بررسی ترکیبات شیمیایی و ویژگی‌های مورفولوژیکی مخروط کاج تدا

طاهره قلی‌زاده سرچشمه[1]، **آرش فرج پور رودسری**[2]

تاریخ دریافت: 91/7/18 تاریخ پذیرش: 92/8/6

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی ترکیبات شیمیایی و ویژگی‌های بیومتری الیاف (طول – قطر – ضخامت دیواره الیاف) و ضرایب مشتق‌شده از آنها بر روی مخروط گونه کاج تدا منطقه آستارا استان گیلان انجام شده‌است. مخروط‌ها به‌طور کاملا تصادفی انتخاب و سپس ترکیبات شیمیایی آن از طریق استانداردهای آیین‌نامه TAPPI و ویژگی‌های بیومتری به‌روش فرانکلین اندازه‌گیری و ضرایب بیومتری آنها نیز محاسبه گردید. تجریه و تحلیل آماری نتایج این بررسی نشان داد که میانگین سلولز 75/ 26 درصد و لیگنین 34 درصد و مواد استخراجی در الکل 1 درصد، در استن 2/45 درصد و در آب 7/28 درصد بوده‌است. براساس نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن، قطر الیاف در فلس بالاتر از ساقه بود. این نتیجه در مورد طول الیاف و قطر حفره سلولی نیز صادق می‌باشد. همچنین ضریب درهم رفتگی فلس بیشتر از ساقه، درحالی‌که ضریب انعطاف‌پذیری در ساقه بیشتر از فلس بوده و همگی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد می‌باشند. اما درخصوص ضخامت دیواره‌سلولی و ضریب رانکل اختلاف معنی داری در سطح 5 درصد بین فلس و ساقه مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: ترکیبات شیمیایی، مخروط کاج، ضریب درهم رفتگی، ضریب انعطاف پذیری، ضریب رانکل

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع چوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد آستارا

2- گروه مهندسی صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آستارا، ایران

پست الکترونیک farajpoor.a@ gmail.com

مقدمه

با افزایش جمعیت و با شناخت بیشتر نسبت به نقش جنگل در حفظ محیط زیست، بشر مجددا به مواداولیه لیگنوسلولزی غیرچوبی روی آورد. امروزه خودکفایی در تولید محصولات کاغذی، یکی‌از اهداف مورد توجه دولت‌هاست. در چند دهه‌ی اخیر به‌دلیل رشد فزاینده جمعیت و به‌تبع آن افزایش میزان تقاضا و کاهش شدید منابع جنگلی، روی آوردن به استفاده ازسایر مواد لیگنوسلولزی به‌نظر اجتناب ناپذیر می‌رسد و لزوم اصلاح در روش‌ها و نگرش‌ها در مدیریت منابع طبیعی بیش‌از پیش احساس می‌شود. اصلاح الگوی مصرف مواداولیه فیبری مورداستفاده در صنایع چوب و کاغذ از منابع جنگلی به‌سمت استفاده از سایر مواد لیگنوسلولزی، گامی ناگزیر در مسیر توسعه پایدار و ادامه حیات صنایع چوب وکاغذ کشور قلمداد می‌گردد، با این گام ضمن حمایت از اکوسیستم، نیازها به نحوی پایدار تأمین شده و درعین‌حال نیز هماهنگی و توازن لازم با محیط زیست فراهم می‌آید. ازاین‌رو ما به بررسی ترکیبات شیمیایی و مورفولوژی مخروط گونه کاج تدا پرداختیم که هم محصولی است لیگنوسلولزی و خشبی و هم از فرآورده‌های جنگل می‌باشد و بعد از خروج بذرها از داخل فلس آن استفاده خاصی هم از آن به‌عمل نمی‌آید.

گونه‌ی کاج تدا (نام علمی: Pinus taeda) نوعی درخت از دسته مخروطیان است که برگ-های دایمی دارد. برگ‌های آن سوزنی شکل هستند و شامل مخروط‌هایی استوانه‌ای و آویزان،10تا 16 سانتی‌متر طول و3 تا 4 سانتی‌متر پهنا دارد. در ابتدا سبز رنگ بوده، ولی موقع رسیدن قهوه‌ای می‌شود. فلس‌های بارور نازک و لوزی تا تخم‌مرغی شکل و نوک آنها بریده یا دندانه‌دار است. بذر بالدار درخت پنهان و خیلی کوتاه‌تر از فلس‌ها می‌باشد و ازآنجایی‌که این گونه بومی منطقه ایران نمی‌باشد، به‌صورت جنگل‌کاری در منطقه شمال و خارج از شمال کاشت گردیده-است.

ازآنجایی‌که الیاف و ترکیبات شیمیایی چوب درختان از عوامل مهم تاثیرگذار در صنایع خمیرکاغذ و سایر صنایع سلولزی محسوب می-شود (هورن[1]، 1974 و 1978؛ وروریس[2] و همکاران 2004). با مطالعه بر روی ویژگی‌های مذکور می‌توان مناسب‌بودن گونه‌های چوبی و غیرچوبی را برای صنایع خمیر کاغذ پیش بینی نمود (کلوگ و سیکسون[3]، 1975؛ ماتولسکی[4]، 1975). مطابق با مطالعات صورت گرفته طول‌فیبر به تنهایی (هورن، 1978؛ واتسون و ددسول[5]، 1961؛ سس[6]، 1988) و طول و ضخامت دیواره با هم (اولوادر[7] ، 2007) در خمیر کوبیده‌نشده بر روی ویژگی مکانیکی به‌خصوص مقاومت‌به پارگی تاثیر قابل توجهی دارد (هورن، 1974؛ اولوادر، 2007). اما ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ تولیدی پس‌از کوبیده‌شدن بیشتر متأثراز ضریب‌های بیومتری الیاف (ضریب‌لاغری، ضریب انعطاف‌پذیری و ضریب رانکل) می‌باشد

[1] - Horn
[2] - Ververis
[3] - Kellogg and Thykeson
[4] - Matolcsy
[5] - Wetson and Dadswell
[6] - Seth
[7] - Oluwadare

(اولوادر، 2007؛ هورن، 1978). مقاومت‌به ترکیدگی و مقاومت‌به کشش دو صفتی هستند که به‌صورت قابل توجهی تحت تأثیر هر دو عامل طول و ضخامت دیواره الیاف هستند، ازاین‌رو ضریب انعطاف‌پذیری L/T نقش مهمی بر روی مقاومت‌های مذکور دارد. الیافی که دیواره ضخیم دارند از زبری بیشتر و درنتیجه فضای خالی بین آنها بیشتر خواهد بود اما برعکس الیافی که حفره فیبر پهن و دیواره نازک دارند، در هنگام کوبیده-شدن تمایل به نواری‌شدن داشته در نتیجه اتصال الیاف به الیاف و طبعاً مقاومت‌به کشش و مقاومت‌به ترکیدگی کاغذهای حاصل‌از آنها بهبود خواهد یافت (هورن، 1974؛ اولوادر، 2007؛ اوسدر[1]، 2001 ؛ بریت کنس[2] 1970).

بنابراین جدای از ویژگی‌های مورفولوژی، ترکیبات شیمیایی ماده‌اولیه (مقدار لیگنین و سلولز) برروی ویژگی‌های مقاومتی کاغذ تاثیرگذار است که برجسته‌ترین نتایج حاصل‌از این گونه مطالعات را می‌توان ارتباط مستقیم مقاومت کششی کاغذ با مقدار سلولز ماده اولیه و نامطلوب بودن بیوپلیمر لیگنین در فرآیند کاغذ سازی دانست (ماداکادز[3] و همکاران؛ 1999).

بنابراین این پژوهش دو هدف عمده را پی‌گیری می‌نماید؛ (الف): اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی (ب): مقایسه بیومتری الیاف و همچنین ضریب-های مشتق‌شده از آنها، به‌منظور پیش‌بینی خصوصیات کاغذسازی و سایر صنایع‌سلولزی.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این تحقیق تعدادی مخروط گونه‌ی کاج تدا در منطقه آستارا (در ایران) از درختان تقریبا هم سن یک منطقه جنگل‌کاری شده تهیه و به آزمایشگاه شیمی دانشکده تحصیلات تکمیلی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آستارا منتقل گردید.

جهت اندازه‌گیری درصد ترکیبات‌شیمیایی، مخروط‌هایی به‌طور کاملا تصادفی انتخاب و طبق استاندارد شماره T 257 om-85 آیین‌نامه TAPPI جهت تهیه آرد اقدام شد. بدین‌ترتیب که ابتدا مخروط‌ها را به تراشه یا پوشال و سپس پوشال‌ها توسط آسیاب به آرد تبدیل شدند. آرد تهیه شده بااستفاده‌از الک طبقه‌بندی شد. از آرد باقی‌مانده بر روی الک 80 مش برای تعیین درصد سلولز و لیگنین و از آرد باقی‌مانده برروی الک 60 مش برای تعیین درصد مواد استخراجی استفاده شد.

جهت اندازه‌گیری ترکیبات‌شیمیایی از استانداردهای آیین‌نامه TAPPI استفاده گردید:

1- درصد سلولز: براساس استاندارد شمارهٔ T 264 om-88

2- درصد لیگنین: براساس استاندارد شمارهٔ T 222 om-88

3- درصد مواداستخراجی محلول در الکل- استن: براساس استاندارد شمارهٔ T 204 om-88

4- درصد مواد قابل حل در آب گرم: براساس استاندارد شمارهٔ T 207 om-88

هم چنین جهت اندازه‌گیری ابعاد الیاف و محاسبه ضرایب بیومتری از روش فرانکلین

[1] - Osadare
[2] - Brit Kenneth
[3] - Madakadze

استفاده گردید. ابتدا فلس‌ها از تنه اصلی مخروط جدا و از هر قسمت تراشه‌هایی تهیه گردید. سپس تراشه-ها را در لوله‌ی آزمایش قرار داده و مخلوط اسید استیک و آب اکسیژنه به‌نسبت مساوی (1:1) به آنها افزوده شد و درب لوله‌های آزمایش بسته و به‌مدت 48 ساعت در دمای 60 درجه در داخل اتو قرار گرفتند. پس‌از این مدت نمونه‌ها از اتو خارج و با آب مقطر شستشو گردیدند و لوله‌های آزمایش جهت دفیبره‌شدن به‌شدت تکان داده‌شدند. پس‌از رنگ‌آمیزی توسط ماده سفرانین و قرارگیری برروی لام‌های میکروسکوپی از هر قسمت تعداد 60 تراکئید به-طور تصادفی انتخاب و صفات طول تراکئید، قطر تراکئید، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی ازطریق عدسی چشمی مدرج میکروسکوپ اندازه‌گیری و سپس صفات ضریب در هم رفتگی (لاغری)[1]، ضریب انعطاف‌پذیری (نرمش)[2] و ضریب رانکل (مقاومت‌به پارگی)[3] مطابق فرمول‌های زیر محاسبه شدند (حسینی، 1379؛ فامیلیان و لشکر بلوکی، 1386؛ آگبنایا و همکاران[4]، 1997) .

برای محاسبه ضرایب بیومتریک از فرمول‌های زیر استفاده شد:

$= \frac{L}{d}$ ضریب در هم رفتگی (لاغری)

$\frac{C}{d} \times 100 =$ ضریب انعطاف‌پذیری (نرمش)

$\frac{2P}{C} \times 100 =$ ضریب رانکل (مقاومت‌به پارگی)

که در آن، L = طول الیاف، C = قطر حفره-سلولی و ، d = قطر الیاف، و P = ضخامت دیواره سلولی می‌باشد.

سپس نتایج به‌دست آمده در آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند و طرح آماری براساس نرم‌افزار sass انجام شد.

نتایج

الف) ترکیبات شیمیایی مخروط کاج

ترکیب شیمیایی ازلحاظ تأثیر بر خصوصیات کاغذ دارای اهمیت می‌باشد. لذا مقادیر ترکیبات شیمیایی مخروط کاج تدا در جدول 1 ارایه شده است.

[1] - Slenderness ratio
[2] - Flexibility ratio
[3] - Raunkel ratio
[4] - Ogbonnaya et al

جدول 1- ترکیب شیمیایی مخروط کاج

ترکیب شیمیایی	میانگین (%)
سلولز	26 /75
لیگنین	34
مواد استخراجی در الکل	1
مواد استخراجی در استن	2/45
مواد استخراجی در آب	7/28

ب) مشخصات مرفولوژیک الیاف مخروط کاج : در جدول 2 میانگین طول، قطر، قطرحفره سلولی وضخامت دیواره الیاف مخروط کاج تدا به‌همراه انحراف معیار و ضریب تغییرات ارایه شده‌است.

جدول 2- مشخصات مرفولوژیک الیاف مخروط کاج و ضرایب بیومتریک

متغیر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
طول(mm)	2/327	0/448	19/24
قطر(µm)	26/616	0/763	2/87
قطر حفره سلولی(µm)	16/016	1/708	10/67
ضخامت دیواره(µm)	5/3	0/644	12/15
ضریب رانکل(%)	39/81	5/24	13/16
ضریب در هم رفتگی	88/53	15/49	17/5
ضریب نرمش یا انعطاف پذیری(%)	60/19	5/24	8/71

نتایج آماری بین فلس و ساقه نشان داد که به‌غیراز قطر حفره‌سلولی در سایر خصوصیات مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول 3). از نظر طول، قطر، قطر حفره‌سلولی و ضریب در هم رفتگی فلس دارای مقادیر بیشتر بود (جدول 4). و ازنظر ضریب نرمش یا انعطاف‌پذیری ساقه نسبت‌به فلس برتری داشت.

جدول 3- تجزیه واریانس متغیرهای مورد بررسی برای فلس و ساقه

منبع تغییر	درجه آزدی	طول	قطر	قطر حفره سلولی	ضخامت دیواره	ضریب رانکل	ضریب در هم رفتگی	ضریب نرمش یا انعطاف پذیری
ارتفاع	1	0/749*	0/138 ns	9/983*	1/944**	114/616**	1039/73**	114/616**
اشتباه آزمایشی	4	0/063	0/694	1/152	0/033	5/686	39/961	5/686
ضریب تغییرات		10/82	3/13	6/7	3/4	5/99	7/14	3/96

ns به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

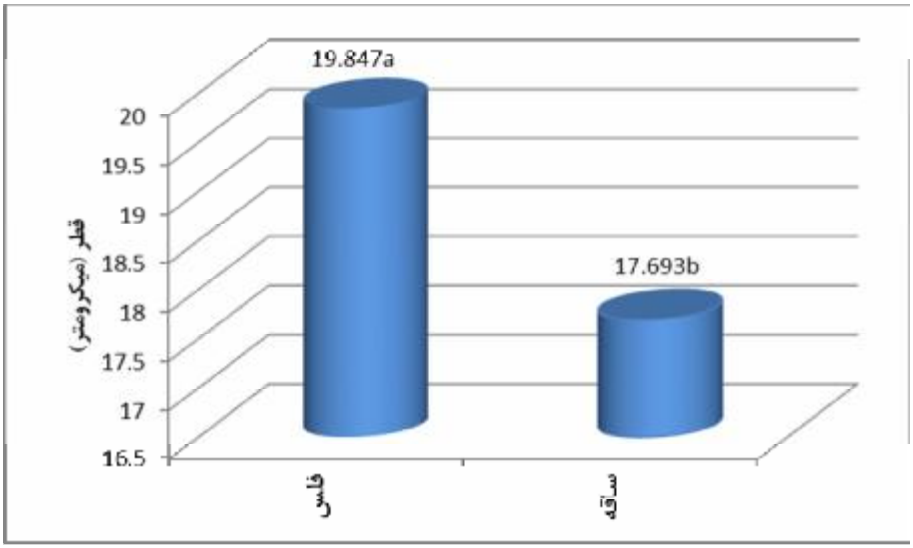
*و** به ترتیب به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد می‌باشد

جدول4– مقایسه میانگین اثرات ساده متغیرهای مورد بررسی برای فلس و ساقه

تیمار	طول (mm)	قطر(µm)	قطر حفره سلولی (µm)	ضخامت دیواره(µm)	ضریب رانکل(%)	ضریب در هم رفتگی	ضریب نرمش یا انعطاف پذیری(%)
فلس	0/776a	19/847a	12/45a	3/7a	39/08a	62/727a	0/597b
ساقه	0/677b	17/693b	10/317b	3/69a	38/267a	58/31b	0/717a

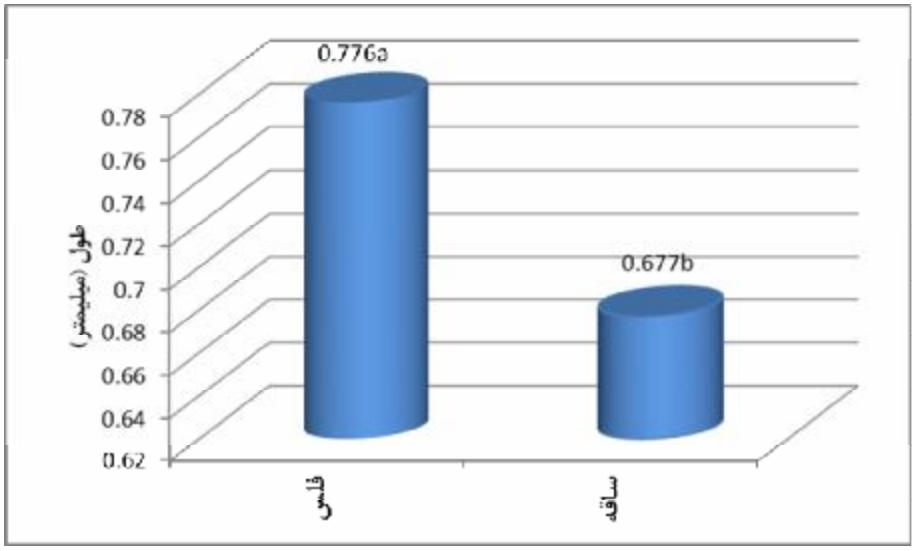
- حروف مشابه به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد

براساس نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن، قطر الیاف در فلس بالاتر از ساقه بود (شکل1). این نتیجه درمورد طول الیاف (شکل 2) و قطر حفره‌سلولی (شکل 3) نیز صادق بود. اما در-خصوص ضخامت دیواره‌سلولی با وجود بالابودن ضخامت در فلس از نظر آماری این اختلاف معنی‌دار نبوده و یکسان تلقی شدند (شکل 4). درخصوص ضریب رانکل نیز اختلافی بین فلس و ساقه مشاهده نشد (شکل 5). ضریب درهم-رفتگی در فلس بیشتر از ساقه بود (شکل 6) اما ضریب انعطاف‌پذیری در ساقه بیشتر از فلس می-باشد (شکل 7).



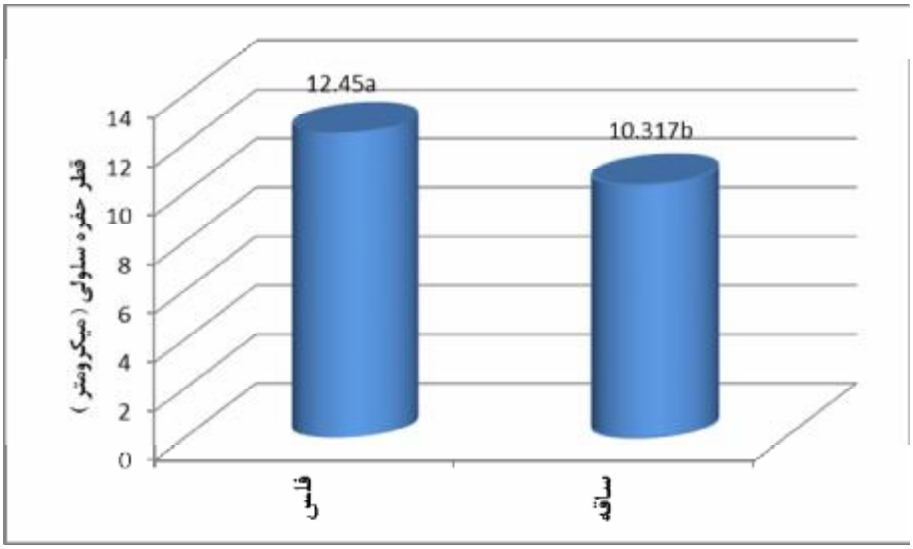
شکل 1- مقایسه قطر بین تیمارهای موردمطالعه

*حروف غیر مشابه به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن است



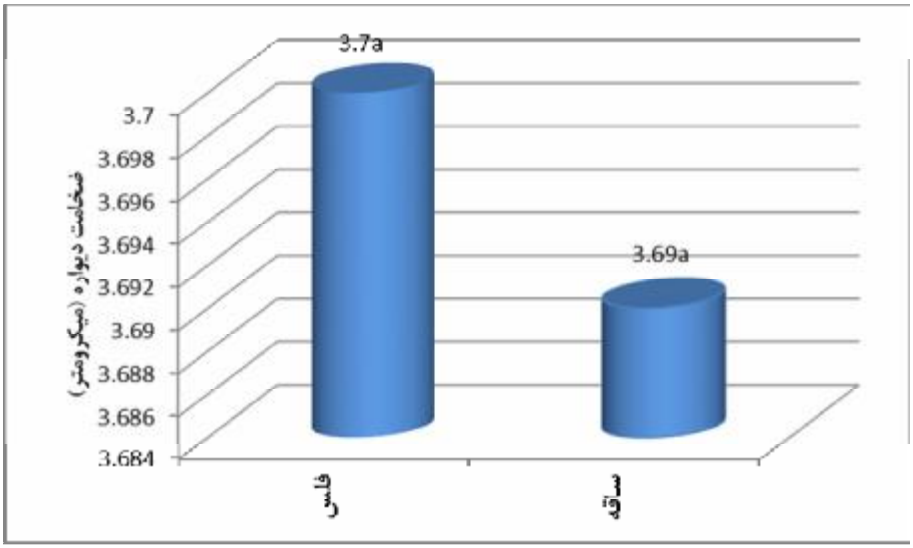
شکل 2- مقایسه قطر بین تیمارهای مورد مطالعه

*حروف غیر مشابه به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن است



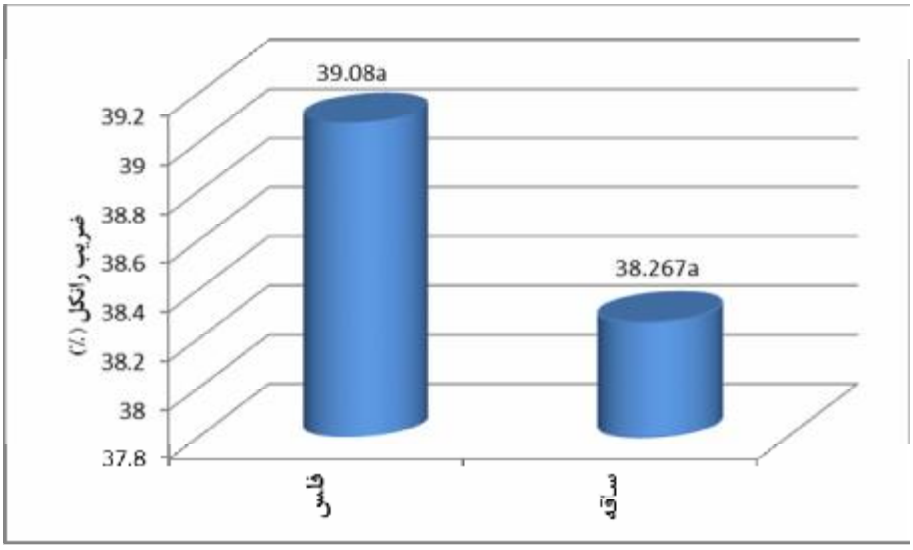
شکل 3- مقایسه قطر حفره سلولی بین تیمارهای مورد مطالعه

*حروف غیر مشابه به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن است



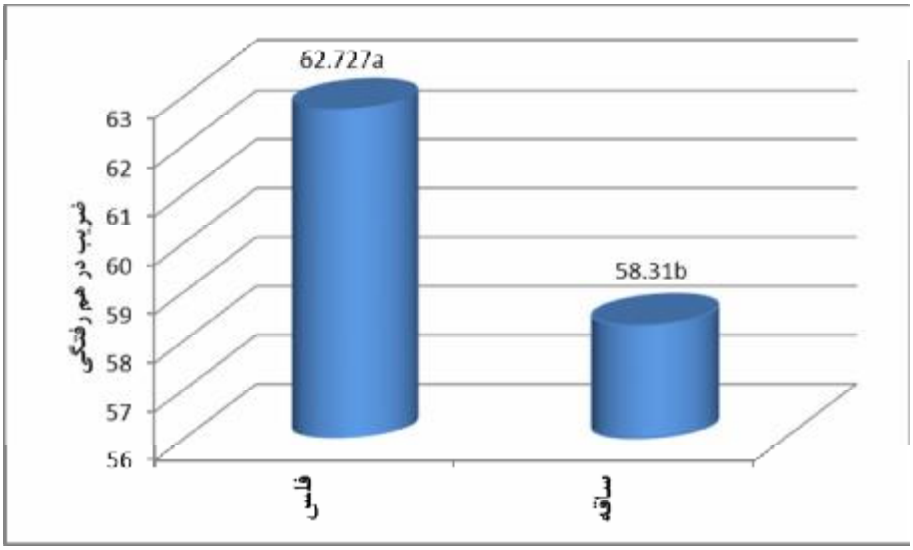
شکل 4- مقایسه ضخامت دیواره سلولی بین تیمارهای مورد مطالعه

*حروف غیر مشابه به منزله اختلاف معنی دار در سطح احتمال 5 درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن است



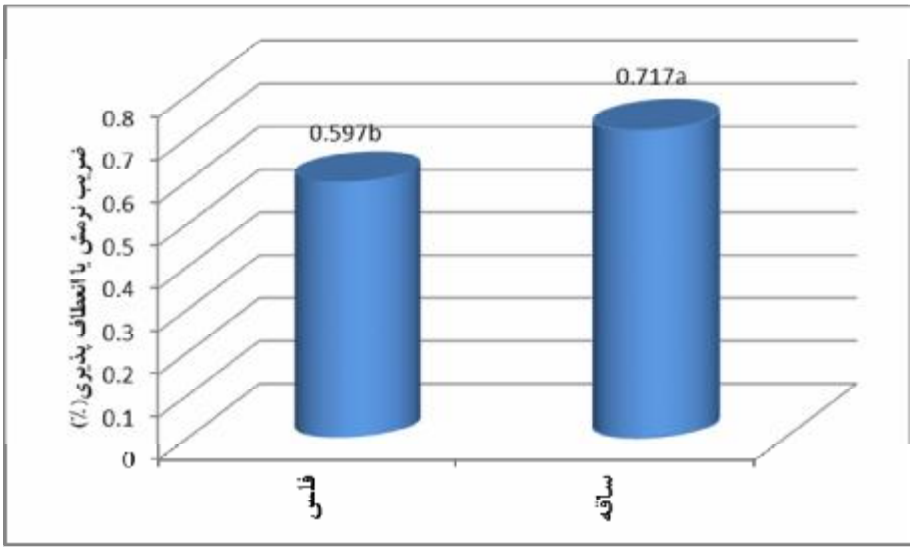
شکل 5- مقایسه ضریب رانکل بین تیمارهای مورد مطالعه

*حروف غیر مشابه به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن است



شکل 6- مقایسه ضریب درهم رفتگی بین تیمارهای مورد مطالعه

*حروف غیر مشابه به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن است



شکل 7- مقایسه ضریب انعطاف‌پذیری بین تیمارهای مورد مطالعه

*حروف غیر مشابه به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن است

نتیجه‌گیری

سلولز: میانگین میزان سلولز مخروط کاج مورد آزمون 75/ 26 % اندازه‌گیری شد. در مقایسه با سلولز بعضی ازگیاهان غیرچوبی نظیر کاه گندم 42/5 % (احسان حسینی 1383)، ساقه کلزای منطقه شمال کشور 41/1 % (سفیدگران 1382)، ساقه آفتابگردان 47/27 % (حمیدرضا رودی 1380) و گزارشات مختلف موجود در خصوص

باگاس، یعنی55/85 % (شیخی 1383)، 54/3 % (حسین‌زاده 1384)، و 55/75 % (ثمریها 1384)، از میزان کمتری برخوردار است.

لیگنین: در این مطالعه میانگین میزان لیگنین آزمایش شده برابر 34 % تعیین شد. مقدار لیگنین مخروط کاج در مقایسه با گیاهان چوبی بیشتر بوده و این عامل نکته منفی در انتخاب مخروط کاج به‌عنوان ماده‌اولیه در صنایع کاغذسازی محسوب می‌گردد. در مقایسه با لیگنین کلزای منطقه شمال کشور 17/6 % (سفیدگران 1382)، کاه گندم 29 % (احسان حسینی 1383)، کاه جو 28/43 %، ذرت خوراکی 22/44 %، نی 23/98 % (فخریان 1377)، آفتابگردان 21/20 % (حمیدرضا رودی 1380)، باگاس 21/4 % (حسین‌زاده 1384) و ساقه پنبه رقم ورامین 29/6 % (کامیار صالحی و همکاران)، مخروط کاج از مقدار لیگنین بیشتری برخوردار است.

مواد استخراجی

در این تحقیق، مواد استخراجی در الکل 1 درصد، در استن 2/45 درصد و در آب 7/28 درصد اندازه‌گیری شده‌است. این مقادیر از اندازه-گیری‌های مشابه که درخصوص کاه گندم توسط حسینی در سال 1383 (4/37 %) و مهدوی در سال 1377 (3/6 %)، کلش برنج خمام 4/04 % (فخریان 1377)، نی هورالعظیم 1/58 % (فامیلیان 1376)، ساقه آفتابگردان 3/61 % (حمیدرضا رودی 1380)، ساقه پنبه 5/35 % (ایزدیار 1377)، باگاس 3/2 % (ثمریها 1384) انجام شده، بیشتر می‌باشد.

به‌عبارت‌دیگر، میزان مواداستخراجی مخروط کاج از بقیه مواد لیگنوسلولزی غیرچوبی بیشتر است. مواد استخراجی شامل انواع موم‌ها، تانن‌ها، اسیدهای چرب، اسیدهای رزینی و انواع هیدروکربن‌ها، نمک‌ها و پروتیین‌ها می‌باشند که بسته‌به شرایط پخت، یک عامل منفی یا بی اثر در فرایند محسوب می‌شود پخت می‌باشند. در فرایندهایی که از سود (NaOH) به‌عنوان ماده-اصلی پخت استفاده می‌شود، مواداستخراجی مقداری از سود را به‌مصرف می‌رسانند که به مصرف خنثی‌کردن این مواد در حین فرایند پخت می‌رسد. به‌همین‌دلیل وجود این مواد، عاملی منفی در روش‌های قلیایی محسوب می‌گردد.

ابعاد الیاف: اندازه‌گیری خواص آناتومیک بر روی 60 عدد تراکئید سالم در ساقه و 60 عدد تراکئید سالم در پولک و به‌طور کل بر روی 120 عدد تراکئید انجام شد. توسط طول الیاف در ساقه مخروط کاج تدا 2/680 میلی‌متر و در فلس-های مخروط 1/973 میلی‌متر و میانگین آن در کل مخروط 2/327 میلی‌متر اندازه‌گیری شد. متوسط قطر در ساقه مخروط 26/762 میکرومتر و در فلس‌های مخروط 26/464 میکرومتر و میانگین آن در کل مخروط 26/616 میکرومتر، متوسط قطرحفره سلولی در ساقه مخروط 17/306 میکرومتر و در فلس‌های مخروط 14/726 میکرومتر و میانگین آن در کل مخروط 16/016 میکرومتر و متوسط ضخامت دیواره الیاف در ساقه مخروط 4/73 میکرومتر و در فلس‌های مخروط 5/86 میکرومتر و میانگین آن در کل مخروط 5/3 میکرومتر اندازه‌گیری شد.

الیاف ازنظر طولی در سه سطح طبقه‌بندی می‌شوند: دسته اول الیاف کوتاه با طول کمتر از 0/9 میلی‌متر، دسته دوم الیاف متوسط، با طول 0/9 تا 1/9 میلی‌متر، دسته سوم الیاف با طول بیشتر از1/9 میلی‌متر که الیاف بلند می‌باشند که الیاف مخروط کاج در این کلاسه قرار دارند.

بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده، طول-الیاف ساقه گندم 1/132 میلی‌متر (احسان حسینی 1383)، باگاس 1/594 میلی‌متر (ثمریها 1384)، ساقه آفتابگردان 0/958 میلی‌متر (حمیدرضا رودی 1380)، کلش برنج منطقه خمام 0/77 (فخریان 1377) و ساقه پنبه 0/915 (مژگان شکوهی 1376) گزارش شده است. ملاحظه می‌شود که طول الیاف مخروط کاج از متوسط طول الیاف دیگر منابع لیگنوسلولزی قابل دسترس در ایران بیشتر می‌باشد.

متوسط قطر الیاف در ساقه مخروط 26/762 میکرومتر و در فلس‌های مخروط 26/464 میکرومتر و میانگین آن در کل مخروط 26/616 میکرومتر که نسبت‌به گیاهان دیگر، قطر بیشتری دارد. که به‌نسبت، قطر زیادی محسوب می‌شود. قطر الیاف اندازه‌گیری شده در مورد کاه گندم 14/50 میکرومتر (احسان حسینی 1383)، باگاس 20/96 میکرومتر (ثمریها 1384)، کلش برنج منطقه خمام 12/17 میکرومتر (فخریان 1377) گزارش شده‌است. قطر الیاف در مورد الیاف‌کاغذ بیان‌کننده انعطاف‌پذیری الیاف در فرایند پالایش خمیر کاغذ می‌باشد. به‌عبارت دیگر هرچه الیاف ضخیم‌تر باشند، ضربه‌پذیری بیشتری دارند و مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهند.

متوسط ضخامت دیواره‌سلولی در ساقه‌مخروط 4/73 میکرومتر و در فلس‌های مخروط 5/86 میکرومتر و میانگین آن در کل مخروط 5/3 میکرومتر اندازه‌گیری شد. این مشخصه در مورد کاه گندم 4/48 میکرومتر (مهدوی 1377)، باگاس 5/638 میکرومتر (ثمریها 1384)، کلش برنج منطقه خمام 3/87 میکرومتر (فخریان 1377) و ساقه پنبه 3/18 میکرومتر (مژگان شکوهی 1376) گزارش شده‌است. ضخیم بودن دیواره‌سلولی باعث افزایش دانسیته فیبر می‌گردد که این ویژگی تاثیر مستقیم در خواص مقاومتی الیاف دارد. هر چه دیواره الیاف ضخیم‌تر باشد، الیاف در برابر نیروهای مکانیکی وارده از خود مقاومت بیشتری نشان می‌دهند و در برابر تغییر شکل نیز مقاومت می‌کنند. بر اثر این خاصیت، قابلیت انعطاف‌پذیری و مچاله‌شدن الیاف کم می‌شود همچنین افزایش ضخامت دیواره‌سلولی الیاف، باعث افزایش ماتی، زبر و حجیم شدن کاغذ می‌گردد. به‌علاوه قابلیت جذب و نگهداری آب کاغذ افزایش پیدا می‌کند. بدین‌ترتیب مقاومت در برابر پاره‌شدن کاغذ ساخته‌شده از این الیاف افزایش پیدا کرده و طول پاره‌شدن نیز افزایش می‌یابد.

ضریب درهم‌رفتگی: میانگین ضریب انعطاف‌پذیری در ساقه مخروط 69/ 101 % و در فلس‌های مخروط 37/ 75% و میانگین آن در کل مخروط 88/53 % تعیین شد. این ضرایب در مورد کاه گندم 78/08 % (احسان حسینی 1383)، ساقه کلزای منطقه شمال کشور 50/1 % (سفیدگران 1382)، باگاس 76/05 % (ثمریها 1384)، کلش برنج خمام 63/27 % (فخریان

1377)، نی‌هورالعظیم 69/35 % (فامیلیان 1376) و ساقه پنبه 52/07 % (کامیار صالحی و همکاران) گزارش شده‌است. مقدار این ضریب بین 20 الی 150 متفاوت است. هرچه مقدار آن بیشتر باشد، بیانگر بلندتر و لاغرتر بودن الیاف است. این عامل باعث افزایش کیفیت کاغذ ساخته‌شده می‌گردد. بدین‌ترتیب الیاف مخروط کاج نسبت‌به دیگر منابع غیر چوبی از ضریب درهم رفتگی بیشتری برخوردار است.

ضریب انعطاف‌پذیری: میانگین ضریب انعطاف‌پذیری در ساقه مخروط 64/55 % و در فلس‌های مخروط 55/81 % و میانگین آن در کل مخروط 60/19 % تعیین شد. ضریب انعطاف-پذیری برای کاه گندم 44/51 % (مهدوی 1377)، ساقه کلزای منطقه شمال کشور 54/18 % (سفیدگران 1382)، ساقه آفتابگردان 40/58 % (حمیدرضا رودی 1380)، باگاس 46/37 % (ثمریها 1384)، کلش برنج خمام 36/48 % (فخریان 1377) و نی‌هورالعظیم 20/56 % (فامیلیان 1376) گزارش شده‌است. هرچه این ضریب بیشتر باشد، مقاومت کاغذ در برابر گسیخته‌شدن، ترکیدن و تاخوردن بیشتر می‌شود. از آن‌جایی‌که میزان این ضریب در مخروط کاج نسبت‌به دیگر منابع غیرچوبی بیشتر است می‌توان انتظار داشت که کاغذ تولید شده از مخروط کاج دارای مقاومت‌های خوبی در مقابل کشش، تاخوردگی و ترکیدن باشد.

ضریب رانکل: میانگین ضریب رانکل در ساقه مخروط 35/44 % و در فلس‌های مخروط 44/18 % و میانگین آن در کل مخروط 39/81 % تعیین شد. این میزان برای گیاهان غیرچوبی نظیر کاه گندم 124/79 % (مهدوی 1377)، ساقه کلزای منطقه شمال کشور 83/82 % (سفیدگران 1382)، ساقه آفتابگردان 98/73 % (حمیدرضا رودی 1380)، باگاس 116/02 % (ثمریها 1384) و کلش برنج خمام 174/32 % (فخریان 1377)، گزارش شده‌است. هر چه این ضریب بزرگتر باشد، مقاومت کاغذ در برابر پاره شدن بیشتر است. ضریب رانکل اندازه‌گیری شده در مورد مخروط کاج، از ضریب مربوطه برای اکثر گیاهان چوبی و غیرچوبی کمتر است. بدین‌ترتیب می‌توان انتظار داشت که کاغذهای ساخته‌شده از الیاف کلزا دارای مقاومت در برابر پاره‌شدن کمتری نسبت به کاغذهای ساخته شده از گیاهان چوبی و غیرچوبی برخوردار باشد.

منابع

1. حسین‌زاده، فخریان، گلبابایی، مهدوی، نجفی (1379) بررسی ویژگی‌های خمیرکاغذ چوب گونه اکالیپتوس میکروتکا و کاربرد آنها، تحقیقات چوب‌وکاغذ شماره 13 نشریه شماره 255 موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.
2. حسینی، ض. 1379. مرفولوژی الیاف در چوب و خمیر کاغذ. انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، صفحه 288.
3. صالحی، کامیار (1379) بررسی و تعیین ویژگی‌های خمیرکاغذ شیمیایی مکانیکی بازده زیاد از باگاس، تحقیقات چوب و کاغذ شماره 10، نشریه شماره 232 موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.
4. فامیلیان، ح.، لشکر بلوکی، ا. 1386. مقایسه تطبیقی بیومتری الیاف دو کلن موفق صنوبر در استان گیلان.مجله تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران. 22، (2): 141-132.

5-Brit Kenneth, W. 1970. A hand book of pulp and paper technology. Second Edition. Van Nostrand Reinhold Company New York. P.327.

6- Franklin, C.L. 1964. A rapid method of softening wood for microime sectioning , Batone rouge, 134pp.

7-Horn, R.A., 1974. Morphology of pulp fiber from softwoods and influence on paper strength. USDA Forest Service. Research Paper FPL 312, FOR. Prod. Lab, Madison, WI, USA.

8-Horn, R.A., 1978. Morphology of pulp fiber from hardwoods and influence on paper strength. USDA Forest Service. Research Paper FPL 242, FOR. Prod. Lab, Madison, WI, USA.

9-ISO. 1990. ISO STANDARD 9184-1. Paper, board and

pulps. Fibers furnish analysis. Part: General method. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

10-Kellogg, R.M., Thykeson, E., 1975. Predicting kraft mill paper strength from fiber properties. Tappi 58 (4), 131-135.

11-Madakadze, I.C., Radiotis , T., Li, J., Goel, K., Smith, D.L., 1999. Kraft pulping characteristics and pulp properties of warm season grasses. Bioresour. Technol. 69, 75-85.

12-Matolcsy, G.A., 1975. Correlation of fiber dimensions and wood properties with the physical properties of kraft pulp of Abies balsamea L. (Mill.). Tappi 58 (4), 136-141.

13-Ogbonnaya, C.I., Roy-Macauley, H., Nwalozie, M.C., Annerose, D.J.M., 1997. Physical and histochemical properties of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) grown under water deficit on a sandy soil. Ind. Crop Prod. 7, 9-18.

14-Oluwadare, A.O. and Ashimiyu Sotannde, *O.* 2007. The Relationship Between Fibre Characteristics and Pulp-sheet Properties of *Leucaena leucocephala*(Lam.) De Wit. Middle-East Journal of Scientific Research 2 (2): 63-68.

15-Osadare, A.O., 2001. Basic wood and pulp properties of Nigerian-grown Caribbean pine (Pinus caribaea Morelet) and their relationship with tree growth indices. Ph.D. thesis University of Ibadan, pp: 347.

16-Seth, R.S., Page, D.H., 1988. Fiber Properties and tearing resistance. Tappi J. 71 (2), 103 – 107.

17- Tappi Test Methood, 1999. Technical Association of pulp & paper industry, 135pp.

18-Ververis, C., K. Georghiou, N. Christodoulakis, P. Santas and R. Santas. 2004. Fiber dimensions lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. Industrial Crop and Products J, 19,Pp 245-254.

19-Watson, A. J. and H.E.Dadswell. 1961. Influence of fiber morphology on paper properties. Part. Fibre Length, APPITA, 14. No. 5, CSIRO, Australia, pp168-178.