

تعیین شرایط بهینه پخت خمیر کاغذ از ساقه کلزا به روش نیمه شیمیایی سولفیت خنثی جهت ساخت کاغذ فلوتینگ

جعفر ابراهیم پورکاسمانی¹، احمد ثمریها²، مجید کیانی³

چکیده

در این تحقیق، تولید خمیر کاغذ از ساقه کلزا تهیه شده از مزارع کشاورزی استان مازندران، با استفاده از فرآیند نیمه شیمیایی سولفیت خنثی (NSSC)⁴ بررسی شد. بدین منظور نخست خصوصیات آناتومیکی و شیمیایی الیاف حاصل از کلزا اندازه گیری شد. شرایط پخت شامل دما در سطح ثابت 170 درجه سانتی گراد، زمان پخت در سه سطح (20، 30 و 40 دقیقه) و سولفیت سدیم در سه سطح 10، 15 و 20 درصد انتخاب شد و در تمام پخت‌ها، نسبت سولفیت سدیم به بی‌کربنات سدیم 2 به 1 بود. بازده بعد از پخت خمیر کاغذها بین 61 تا 82 درصد متغیر بوده است. با در نظر گرفتن درجه روانی مطلوب فرآیند NSSC خمیر کاغذها تا درجه روانی 400 ± 25 میلی لیتر استاندارد کانادایی پالایش شدند و از هر نمونه خمیر کاغذ، کاغذ دست ساز با وزن پایه 127 g/m^2 تهیه گردید و در نهایت خصوصیات مقاومتی خمیر کاغذها مورد ارزیابی قرار گرفت. با مقایسه تحلیل‌های آماری شاخص‌های مقاومتی، مشخص شد که شرایط پخت 20 درصد سولفیت سدیم و زمان پخت 30 دقیقه به عنوان شرایط بهینه پخت خمیر کاغذ نیمه شیمیایی سولفیت خنثی برای ساخت کاغذ فلوتینگ مناسب می‌باشد. ویژگی‌های کاغذ شامل مقاومت به خرد شدن در حالت کنگره‌ای، مقاومت به له شدن در حالت حلقه، شاخص مقاومت در برابر کشش، شاخص مقاومت در برابر پاره شدن و شاخص مقاومت در برابر ترکیدن به ترتیب 232 KN/m ، $1/96 \text{ KN/m}$ ، $6/19 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ و $2/29 \text{ Kpa.m}^2/\text{g}$ اندازه گیری شده است.

واژه‌های کلیدی: کلزا، خمیر کاغذ، فرآیند نیمه شیمیایی سولفیت خنثی، ویژگی‌های مقاومتی کاغذ، کاغذ فلوتینگ.

1- باشگاه پژوهشگران جوان، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران (مسئول مکاتبات)

jafar_Kasmani@yahoo.com

2- باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران a_samariha@yahoo.com

3- عضو هیئت علمی گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس mjd_kia95@yahoo.com

مقدمه

امروزه محققان و صاحبان صنایع در تلاش هستند تا از فرآیندهایی استفاده کنند که به مواد شیمیایی کمتری نیاز دارند. این مسئله در راستای اهداف زیست‌محیطی می‌باشد. در این راستا، فرآیند NSSC به عنوان یکی از روش‌های تولیدی تامین‌کننده هدف مورد نظر، نیازمند بررسی‌هایی در زمینه بهینه‌کردن روش تولید با اهداف اقتصادی و اکولوژیک بر اساس کاهش مواد شیمیایی مصرفی و استفاده از گونه مناسب می‌باشد [10]. فرآیند نیمه‌شیمیایی سولفیت خنثی (NSSC)، فرآیند دو مرحله‌ای است که طی آن الیاف طبیعی به خمیر کاغذ تبدیل می‌شود و در نهایت این خمیر کاغذ برای ساخت لایه موج میانی مقوای کنگره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد که در کارتن‌سازی و صنایع بسته‌بندی مصرف می‌شود. این لایه، سختی مورد نیاز مقوای کارتن را تامین می‌کند. در این فرآیند از یک ماده شیمیایی مانند سولفیت سدیم خنثی به همراه محلول کربنات سدیم جهت تنظیم pH به منظور فرآوری مقدماتی خرده‌چوب استفاده شده و در نهایت جداسازی الیاف با اعمال نیروی مکانیکی تکمیل می‌شود [16].

در حال حاضر پسماندهای ناشی از فعالیت‌های کشاورزی نظیر کاه گندم، کاه برنج و برخی گیاهان یک‌ساله نظیر کنف، جوت و ... از جمله مواد اولیه مورد استفاده برای تولید خمیر کاغذ می‌باشند [11]. یکی از گیاهانی که به تازگی کشت آن به منظور تولید دانه‌های روغنی در ایران مورد توجه قرار گرفته و سطح زیر کشت آن به سرعت رو به افزایش

است، گیاه کلزا¹ نام دارد [1]. طبق برنامه وزارت جهاد کشاورزی پیش‌بینی می‌شود تا سال 1393 سطح زیر کشت کلزا به حدود 750000 هکتار برسد [9]. تحقیقات اولیه در بررسی بیومتری الیاف کاه کلزا به منظور تهیه خمیر کاغذ نشان‌داد که کاه کلزا، الیاف مناسبی برای تولید خمیر و کاغذ دارد [13]. چندین مطالعه در خصوص استفاده از کلزا به‌عنوان منبع جدید الیاف لیگنوسولوزی جهت استفاده در تهیه خمیر و کاغذ گزارش شده‌است که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

پیروز (1385)، تحقیقی به منظور تولید خمیر کاغذ کلزا به روش نیمه‌شیمیایی سولفیت خنثی انجام دادند. شرایط تهیه خمیر کاغذ نیمه شیمیایی سولفیت خنثی کلزا به منظور ساخت کاغذ دست‌ساز عبارت بود از: زمان پخت 170 درجه سانتی‌گراد و 10 و 20 درصد مواد شیمیایی و زمان پخت 30 و 40 دقیقه. سپس از این خمیر کاغذها کاغذهای دست‌ساز g/m^2 127 تهیه شد [2]. سفیدگران (1382) پتانسیل تولید و ویژگی‌های خمیر کاغذ سودا از پسماندهای کلزا را برای ساخت کاغذ فلوتینینگ و مقایسه آن با کاه برنج را انجام داده و عنوان می‌کند که شاخص مقاومت در برابر پاره‌شدن خمیر کاغذ سودا از کلزا بیشتر از خمیر کاغذ سودا از کاه برنج و شاخص مقاومت در برابر ترکیدن آن کمتر از خمیر کاغذ سودا از کاه برنج بدست آمده‌است [6]. موسوی و همکاران (1388)، به بررسی ویژگی‌های خمیر کاغذ تولید شده به روش سودا - آنتراکینون از ساقه کلزا پرداختند. نتایج این بررسی در مقایسه با سایر گیاهان غیرچوبی نشان‌داد، اگرچه بازده بعد از الک در حد

¹ Brassica napus

ب) اندازه‌گیری ترکیب شیمیایی: اندازه‌گیری درصد سلولز به‌روش کروشنر^۱، درصد لیگنین، درصد مواد استخراجی قابل حل در استن و درصد خاکستر مطابق آیین‌نامه TAPPI^۲ به‌ترتیب بر اساس شماره استانداردهای T222-om-98، T204-cm-97 و T211-om-93 انجام گرفت.

ج) اندازه‌گیری ابعاد الیاف: برای آماده‌سازی نمونه‌های مورد نظر از روش فرانکلین^۳ (1954) استفاده شد. ابعاد الیاف شامل طول و قطرالیاف، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی توسط دستگاه آنالیز تصویری مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و ضرایب بیومتریکی با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد:

$$\frac{L}{d} = \text{ضریب در هم رفتگی (لاگری)}^4$$

$$100 * \frac{c}{d} = \text{ضریب انعطاف پذیری (نرمش)}^5$$

$$100 * \frac{2P}{C} = \text{ضریب رانکل (مقاومت به پارگی فیبر)}^6$$

که در آن: L = طول الیاف، d = قطر الیاف، c = قطر حفره سلولی و p = ضخامت دیواره سلولی می‌باشد.

د) تهیه خمیر کاغذ: برای تهیه خمیر کاغذ نیمه‌شیمیایی سولفیت خشی از لیکور پخت کارخانه چوب و کاغذ مازندران شامل سولفیت سدیم^۷ و کربنات سدیم^۸ به مقدار 10، 15 و 20 درصد (بر مبنای وزن خشک ماده لیگنوسلولزی)، زمان پخت

مطلوبی نبود ولی باتوجه به عددکاپای مناسب و ویژگی‌های مقاومتی در حد مطلوب می‌توان از این ماده لیگنوسلولزی برای تولید خمیر کاغذ در صنایع کاغذسازی بهره‌گیری کرد [8]. اختراع و همکاران (2009) تولید خمیر کاغذ از ساقه کلزا را ارزیابی کرده و کیفیت آن را مطلوب اعلام کردند [13]. عنایتی و همکاران (2009)، به بررسی پتانسیل استفاده از ساقه کلزا جهت استفاده در صنعت کاغذسازی پرداختند. نتایج نشان‌داد که کلزا پتانسیل خوبی جهت استفاده در کاغذسازی را دارد [14]. باتوجه به این‌که کشور ایران با کمبود شدید مواد اولیه لیگنوسلولزی برای تولید کاغذ مواجه است، و با عنایت به توجه دولت به توسعه کشت کلزا و افزایش چشمگیر کشت آن و نیز به دلیل پایین بودن ارزش غذایی ساقه کلزا که حتی استفاده از آن به‌عنوان خوراک دام نیز توصیه نمی‌شود [7]، بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی تولید خمیر کاغذ به روش نیمه‌شیمیایی سولفیت خشی از ساقه کلزا و تعیین شرایط بهینه پخت و نیز بررسی خصوصیات مقاومتی کاغذ حاصل از آن است.

مواد و روش‌ها

الف) نمونه‌برداری: نمونه‌های کلزای مورد آزمایش از یک مزرعه واقع در حوالی شهرستان بابل در استان مازندران جمع‌آوری گردید. پس از جداسازی ناخالصی‌ها به قطعات با طول تقریبی 5 تا 7 سانتی‌متری بریده شده و پس از آن، تا زمان آزمایش در کیسه‌های پلاستیکی به صورت بسته نگهداری شدند.

¹ - Crushner

² - Technical Association of Pulp and Paper Industry

³ - Franklin

⁴ - Slenderness ratio

⁵ - Flexibility ratio

⁶ - Raunkel ratio

⁷ - Na₂SO₃

⁸ - Na₂CO₃

روش‌های استاندارد TAPPI و SCAN¹ به شرح زیر انجام پذیرفت:

• مقاومت به خردشدن در حالت کنگره‌ای

(CMT): آیین‌نامه TAPPI شماره 809 om-99

• مقاومت به له‌شدن در حالت حلقه (RCT):

آیین‌نامه TAPPI شماره 818Om-87 T

• شاخص مقاومت در برابر کشش: آیین‌نامه

TAPPI شماره 240-Om92

• شاخص مقاومت در برابر پاره‌شدن: آیین‌نامه

SCAN شماره 73:P₁₁

• شاخص مقاومت در برابر ترکیدن: آیین‌نامه

TAPPI شماره 403-Om91

ی) تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها:

برای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، به محاسبه میانگین و انحراف معیار اکتفا شد. همچنین برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، در قالب طرح فاکتوریل و از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. سطح اطمینان 95% در نظر گرفته شد. اختلاف میانگین‌ها، با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن گروه‌بندی شدند.

نتایج

ابعاد الیاف

خواص بیومتری ساقه کلزا در مقایسه با سایر منابع الیاف کاغذسازی در جدول ۱ خلاصه شده است.

20، 30 و 40 دقیقه و دمای 170 درجه سانتی‌گراد و نسبت مایع پخت به کلزا (L/W) 10 به 1 استفاده شد. جهت تعیین بازده بعد از پخت، محتویات محفظه پخت بر روی غربال با توری به اندازه سوراخ 200 مش تخلیه شده و پس از فشردن و جداسازی مایع پخت مصرف شده و شستشوی ذرات پخته شده، ماده باقی‌مانده بر روی غربال جمع‌آوری و وزن آن تعیین گردید. سپس با استفاده از یک پالایشگر صفحه‌ای آزمایشگاهی طی دو مرحله عبور، جداسازی الیاف ساقه کلزا پخته شده انجام گرفت. پس از جداسازی الیاف، سوسپانسیون الیاف بر روی غربال با توری به اندازه سوراخ 12 مش تخلیه شده و الیاف عبور کرده از غربال 12 و باقی‌مانده بر روی غربال 200 مش به عنوان خمیرکاغذ قابل قبول انتخاب شدند. درجه روانی اولیه خمیرکاغذ بنابر استاندارد شماره T 227 om-92 آیین‌نامه TAPPI انجام پذیرفت تا میزان پالایش مورد نیاز برای دستیابی به درجه روانی مطلوب برآورده شود. پالایش ثانویه خمیرکاغذ نیز مطابق استاندارد شماره T 248 om-88 آیین‌نامه TAPPI بوسیله دستگاه PFI Mill تا درجه روانی 400 ± 25 میلی‌لیتر استاندارد کانادایی انجام گرفت.

ه) ساخت کاغذ دست‌ساز و اندازه‌گیری

خصوصیات مکانیکی:

پس از تهیه خمیرکاغذ با شرایط ذکر شده در قبل کاغذ دست‌ساز با وزن پایه 127 g/m^2 ، بر اساس استاندارد شماره T 220 om-88 تهیه و خواص مقاومتی کاغذهای یاد شده بر طبق

¹ - Scandinavian Standard for Pulp and Paper Industry

جدول 1- میانگین ابعاد الیاف و ضرایب بیومتری در مقایسه با سایر الیاف کاغذسازی

خواص الیاف	ساقه کلزا	کاه گندم [12]	باگاس [3]	ساقه کلزا [8]	ساقه کلزا [14]
طول (میلی متر)	0/89±0/33	0/74	1/59	1/04	1/17
قطر سلول (میکرومتر)	23/95±6/07	13/20	20/96	28	23/02
قطر حفره (میکرومتر)	14/77±5/23	4/02	9/72	19/09	12/50
ضخامت دیواره سلول (میکرومتر)	4/59±1/97	4/59	4/36	4/91	5/26
ضریب مقاومت به پارگی (%)	62	228	89	51/5	84
ضریب درهم رفتگی (%)	37/16	56/06	76/05	37/1	54/30
ضریب انعطاف پذیری (%)	61/67	30/45	46/37	68/17	50/83

ترکیبات شیمیایی

جدول 2 میانگین میزان ترکیبات شیمیایی کلزا بدست آمده در این تحقیق را در مقایسه با کاه گندم [دنیس¹ و همکاران 2004]، باگاس [ثمری ها 1384]، کاه برنج [رودریگز² و همکاران 2008]، ساقه کلزا [موسوی و همکاران 1388] و ساقه کلزا [عنایتی و همکاران 2009] نشان می دهد.

جدول 2 ترکیب شیمیایی ساقه کلزا و برخی انواع مواد اولیه کاغذسازی (بر اساس وزن خشک %)

ترکیب	ساقه کلزا	کاه گندم [2]	باگاس [3]	کاه برنج [15]	ساقه کلزا [8]	ساقه کلزا [14]
سلولز	44/04±0/87	38/20	55/75	41/20	41/66	42
لیگنین	19/21±0/58	15/30	20/50	21/90	16	17/30
مواد استخراجی	6/03±0/53	7/80	3/25	0/56	1/63	2/50
خاکستر	13/14±0/19	4/70	1/85	9/20	3/46	8/20

ویژگی های خمیر کاغذ

نتایج میانگین بازده خمیر کاغذ تهیه شده از ساقه کلزا در جدول 3 آمده است.

جدول (3) ویژگی های پخت نیمه شیمیایی سولفیت خنثی ساقه کلزا

درجه روانی (ml)	میانگین بازده (%)	شرایط پخت		درجه حرارت پخت °C
		درصد مواد شیمیایی (%)	زمان پخت (دقیقه)	
749	73/33	10	20	170
750	78/67	15		
730	75	20		
710	69	10	30	
705	63/67	15		
707	66	20		
698	79/67	10	40	
690	82	15		
670	61	20		

1- Deniz

2- Rodriguez

همچنین آزمون دانکن بازده مربوط به خمیرکاغذ در سطوح مختلف مواد شیمیایی را در دو گروه جداگانه قرار می‌دهد (جدول 10). در اثر زیاد شدن میزان مواد شیمیایی در مرحله فرآوری شیمیایی، بازده خمیرکاغذ کاهش پیدا می‌کند.

طبق مشاهده خلاصه‌شده در جدول 4، تاثیر عوامل متغیر زمان پخت و مواد شیمیایی بر بازده، در سطح اطمینان 95% معنی‌دار بوده است. آزمون چنددامنه‌ای دانکن جهت مقایسه میانگین بازده نشان‌داد، که بازده خمیرکاغذ تهیه‌شده در سه سطح زمان، در سه گروه جداگانه قرار می‌گیرد،

جدول (4) تجزیه واریانس مقادیر بازده خمیر کاغذ

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
زمان پخت	563/630	2	281/815	271/750	0,000
مواد شیمیایی	359/185	2	179/593	173/179	0,000
زمان پخت * مواد شیمیایی	499/259	4	124/815	120/357	0,000
خطا	16/667	18	1/037		
کل	1440/741	26			

مقاومت به خرد شدن در حال کنگره‌ای CMT (Corrugated Medium Test)

آزمون دانکن مربوط به مقاومت به خرد شدن در حالت کنگره‌ای کاغذ در سطوح مختلف مواد شیمیایی را در سه گروه جداگانه قرار می‌دهد (جدول 10). نتایج نشان‌داد در اثر زیاد شدن میزان مواد شیمیایی و زمان پخت مقاومت به خرد شدن در حالت کنگره‌ای کاغذ حاصل افزایش پیدا می‌کند.

بر طبق جدول 5، تاثیر عوامل متغیر زمان پخت و مواد شیمیایی بر مقاومت به خرد شدن در حالت کنگره‌ای، در سطح اطمینان 95% معنی‌دار بوده است. آزمون چند دامنه‌ای دانکن جهت مقایسه میانگین مقاومت به خرد شدن در حالت کنگره‌ای نشان‌داد، کاغذ تهیه‌شده در سه سطح زمان، در دو گروه جداگانه قرار می‌گیرد، همچنین

جدول (5) تجزیه واریانس مقاومت به خرد شدن در حالت کنگره‌ای کاغذهای دست‌ساز

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
زمان پخت	920/667	2	460/333	92/067	0/000
مواد شیمیایی	11064/667	2	5532/333	1106/467	0/000
زمان پخت * مواد شیمیایی	3743/333	4	935/833	187/167	0/000
خطا	90/00	18	5/000		
کل	15818/667	26			

مقاومت به له شدن در حالت حلقه RCT (Ring Crush Test)

طبق مشاهده خلاصه شده در جدول 6، تاثیر عوامل متغیر زمان پخت و مواد شیمیایی بر مقاومت به له شدن در حالت حلقه، در سطح اطمینان 95% معنی دار بوده است. آزمون چند دامنه‌ای دانکن جهت مقایسه میانگین مقاومت به له شدن در حالت حلقه نشان داد، که کاغذ تهیه شده در سه سطح زمان، در دو گروه جداگانه قرار

می‌گیرد، همچنین آزمون دانکن مربوط به مقاومت به له شدن در حالت حلقه در سطوح مختلف مواد شیمیایی را در سه گروه جداگانه قرار می‌دهد (جدول 10). نتایج نشان داد در اثر زیاد شدن میزان مواد شیمیایی مقاومت به له شدن در حالت حلقه کاغذ حاصل افزایش پیدا می‌کند.

جدول (6) تجزیه واریانس مقادیر مقاومت به له شدگی کاغذهای دست‌ساز

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
زمان پخت	0/104	2	0/052	83/625	0/000
مواد شیمیایی	0/651	2	0/325	523/018	0/000
زمان پخت * مواد شیمیایی	0/248	4	0/062	99/455	0/000
خطا	0/011	18	0/001		
کل	1/014	26			

شاخص مقاومت در برابر کشش¹

طبق مشاهده خلاصه شده در جدول 7، تاثیر عوامل متغیر زمان پخت و مواد شیمیایی بر شاخص مقاومت در برابر کشش، در سطح اطمینان 95% معنی دار بوده است. آزمون چند دامنه‌ای دانکن جهت مقایسه میانگین شاخص مقاومت در برابر کشش نشان داد، که کاغذ تهیه شده در سه سطح زمان، در سه گروه جداگانه قرار می‌گیرد، همچنین آزمون دانکن مربوط به شاخص مقاومت در برابر کشش کاغذ در سطوح مختلف مواد شیمیایی را در سه گروه جداگانه

قرار می‌دهد (جدول 10). نتایج نشان داد در اثر زیاد شدن میزان مواد شیمیایی شاخص مقاومت در برابر کشش کاغذ حاصل افزایش پیدا می‌کند.

قرار می‌دهد (جدول 10). نتایج نشان داد در اثر زیاد شدن میزان مواد شیمیایی شاخص مقاومت در برابر کشش کاغذ حاصل افزایش پیدا می‌کند.

¹ - Tensile Strength Index

جدول (7) تجزیه واریانس شاخص مقاومت در برابر کشش کاغذهای دست‌ساز

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
زمان پخت	149/660	2	74/830	56/706	0/000
مواد شیمیایی	99/563	2	49/782	37/724	0/000
زمان پخت * مواد شیمیایی	25/288	4	6/322	4/761	0/000
خطا	23/753	18	1/320		
کل	298/265	26			

شاخص مقاومت در برابر پاره‌شدن (Tear Strength Index)

شاخص مقاومت در برابر پاره‌شدن کاغذ در سطوح مختلف مواد شیمیایی را در دو گروه جداگانه قرار می‌دهد (جدول 10). نتایج نشان‌داد در اثر زیاد شدن میزان مواد شیمیایی شاخص مقاومت در برابر پاره‌شدن اندکی کاهش می‌یابد که البته به‌نظر می‌رسد این کاهش چندان چشم‌گیر نیست.

طبق مشاهده خلاصه‌شده در جدول 8، تاثیر عوامل متغیر زمان پخت و مواد شیمیایی بر شاخص مقاومت در برابر پاره‌شدن، در سطح اطمینان 95% معنی‌دار بوده‌است. آزمون چند دامنه‌ای دانکن جهت مقایسه میانگین شاخص مقاومت در برابر پاره‌شدن نشان‌داد، که کاغذ تهیه‌شده در سه سطح زمان، در دو گروه جداگانه قرار می‌گیرد، همچنین آزمون دانکن مربوط به

جدول (8) تجزیه واریانس شاخص مقاومت در برابر پاره شدن کاغذهای دست‌ساز

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
زمان پخت	4/694	2	2/347	79/12	0/000
مواد شیمیایی	0/653	2	0/326	11	0/001
زمان پخت * مواد شیمیایی	1/68	4	0/420	14/155	0/000
خطا	0/534	18	0/03		
کل	7/561	26			

شاخص مقاومت در برابر ترک‌شدن¹

مقاومت در برابر ترک‌شدن نشان‌داد، که کاغذ تهیه‌شده در سه سطح زمان، در دو گروه جداگانه قرار می‌گیرد، همچنین آزمون دانکن مربوط به شاخص مقاومت در برابر ترک‌شدن کاغذ در سطوح مختلف مواد شیمیایی را در دو گروه جداگانه قرار می‌دهد (جدول 10).

طبق مشاهده خلاصه‌شده در جدول 9، تاثیر عوامل متغیر زمان پخت و مواد شیمیایی بر روی شاخص مقاومت در برابر ترک‌شدن، در سطح اطمینان 95% معنی‌دار بوده‌است. آزمون چند-دامنه‌ای دانکن جهت مقایسه میانگین شاخص

¹ - Burst Strength Index

جدول 9- تجزیه واریانس شاخص مقاومت در برابر ترکیدن کاغذهای دست‌ساز

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
زمان پخت	0/802	2	0/401	11/337	0/001
مواد شیمیایی	0/447	2	0/224	6/325	0/005
زمان پخت * مواد شیمیایی	0/222	4	0/055	1/568	0/226
خطا	0/636	18	0/035		
کل	2/107	26			

جدول 10- آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای اثرات مستقل زمان پخت و مواد شیمیایی بر بازده و خصوصیات

مکانیکی کاغذهای دست‌ساز حاصل از ساقه کلزا

متغیر	بازده کل (%)	مقاومت به خرد شدن در حالت کنگره‌ای (KN/m)	مقاومت به له شدن در حالت حلقه (KN/m)	شاخص مقاومت در برابر کشش (N.m/g)	شاخص مقاومت در برابر پاره شدن (mN.m ² /g)	شاخص مقاومت در برابر ترکیدن (Kpa.m ² /g)
زمان پخت (دقیقه)	20	182/67 ^a	1/68 ^a	26/43 ^a	6/84 ^b	1/9 ^a
	30	194/33 ^b	1/68 ^a	31/9 ^c	5/93 ^a	2/15 ^b
	40	195/67 ^b	1/81 ^b	27/59 ^b	6/79 ^b	1/75 ^a
مواد شیمیایی (%)	10	171 ^a	1/5 ^a	26/61 ^a	6/73 ^b	1/89 ^a
	15	183 ^b	1/82 ^b	28/09 ^b	6/36 ^a	1/8 ^b
	20	218/67 ^c	1/84 ^c	31/22 ^c	6/47 ^a	2/11 ^c

a, b و c معرف گروه‌بندی آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

در جدول 11، مشخصات فنی کاغذ فلوتینگ تولیدی کارخانه چوب و کاغذ مازندران با گراماژ مختلف درج شده است.

جدول 11- مشخصات فنی کاغذهای فلوتینگ کارخانه چوب و کاغذ مازندران با وزن پایه مختلف

Test method	VALUE				واحد	ITEM	ردیف
	175 g/m ²	150 g/m ²	127 g/m ²	113 g/m ²			
T809 om-93	≥430	≥350	≥300	≥230	KN/m	مقاومت به خرد شدن کنگره (CMT)	1
T818 om-87	≥1/5	≥1/2	≥0/9	≥0/8	KN/m	مقاومت به له شدن حلقه کاغذ (RCT)	2
Scan-p11:73	≥5/14	≥5	≥5/43	≥5/4	mN.m ² /g	مقاومت به پاره شدن	3
T403 om-97	≥1/7	≥1/6	≥1/81	≥1/86	Kpa.m ² /g	مقاومت به ترکیدن	4

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که ساقه کلزا از نظر طول الیاف در دسته الیاف کوتاه با میانگین طول الیاف 0/89 میلی‌متر دسته‌بندی می‌شود. الیاف ساقه کلزا با توجه به سوابق تحقیق بلندتر از الیاف کاه گندم می‌باشد، در حالی که از الیاف باگاس و ساقه کلزا استان گلستان و البرز کوتاه‌تر می‌باشد.

قطر سلول و قطر حفره الیاف کلزا به مراتب قطورتر از الیاف سایر گیاهان غیرچوبی ملاحظه شد، از طرف دیگر ضخامت دیواره سلول ساقه کلزا به دست آمده در این بررسی تقریباً مشابه کاه گندم، باگاس و ساقه کلزا استان گلستان و کمتر از ساقه کلزای استان البرز می‌باشد.

محاسبه ضریب مقاومت به پارگی الیاف ساقه کلزا 62 بدست آمد که بیشتر از الیاف ساقه کلزای استان گلستان و کمتر از الیاف کاه گندم و باگاس و کلزای استان البرز می‌باشد. ضریب درهم‌رفتگی ساقه کلزا 37/16 بدست آمد که مشابه الیاف ساقه کلزای استان گلستان بوده و از الیاف کاه گندم، باگاس و کلزای استان البرز کمتر می‌باشد. به طور کلی میزان قابل قبول برای ضریب درهم‌رفتگی و ضریب مقاومت به پارگی، جهت کاغذسازی به ترتیب بیشتر از 33 و کمتر از 1 اندازه‌گیری می‌شود [17] که در نتیجه الیاف کلزا در این محدوده قرار می‌گیرند.

میزان سلولز ساقه کلزا 44/04 درصد بدست آمد، میزان سلولز مناسب جهت تولید خمیر کاغذ معادل یا بیشتر از 40 درصد می‌باشد [14]، میزان سلولز ساقه کلزا بیشتر از کاه گندم و کاه برنج و

کلزای گلستان و البرز و کمتر از باگاس می‌باشد، میزان لیگنین ساقه کلزا بیشتر از کاه گندم، و کلزای استان گلستان و البرز بوده، و این در حالی است که این میزان کمتر از باگاس و کاه برنج بود. میزان مواد استخراجی محلول در استون ساقه کلزا 6/03 درصد بدست آمد که این میزان کمتر از کاه گندم بود. همچنین میزان خاکستر ساقه کلزا نیز بسیار بالا بود.

با افزایش مواد شیمیایی میزان بازده خمیر کاغذها به علت انحلال مقداری از لیگنین و کربوهیدرات‌ها بخصوص همی‌سلولز کلزا تحت تاثیر سولفیت سدیم کاهش پیدا می‌کند. به طور کلی بیشترین میزان بازده خمیر کاغذهای تهیه شده با مصرف 10 درصد مواد شیمیایی و کمترین آن مربوط به خمیر کاغذهای تهیه شده با مصرف 20 درصد مواد شیمیایی می‌باشد. رودی (1380) در بررسی تولید خمیر کاغذ نیمه‌شیمیایی سولفیت خنثی از ساقه آفتابگردان، دامنه بازده را 43/8 تا 56/02 درصد گزارش داده است که کمتر از میزان گزارش شده در این بررسی می‌باشد [5]. موسوی و همکاران (1388) بازده خمیر کاغذ حاصل از ساقه کلزا را به روش سودا - آنتراکینون در محدوده 35/95 تا 40/5 درصد گزارش داده است [8]. عنایتی و همکاران (2009) بازده خمیر کاغذ حاصل از ساقه کلزا را به روش سودا در محدوده 35/2 تا 43/3 درصد گزارش نموده است [14]. که علت کمتر بودن بازده در این بررسی‌ها نسبت به تحقیق حاضر، می‌تواند تیمار شدیدتر جهت تهیه خمیر کاغذ باشد. ثمریها (1384) بازده خمیر کاغذ

برای ساقه آفتابگردان، ساقه کلزای استان البرز و باگاس بیشتر می‌باشد [2، 3 و 5].

شاخص مقاومت در برابر کشش N.m/g 35/56 بدست آمد. مقایسه با مقادیر یاد شده توسط (موسوی و همکاران 1388)، (رودی 1380)، (پیروز 1385) و (ثمریها 1384) نشان داد که مقدار شاخص مقاومت در برابر کشش ساقه کلزا از مقدار گزارش شده برای ساقه کلزای گلستان، ساقه آفتابگردان و باگاس کمتر و از مقدار گزارش شده برای ساقه کلزای البرز بیشتر می‌باشد [2، 3، 5 و 8].

شاخص مقاومت در برابر پاره شدن $6/19 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ به دست آمد. مقایسه با مقادیر یاد شده توسط (پیروز 1385)، (ثمریها 1384)، (رودی 1380) و (موسوی و همکاران 1388) نشان داد که مقدار شاخص مقاومت در برابر پاره شدن ساقه کلزا از مقدار گزارش شده برای ساقه کلزای گلستان و باگاس کمتر و از مقدار گزارش شده برای ساقه آفتابگردان و ساقه کلزای البرز بیشتر می‌باشد [2، 3، 5 و 8].

شاخص مقاومت در برابر ترکیدن kPam^2/g 2/29 به دست آمد. مقایسه با مقادیر یاد شده توسط (پیروز 1385)، (ثمریها 1384)، (رودی 1380) و (موسوی و همکاران 1388) نشان داد که مقدار شاخص مقاومت در برابر ترکیدن ساقه کلزا از مقدار گزارش شده برای ساقه کلزای گلستان و باگاس کمتر و از مقدار گزارش شده برای ساقه آفتابگردان و ساقه کلزای البرز بیشتر می‌باشد [2، 3، 5 و 8].

حاصل از باگاس را به روش نیمه شیمیایی سولفیت خنثی در محدوده 72/76 تا 84/41 درصد گزارش نموده است [3]. پیروز (1385) بازده خمیرکاغذ حاصل از کلزا را به روش نیمه شیمیایی سولفیت خنثی در محدوده 71/03 تا 84/02 درصد گزارش داده است [2].

افزایش مواد شیمیایی سبب نرم شدن الیاف و افزایش انعطاف پذیری آن و بهبود میزان پالایش پذیری الیاف شده است. در اثر پالایش بهتر، سطح اتصال الیاف بیشتر شده و در نتیجه پیوندهای بین لیفی بیشتری ایجاد شده است. مقاومت کاغذهای دست ساز به خرد شدن در حالت کنگره‌ای، مقاومت به له شدن در حالت حلقه و شاخص مقاومت در برابر کشش آنها تحت تاثیر این عامل افزایش یافته است.

بطور کلی مقایسه مقاومت‌های کاغذ حاصل از ساقه کلزا نسبت به سایر مواد لیگنوسلولزی غیرچوبی به شرح زیر می‌باشد:

مقاومت به خرد شدن در حالت کنگره‌ای 232 KN/m به دست آمد. مقایسه با مقادیر یاد شده توسط (پیروز 1385) نشان می‌دهد که مقدار مقاومت به خرد شدن در حالت کنگره‌ای ساقه کلزا از مقدار گزارش شده برای ساقه کلزای استان البرز کمتر می‌باشد [2].

مقاومت به له شدن در حالت حلقه KN/m 1/96 به دست آمد. مقایسه با مقادیر یاد شده توسط (رودی 1380)، (پیروز 1385) و (ثمریها 1384) نشان می‌دهد که مقدار مقاومت به له شدن در حالت حلقه ساقه کلزا از مقدار گزارش شده

ساقه کلزا با استفاده از 20 درصد مواد شیمیایی، زمان پخت 30 دقیقه و بازده 66 درصد به عنوان خمیرکاغذ بهینه پیشنهاد می‌گردد. در خاتمه باتوجه به کلیه ویژگی‌های ساقه کلزا در خصوص تولید خمیرکاغذ نیمه‌شیمیایی سولفیت ختشی از آن، این ماده اولیه برای تولید کاغذ فلوتینگ باتوجه به ویژگی‌های کاغذ تولید شده توصیه می‌گردد.

ویژگی‌های مقاومتی بدست‌آمده از کاغذ دست‌ساز تهیه‌شده به روش نیمه‌شیمیایی سولفیت ختشی از ساقه کلزا در مقایسه با سایر گیاهان غیرچوبی از جایگاه نسبتاً مناسبی برخوردار می‌باشد. همچنین باتوجه به نتایج به‌دست آمده، و مقایسه آن با مشخصات فنی کاغذهای فلوتینگ (جدول 11) کارخانه چوب و کاغذ مازندران، خمیرکاغذ نیمه‌شیمیایی سولفیت ختشی حاصل از

منابع

7. کاویان، ع (1386). گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی تعیین قابلیت هضم بقایای محصولات کشاورزی و صنایع غذایی استان گلستان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و امور دام استان گلستان.
8. موسوی، م، مهدوی، س. حسینی، ض، رسالتی، ح. یوسفی، ح (1388). بررسی ویژگی‌های خمیر کاغذ تولید شده به روش سودا - آنتراکینون از ساقه کلزا، دوفصل‌نامه علمی - پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران جلد 24، شماره 1، سال 1388.
9. یوسفی، ح. (1384). بررسی پتانسیل ساقه‌ی کلزا برای استفاده در صنایع چوب و کاغذ، دانشکده‌ی منابع طبیعی دانشگاه تهران
10. Area, M. C., Felissia, F. E., Venica, A., and Valade, J. L., (1998) NSSC Process Optimization: II. Spent Liquors, 1998 Pulping Conference Proceeding.
11. Ashori, A. (2006). Nonwood fibers-A potential source of raw material in papermaking, Polymer-Plastic Technology and Engineering 10, 1133-1136.
12. Deniz, I., Kirci, H., and Ates, S. (2004). "Optimisation of wheat straw Triticum drums kraft pulping," Industrial Crops and Production 19, 237-243.
13. Ekhtera, M. H., Azadfallah, M., Bahrami, M., and Mohammadi-Rovshandeh, J. (2009). "Comparative study of pulp and paper properties of canola stalks prepared by using dimethyl formamide or diethylene glycol," Bioresource Technology, 214-233.
1. اداره کل آمار و اطلاعات وزارت کشاورزی (1378)، چهار محصول زراعی و صنعتی (چغندر قند، پنبه، آفتابگردان، نیشکر)، چاپ اول، انتشارات وزارت کشاورزی معاونت و برنامه‌ریزی و بودجه اداره کل آمار و اطلاعات، 136 صفحه.
2. پیروز، م، 1385. بررسی ویژگی‌های خمیر کاغذ نیمه‌شیمیایی سولفیت خنثی از کلزا. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
3. ثمریها، ا، 1384. بررسی ویژگی‌های خمیر کاغذ نیمه‌شیمیایی سولفیت خنثی از باگاس. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
4. رضائی، ف (1384) تهیه خمیر کاغذ روزنامه رنگبری شده از ضایعات کشاورزی - پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
5. رودی، ح، (1381) بررسی تولید خمیر کاغذ نیمه‌شیمیایی سولفیت خنثی از ساقه آفتابگردان و ارزیابی آن به‌منظور تولید کاغذ کنگره‌ای در صنایع چوب و کاغذ مازندران. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس. صفحه 95.
6. سفیدگران، ر (1385). بررسی قابلیت تولید خمیر کاغذ سودا از ساقه کلزا برای ساخت کاغذ فلوتینگ، مجله منابع طبیعی ایران، 59 (2): 447-433.

14. Enayati, A. A., Hamzeh, Y., Mirshokraie, A., and Molaii, M. (2009). "Papermaking Potential of Canola Stalks," *Bioresource Technology*, 245-256.

15. Rodriguez, A., Moral, A., Serrano, L., Labidi, J., and Jimenez, L., (2008). "Rice straw pulp obtained by using various methods," *Bioresource Technology* 99, 2881–2886.

16. Urmanbetova Aselia, 2001. Type of Paper and Containerboard,

Containerboard Grades and tests. Glossary of Mead Corporation available: <http://www.mead.com>

17. Xu, F., Zhong, X. C., Sun, R. C., and Lu, Q. (2006). "Anatomy, ultra structure, and lignin distribution in cell wall of *Caragana Korshinskii*," *Industrial Crops and Production* 24, 186-193.