پارگی کاغذهای ساخته شده در شکل ۷ نمایش داده شده است.. با توجه به اینکه مقاومت به پارگی به سه ویژگی تعداد کل الیاف شرکت کننده در پاره شدن ورق، طول الیاف و تعداد و مقاومت پیوندهای لیف به لیف بستگی دارد ،الیاف پالایش شده، مقاومت بیشتری از خود نشان داده‌اند. Hamasi و همکاران (۲۰۰۶) با فرآیند

نیمه شیمیایی سولفیت خنثی (NSSC) از ساقه کلزا کاغذ دست‌ساز ۱۲۷ گرمی در درجه روانی ۳۰۰ CSF با میانگین شاخص مقاومت به پارگی ۲/۰۷ $mN.m^2/g$ تولید کردند[۱۱].Jahan Latibari و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر میزان مصرف مواد شیمیایی بر ویژگی‌های خمیر کاغذ شیمی – مکانیکی از ساقه کلزا خمیر کاغذی با شاخص مقاومت به پارگی ۴/۶۴ $mN.m^2/g$ بعد از ۱۰۰۰ دور پالایش با درجه روانی ۳۰۱ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی تولید کردند[۱۷]. Jahan Latibai و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی با هدف بررسی قابلیت ساخت خمیر کاغذ شیمی ـ مکانیکی از پسماند کلزا میزان شاخص مقاومت در برابر پاره شدن خمیر کاغذهای۵۰۰ دور پالایش شده با درجه روانی حدود ۳۰۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی، را بین ۳/۲۱ تا ۴/۶۸ $mN.m^2/g$ اندازه‌گیری کردند [۱۸]. Ahmadi و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای با هدف تولید خمیرکاغذ نیمه‌شیمیایی سولفیت خنثی (NSSC) ، میزان شاخص پارگی این خمیرکاغذ را ۷/۵ $mN.m^2/g$ ، اندازه‌گیری کردند[۱۹]..

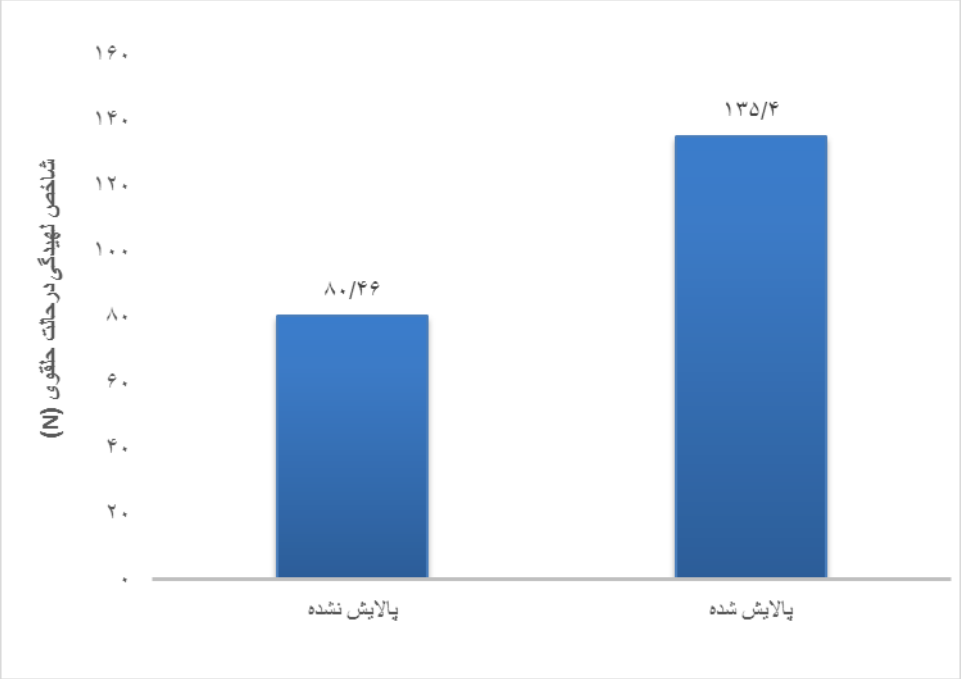
نتایج شاخص کشش کاغذهای ساخته شده در شکل ۷ نمایش داده شده است. شاخص کشش کاغذ پالایش شده بیشتر از کاغذ پالایش نشده بود این امر می‌تواند اثر پالایش بر بهبود ویژگی‌های پیوند بین الیاف و افزایش استحکام خمیر کاغذ باشد.



شکل۷: شاخص کشش و شاخص پارگی الیاف پالایش نشده و پالایش شده ساقه کلزا پس از تیمار با گلیسرول

Hamasi و همکاران (۲۰۰۶) شاخص کشش کاغذ دست‌ساز ۱۲۷ گرمی ساخته شده از خمیرکاغذ NSSC ساقه کلزا را ۴۰ /۲۹ N.m/g گزارش کردند[۱۱]. Jahan Latibari و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه خود در خصوص خمیر کاغذ شیمیایی – مکانیکی ساقه کلزا شاخص کشش ۱۸/۶۱ N.m/g را به دست آوردند [۱۷]. Ahmadi و همکاران (۲۰۱۰) مقدار شاخص کشش کاغذهای دست ساز حاصل از فرایند نیمه‌شیمیایی سولفیت خنثی (NSSC) را ۶۶/۵ N.m/g اندازه‌گیری کردند [۱۹].

نتایج مقاومت به لهیدگی در حالت حلقه خمیرکاغذ ساخته شده در شکل ۸ نمایش داده شده است.. با انجام پالایش و فیبریله شدن الیاف و بهبود پیوند بین الیاف مقاومت به لهیدگی در حالت حلقه افزایش می‌یابد.

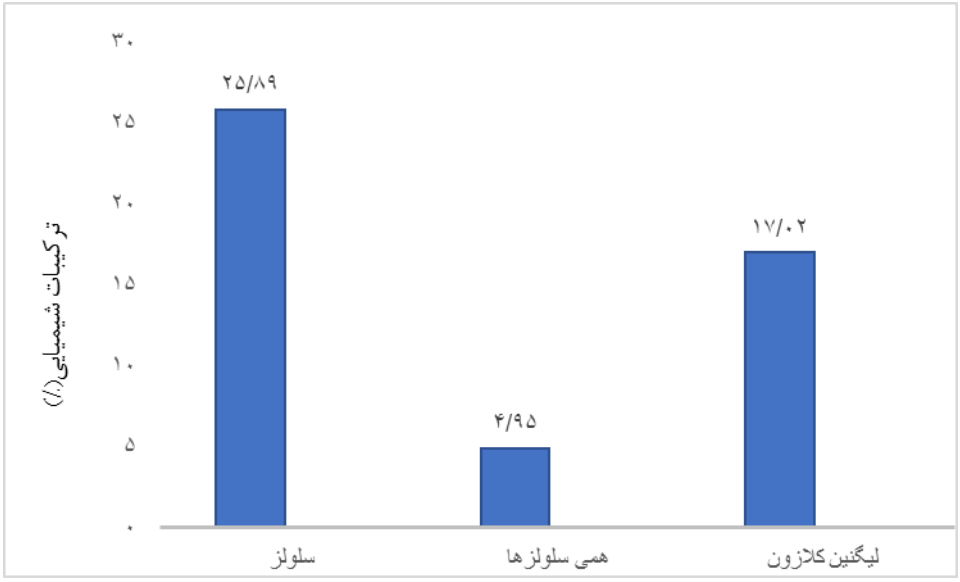


شکل۸: مقاومت به لهیدگی در حالت حلقه الیاف پالایش نشده و پالایش شده ساقه کلزا پس از تیمار با گلیسرول

Hamasi و همکاران (۲۰۰۶) با فرایند نیمه شیمیایی سولفیت خنثی (NSSC) از ساقه کلزا میانگین مقاومت به له شدن حلقوی کاغذ دست ساز ۱۲۷ گرمی را KN/m ۱/۲۳ اعلام کردندکه مشابه با میانگین مقاومت به له شدن حلقوی به دست آمده در این تحقیق (۱/۱۶ KN/m) است [۱۱].

اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی الیاف باقی مانده

ترکیبات شیمیایی الیاف باقی مانده پس از تیمار با گلیسرول در پخت بهینه به منظور تعیین تاثیر شرایط تیمار بر روی انحلال ترکیب شیمیایی ساقه کلزا و میزان آنها در مایع پخت باقی مانده فرآیند گلیسرول اندازه‌گیری شدند. شکل ۹ نتایج را نشان می دهد.



شکل۹: ترکیب شیمیایی الیاف باقی مانده ساقه کلزا پس از تیمار با گلیسرول

نتایج نشان می دهد که حدود ۳۰ درصد از لیگنین پس از تیمار وارد مایع پخت سیاه باقی مانده شده است، این میزان برای سلولز و همی‌سلولزها به ترتیب به میزان ۴۲ درصد و ۸۸ درصد است شرایط اسیدی تیمار با گلیسرول موجب انحلال گسترده همی سلولزهای ساقه کلزا گردیده است که به این ترتیب یک مایع باقی مانده غنی از همی سلولزها را برای مصارف بعدی فراهم نموده است. همی‌سلولزها در صنایع مختلف می‌توانند به فرآورده‌هایی با ارزش بالا مثل سوربیتول (قند دیابتی)، زایلیتـول (عامـل شـیرین کننـده)، اتانول و فورفورال تبدیل شوند که خود مواد سکویی تولید کننده بسیاری از مواد شیمیایی و پلیمری مهم برای مصارف متعدد می باشند [۲۰]. پس از همی سلولزها، سلولز بیشترین انحلال را در اثر تیمار با گلیسرول داشته است. سلولز نیز در صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی، نساجی، الکتریکی، دارویی و بهداشتی دارای کاربردهای فراوانی است [۲۱] که با هیدرولیز و تبدیل آن به گلوکز دامنه کاربردهای آن گسترده تر نیز می گردد. از دیگر ترکیباتی که می‌توان از مایع پخت استخراج کرد لیگنین می‌باشد. از زمینه‌های کاربردی لیگنین می توان استفاده در زمینه پزشکی به دلیل دارا بودن خواص ضد باکتری و آنتی اکسیدان ، رهش کند مواد، پرکننده‌های تقویتی در پلیمرهای ترموپلاستیک، ساخت الیاف کربن و استفاده به عنوان سوخت جامد ، استفاده به عنوان دیسپرسانت یا سورفکتانت و کاربرد در فرمولاسیون رزین ها را بر شمرد[۲۲].

نتیجه گیری

تحقیقات صورت گرفته بر روی تولید خمیرکاغذ از ساقه کلزا با فرآیندهای متداول خمیرکاغذسازی توسط محققین مختلف در طی دهه گذشته نشان می دهد که بر خلاف سایر پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی ، ساقه کلزا ماده اولیه آسانی به جهت لیگنین زدایی نمی باشد و به شرایط پخت شدیدتری جهت تولید خمیرکاغذ در مقایسه با دیگر منابع لیگنوسلولزی غیرچوبی نیاز دارد. این امر به ویژه منجر به بازده بسیار کم خمیرکاغذ شیمیایی کلزا می شود. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که تیمار ساقه کلزا با استفاده از گلیسرول می‌تواند متناسب با عوامل متغیر مختلف، جامد باقی مانده یا الیاف با بازده و عدد کاپای متفاوت تولید کند. میزان لیگنین باقی مانده خمیرکاغذ در این فرآیند در مقایسه با سایر فرآیندهای تولید خمیرکاغذ از ساقه کلزا نظیر فرآیندهای نیمه شیمیایی سولفیت خنثی و شیمیایی متداول بیشتر است. همچنین نتایج حاکی از آن است که که مقاومت‌های مکانیکی کاغذهای دست ساز تهیه شده از الیاف باقی مانده شامل شاخص کشش، شاخص پارگی، و مقاومت به له‌شدن حلقوی شبیه مقاومت‌های خمیرکاغذ تولیدی حاصل از فرآیندهای شیمی-مکانیکی می‌باشد.لذا در بهترین حالت، فرآیند گلیسرول از ساقه کلزا به تولید خمیرکاغذهایی با خصوصیات خمیرکاغذهای شیمی-مکانیکی به استثنای بازده منجر خواهد شد. نتایج بررسی ترکیبات شیمیایی الیاف باقی مانده نشان می دهد که گلیسرول از توانایی اندکی به جهت لیگنین زدایی در شرایط فرآیندی مشابه از نظر دما و زمان در مقایسه با فرآیندهای متداول تولید الیاف خمیرکاغذسازی برخوردار می باشد. محیط اسیدی تیمار با گلیسرول شرایط را برای انحلال گسترده همی سلولزها و سلولز فراهم می آورد که با بازیابی آنها از مایع پخت باقی مانده می توان به مواد سکویی متنوع و در نهایت تحقق مفهوم پالایشگاه زیستی محصول کامل دست یافت.

منابع

[1] Yazdani, A., Adibi, M., 2015. Challenges of production and use of biodiesel as an alternative to fossil fuels. Scientific Quarterly Journal of Process Promotion, 51: 5-24. (In Persian)

[2] Ramadhas, A.S., Jayaraj, S., Muraleedharan, C., 2005. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil, Fuel, Vol. 84, pp 335–340.

[3] Kalia, V. C., Prakash, J. and Koul, S., 2016. Biorefinery for glycerol rich biodiesel industry waste. Indian journal of microbiology, 56(2), 113-125.

[4] Majdian, K., Mohebi, S., 2010. Production and use of biofuels and conversion of biomass to gas in the floating bed of the first conference on bioenergy in Iran, Tehran. (In Persian)

[5] Agricultural Jihad statistics, crop year 2017-2018, first volume: Crops., 2020. Publications of the Ministry of Agricultural Jihad - Vice President of Planning and Economics - Information and Communication Technology Center. (In Persian)

[6] Novo, L. P., Gurgel, L. V. A., Marabezi, K. and Da Silva Curvelo, A. A., 2011. Delignification of sugarcane bagasse using glycerol–water mixtures to produce pulps for saccharification. Bioresource technology, 102(21), 10040-10046

[7] Saberikhah, E., Mohammadi Rovshandeh, J. and Rezayati-Charani, P., 2011. Organosolv pulping of wheat straw by glycerol. Cellulose Chemistry and Technology, 45(1), 67.

[8] Romaní, A., Ruiz, H. A., Pereira, F. B., Domingues, L. and Teixeira, J. A., 2013. Fractionation of Eucalyptus globulus wood by glycerol–water pretreatment: optimization and modeling. Industrial & Engineering Chemistry Research, 52(40), 14342-14352.

[9] Ebrahimian Pourbazari, A., Mohammadi Roshandeh, J., Sabirikhah, A., 2015. Kinetic study of wheat stem lignin removal in papermaking pulp process with glycerol. Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 34 (1): 51-57.

[10] Chotirotsukon, C., Raita, M., Yamada, M., Nishimura, H., Watanabe, T., Laosiripojana, N. and Champreda, V., 2020. Sequential fractionation of sugarcane bagasse using liquid hot water and formic acid-catalyzed glycerol-based organosolv with solvent recycling. BioEnergy Research, 1-18

[11] Hamasi, A. H., Pirouz, M. M., Mirshkarabi, A., 2006. Investigating Mechanical properties of neutral sulfite semi-chemical pulp from rapeseed residues. Journal of Agricultural Sciences, 12 (4): 295-938. (In Persian)

[12] Ahmadi, M., Faizipour, M.M., Jahan Letibari, A. Hedjazi, S., 2010. Mechanical properties of neutral sulfite semi-chemical pulp from rapeseed residues. Biannual scientific-research journal of wood and paper sciences in Iran, 25 (1): 113-125. (In Persian)

[13] Samariha, A., Ibrahim Pourkasmani, J., Mahdavi, S., 2012. Comparison of the NSSC pulp characteristics from Mazandaran wood and paper mill and rapeseed straw NSSC pulp. Iranian Journal of Wood and Paper Sciences, 27(2): 326-337. (In Persian)

[14] Sefigaran, R., Resalati, H., Kazemi Najafi, S., 2006. A Study of the Potentials of Producing Soda Pulps from Colza Straw for Making Fluting Paper. Journal of Natural Resources, 59(2): 433-446. (In Persian)

[15] Mazhari Mousavi, M., Mahdavi, S., Hosseini, Z., Resalati, H., Yousefi, H., 2008. Investigation on Soda-Anthraquinone Pulping of Rapeseed Straw. Iranian Journal of Wood and Paper Science, 24 (1): 69-79. (In Persian)

[16] Molayi, M., Enayati, A. A., Hamzeh, Y., Rustai, M., 2010. Preparation of Bleached Soda Pulp from Canola Stalks. biannual scientific-research journal of Iranian wood and paper sciences, 25 (1): 80-90. (In Persian)

[17] Jahan Latibari, A., Hosseinpour, R., Farnoud, R., Tajdini, A., Sepideh Dem, J., 2010. Investigation on The Effect of Chemical Treatment on The Properties of Chemi-Mechanical Pulp from Rapeseed Stem. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 17 (2): 1-20. (In Persian)

[18] Jahan Letibari, A., Tajdini, A., Sepidehdem, M. J., Ali-Hossein, M., Hosseinpour, R., 2011. Investigating the potential of rapeseed in paper production. Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 3 (4): 83-95. (In Persian)

[19] Ahmadi, M., Latibari, A. J., Faezipour, M., & Hedjazi, S., 2010. Neutral sulfite semi-chemical pulping of rapeseed residues. Turkish Journal of Agriculture and forestry, 34(1), 11-16.

[20] Tatari, A. A., Dehghani Firouzabadi, M. R., 2013. Methods of extraction and application of hemicelluloses in pulp and paper industries. The first national conference on natural resource management. (In Persian)

[21] Hassanzadeh, J., Abdulkhani, A., Khodabandeh, H., 2014. Applications of cellulose and its derivatives in the pharmaceutical industry, the second national conference of new technologies in wood and paper industries, Chalos, https://civilica.com/doc/321281. (In Persian)

[22] Behboudhi, G., Shaishte, K., and Bakshi, L., 2019. An overview of the properties and applications of lignin, the first international conference and the fourth national conference on the protection of natural resources and environment, Ardabil, https://civilica.com/doc/961371. (In Persian)

Investigation on the Potential of Using the Residual Fibers from Fractionation of Canola Stalk with Glycerol in Pulp Production

Abstract

In this research, the fractionation of canola stalks with glycerol as a green solvent and the use of the remaining fibers for pulp production were evaluated. The fractionation of canola stalks was performed at various temperatures and times using alkaline or acidic catalysts, calcium chloride as an additive, and different L:S and glycerol-to-water ratios. The results showed that the screened yield remained constant or decreased with increasing temperature beyond 170° C. Increasing the cooking time after 3 hours had a negative effect on the screened yield. The influence of acidic catalysts on increasing the screened yield was significantly greater than that of alkaline catalysts. An L:S ratio up to 12:1 increased the screened yield, but beyond this, the screened yield remained constant or decreased. Handsheets were prepared, and the tear and tensile indices and RCT strength were measured as 2.07 mNm2/g, 14.38 Nm/g, and 135.4 N, respectively. According to the results, it is possible to produce pulp with strength properties similar to chemi-mechanical pulps. The results also showed that glycerol is suitable for canola stalk fractionation, and the black liquor contained 88% hemicellulose, 44% cellulose, and 30% lignin, which could be utilized as platform chemicals in a biorefinery.

Keywords: Canola Stalk, Whole crop biorefinery, Glycerol, Pulp, Fractionation.

B. Jafari[1]
S. Hedjazi[2*]
Y. Hamze[3]
A. Abdulkhani[3]

[1] MSc Student of Wood industry and Cellulosic Products, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

[2] Associate Professor, Department of Paper Sciences and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

[3] Full Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

[4] Associate Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:
shedjazi@gau.ac.ir

Received: 2023/04/04
Accepted: 2023/06/01