



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد هجدهم، شماره سوم، ۱۳۹۰

www.gau.ac.ir/journals

## ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری خمیر کاغذ کرافت رنگ بری نشده اکالیپتوس میکروتکا (*Eucalyptus microtheca*) ایران شهر

\*علی قاسمیان<sup>۱</sup>، احمدرضا سرائیان<sup>۲</sup> و جمیله لسان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۲/۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۱۷

### چکیده

از گونه اکالیپتوس میکروتکا (*Eucalyptus Microtheca*) منطقه ایران شهر (استان سیستان و بلوچستان) خمیر کاغذ کرافت رنگ‌بری نشده تهیه و ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری آنها شامل وزن پایه، ضخامت، دانسیته، حجیمی، مقاومت کششی، مقاومت به پاره شدن، مقاومت به ترکیدن، درجه روشنی و ماتی اندازه‌گیری شد. برای تعیین بهترین تیمار آزمایشی از نظر مجموع ویژگی‌های مکانیکی و نوری کاغذهای دست‌ساز از روش امتیازدهی بر اساس محاسبه معادله نرمال‌سازی استفاده شد. ویژگی‌های مکانیکی و نوری خمیر کاغذ کرافت حاصل از بهترین تیمار آزمایشی به شرح زیر تعیین گردید: شاخص مقاومت کششی  $40/5 \text{ Nm/g}$ ، شاخص مقاومت به پاره شدن  $5/68 \text{ mNm}^2/\text{g}$ ، شاخص مقاومت به ترکیدن  $2/95 \text{ kPam}^2/\text{g}$ ، درجه روشنی  $17/77$  درصد ایزو و ماتی  $9/57$  درصد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که خمیر کاغذ کرافت رنگ بری نشده این گونه در منطقه ایران شهر از ویژگی‌های مکانیکی و نوری مناسبی برای تولید کاغذ بسته‌بندی برخوردار بوده و بنابراین توسعه کشت آن در منطقه یاد شده با هدف تامین بخشی از مواد اولیه سلولزی مورد نیاز صنایع خمیر و کاغذ کشور توصیه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** اکالیپتوس میکروتکا، خمیر کاغذ کرافت، ویژگی‌های مکانیکی، ویژگی‌های نوری، کاغذ

بسته‌بندی

\*مسئول مکاتبه: ghasemian@gau.ac.ir

## مقدمه

امروزه در دنیا کمبود روز افزون منابع سلولزی یکی از چالش‌های عمده صنایع تهیه خمیر کاغذ و کاغذسازی محسوب می‌شود. یکی از روش‌های پاسخ‌گویی به این مشکل کاشت درختان تند رشد در نقاط مناسب می‌باشد و متخصصان امر از دیر باز بر این باورند که در سطح جهانی جنگل‌داری نوین باید به سمت تولید چوب از گونه‌های تند رشد با دوره‌های بهره‌برداری کوتاه جهت‌یابی نماید (بوسیا، ۱۹۶۳). در کشور ما نیز با بهره‌گیری از این روش اقدام به کاشت گونه‌های تند رشد در نقاط مختلف کشور شده است. اعتقاد بر این است که در میان درختان مختلف تند رشد، گونه‌های مختلف اکالیپتوس به‌عنوان یک گزینه مهم مطرح می‌باشند (رشیدی، ۲۰۰۲). در این رابطه طی سال‌های اخیر گونه‌های مختلف اکالیپتوس در بسیاری از استان‌های ایران به‌ویژه استان‌های جنوبی کشور مثل فارس، کرمان و سیستان و بلوچستان کاشته شده‌اند و نتایج به‌دست آمده در مورد ویژگی‌های مختلف چوب‌های آنها تاکنون مثبت بوده است. گونه اکالیپتوس میکروتکا (*Eucalyptus Microtecha*) یکی از گونه‌های مهم اکالیپتوس می‌باشد که به مقدار نسبتاً زیادی در استان سیستان و بلوچستان و سایر استان‌ها کاشته شده و به‌رغم این کشت گسترده، بررسی‌های پژوهشی محدودی در مورد آن به‌عمل آمده است. فخریان‌روغنی و همکاران (۲۰۰۰) ویژگی‌های خمیرهای کاغذ کرافت اکالیپتوس میکروتکای منطقه ممسنی (فارس) را مورد بررسی قرار دادند. با شرایط ثابت سولفیدیت ۲۵ درصد و درجه حرارت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و قلیائیت موثر بین ۱۸-۱۰ درصد، بازده خمیرهای کاغذ بین ۳۶/۴-۵۳/۳ درصد و عدد کاپای آنها بین ۲۱/۷-۸۷/۴ به‌دست آمد. مقادیر طول پاره شدن، شاخص مقاومت به پاره شدن و شاخص مقاومت به‌ترکیدن به‌ترتیب برابر ۵/۴-۶/۹ km، ۸/۲-۱۱ mNm<sup>2</sup>/g و ۳/۹۶-۴/۸۴ kPam<sup>2</sup>/g به‌دست آمد. به‌طورکلی نتایج به‌دست آمده نشان داد که خمیر کاغذ کرافت این گونه از ویژگی‌های کاغذسازی مناسبی برخوردار است. کریستوا و همکاران (۲۰۰۶) ویژگی‌های خمیر کاغذ حاصل از روش‌های مختلف قلیایی چهار گونه اکالیپتوس، از جمله اکالیپتوس میکروتکای کاشته شده در کشور سودان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج ترکیبات شیمیایی گونه اکالیپتوس میکروتکای ۸ و ۱۰ ساله سودان به‌ترتیب بدین شرح گزارش شد: سلولز ۴۲/۳ و ۴۳/۷ درصد، لیگنین ۲۰/۷ و ۲۰/۳ درصد، مواد استخراجی محلول در الکل- بنزن ۴/۸ و ۳/۸ درصد، مواد استخراجی محلول در قلیا ۱۵/۸ و ۱۳/۲ درصد، مواد استخراجی محلول در آب گرم ۷ و ۵/۴ درصد و خاکستر ۰/۷ و ۰/۶ درصد. مقدار شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذهای حاصل ۸/۷-۷/۲ mNm<sup>2</sup>/g

شاخص مقاومت به ترکیدن  $4/9-4/3$  kPam<sup>2</sup>/g، شاخص مقاومت کششی  $73/1-66/1$  Nm/g، درجه روشنی  $23/5$  درصد و دانسیته ظاهری  $0/77-0/72$  g/cm<sup>3</sup> به دست آمد. موجه و همکاران (2005) اثر پالایش بر خمیرهای کاغذ کرافت اکالیپتوس و حلال آلی<sup>1</sup> ضایعات درخت زیتون را با هم مقایسه کردند. نتایج نشان دادند که خمیر کاغذ کرافت اکالیپتوس از سطح ویژه، طول پارگی و شاخص مقاومت به ترکیدن بیشتر نسبت به خمیر کاغذ حلال آلی زیتون برخوردار بوده ولی برای رسیدن به درجه مشخصی از پالایش، خمیر کاغذ دوم به انرژی کمتری نیاز دارد. مقدار حداکثر شاخص مقاومت به ترکیدن خمیر کاغذ کرافت اکالیپتوس  $8/3$  kPam<sup>2</sup>/g در میزان پالایش حدود SR 35 به دست آمد و با ادامه پالایش تقریباً ثابت باقی ماند. در مجموع این طور نتیجه گیری شد که استفاده از خمیر کاغذ حلال آلی ضایعات زیتون در اختلاط با خمیر کاغذ کرافت اکالیپتوس منجر به تولید کاغذی با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مناسب و نیز کاهش هزینه‌های پالایش در مقایسه با خمیر کاغذ کرافت اکالیپتوس به تنهایی خواهد شد.

در مورد سایر گونه‌های تند رشد اکالیپتوس در ایران نیز بررسی‌های تحقیقاتی مختلفی صورت گرفته است. به عنوان مثال، رشیدی (2002) تولید خمیر کاغذ کرافت اکالیپتوس کاملدولنسیس و قابلیت جایگزینی آن با خمیر الیاف بلند وارداتی را مورد بررسی قرار داد و ویژگی‌های کاغذ دست ساز حاصل از آن را به این صورت گزارش نمود: شاخص مقاومت به پاره شدن  $6/32$  mNm<sup>2</sup>/g، شاخص مقاومت کششی  $49/13$  Nm/g، شاخص مقاومت به ترکیدن  $3/16$  kPam<sup>2</sup>/g و طول پارگی  $5/03$  km. همچنین مقادیر درجه روشنی و ماتی نیز به ترتیب معادل  $67/3$  و  $91/8$  درصد به دست آمد. همان گونه که مشاهده می‌شود، در مورد شناخت و ویژگی‌های مختلف کاغذسازی گونه‌های تند رشد اکالیپتوس به ویژه اکالیپتوس میکروتکای کاشته شده در مناطق جنوب کشور، بررسی‌های تحقیقاتی بسیار محدودی (فقط یک مورد) انجام شده است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف مطالعه ویژگی‌های خمیر کاغذ کرافت رنگ بری نشده اکالیپتوس میکروتکای منطقه ایرانشهر در استان سیستان و بلوچستان و امکان‌سنجی استفاده از آن به عنوان ماده اولیه سلولزی مناسب برای تولید خمیر کاغذ کرافت انجام شد.

1- Organosolv

## مواد و روش‌ها

تعداد سه اصله درخت اکالیپتوس میکروتکا (*Eucalyptus Microtecha*) با سن تقریبی ۸ سال، میانگین ارتفاع ۵ متر و قطر متوسط ۱۵ سانتی‌متر (ارتفاع برابر سینه) از نهالستان اداره منابع طبیعی شهرستان ایرانشهر انتخاب و قطع شده و سپس به آزمایشگاه خمیر و کاغذ دانشکده جنگلداری و فناوری چوب دانشگاه گرگان انتقال یافتند. خرده چوب‌های مورد نیاز برای تهیه خمیر کاغذ کرافت تهیه و هوا خشک شدند و بعد از تعیین درصد رطوبت آنها، خمیر کاغذ کرافت براساس ۳ سطح قلیائیت موثر (۱۶، ۱۸ و ۲۰ درصد)، ۴ سطح سولفیدیت (۱۵، ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد) و ۳ سطح زمان (۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ دقیقه) به شرح مندرج در جدول ۱ (بخش نتایج و بحث) را نگاه کنید) تهیه شد. همچنین درجه حرارت خمیر کاغذ سازی ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و نسبت مایع پخت به وزن خشک چوب برابر ۵ به ۱ بود. در مجموع ۱۲ تیمار آزمایشی در نظر گرفته شد و از هر تیمار آزمایشی، خمیر کاغذ در ۳ تکرار تهیه گردید. خمیرهای کاغذ حاصل از هر تکرار، شستشو و هوا خشک شده و سپس بازده بعد از غربال در هر تیمار آزمایشی محاسبه شد. عدد کاپای خمیرهای کاغذ براساس دستورالعمل شماره ۹۹-۲۳۶ om آیین‌نامه تاپی<sup>۱</sup> اندازه‌گیری گردید. براساس نتایج حاصل از بازده و عدد کاپای خمیرهای کاغذ حاصل از ۱۲ تیمار آزمایشی (جدول ۲) و با توجه به روش کار انجام شده در پژوهش‌های سایر پژوهشگران (فخریان‌روغنی و همکاران ۲۰۰۰، رشیدی ۲۰۰۲، کریستوا و همکاران ۲۰۰۶). خمیرهای کاغذ به‌دست آمده از تیمارهای آزمایشی شماره ۷ (خمیر کاغذ کد A)، شماره ۸ (خمیر کاغذ کد B)، شماره ۱۰ (خمیر کاغذ کد C) و شماره ۶ (خمیر کاغذ کد D) که دارای مناسب‌ترین مقادیر بازده و عدد کاپا بودند به‌عنوان خمیرهای کاغذ برتر و بهینه انتخاب شده و براساس شرایط خمیر کاغذسازی تیمارهای آزمایشی یادشده (جدول ۱) از آنها مجدداً خمیر کاغذ کرافت به مقدار کافی تهیه شد. سپس این خمیرهای کاغذ تا رسیدن به درجه روانی حدود ۴۰۰ (CSF، ml) توسط دستگاه پالایشگر<sup>۳</sup> آزمایشگاهی، پالایش شده و از هر کدام بر اساس دستورالعمل شماره T272 sp-02 آیین‌نامه تاپی کاغذهای دست‌ساز به‌صورت جداگانه ساخته شد. ویژگی‌های

1- Technical Association of the Pulp and Paper Industries

2- Canadian Standard Freeness

3- PFI (Papirindustriens Forsknings Institute) Mill

فیزیکی، مکانیکی و نوری کاغذهای دست‌ساز براساس دستورالعمل‌های مربوطه در آئین‌نامه تاپی به شرح زیر اندازه‌گیری شدند:

وزن پایه کاغذ T 410 om-02، ضخامت کاغذ T 411 om-05، مقاومت کششی T 494 om-01، مقاومت به پاره شدن T 414 om-04، مقاومت به ترکیدن T 403 om-02، درجه روشنی T 452 om-02، ماتی T 425 om-01 تجزیه و تحلیل آماری ویژگی‌های کاغذهای دست‌ساز براساس طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS به روش آنالیز واریانس یک طرفه<sup>۱</sup> انجام شد. آزمون تجزیه واریانس در مورد هر یک از ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری انجام شده و نتایج حاصل ثبت شدند. برای تعیین بهترین تیمار آزمایشی از نظر مجموع ویژگی‌های مکانیکی و نوری از روش امتیاز دهی بر اساس محاسبه معادله نرمال‌سازی استفاده گردید.

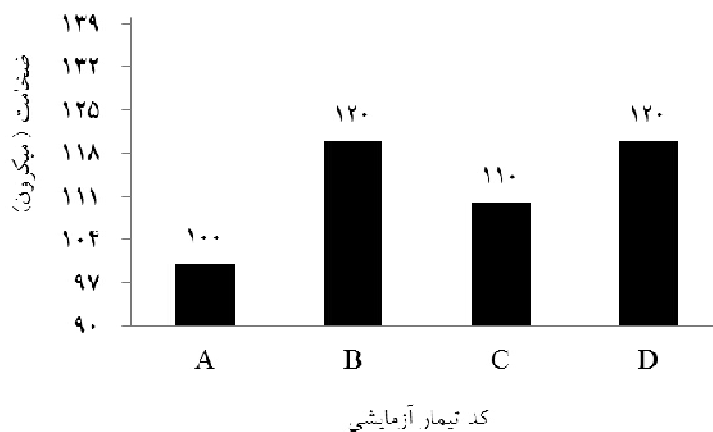
### نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری مقادیر بازده بعد از غربال و عدد کاپای خمیرهای کاغذ حاصل از ۱۲ تیمار آزمایشی به شرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱- مقادیر بازده بعد از غربال و عدد کاپای خمیرهای کاغذ کرافت اکالیپتوس میکرونکای ایرانشهر تحت شرایط مختلف پخت.

شماره تیمار	۱	۲	۳	۴	۵	۶(D)	۷(A)	۸(B)	۹	۱۰(C)	۱۱	۱۲
قلیانیت موثر (درصد)	۱۶	۱۶	۱۶	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۲۰	۲۰	۲۰
سولفیدیت (درصد)	۲۵	۲۵	۲۵	۱۵	۲۵	۲۵	۲۵	۳۵	۴۵	۲۵	۲۵	۲۵
زمان (دقیقه)	۹۰	۱۳۵	۱۸۰	۱۳۵	۹۰	۱۳۵	۱۸۰	۱۳۵	۱۳۵	۹۰	۱۳۵	۱۸۰
بازده (درصد)	۴۴/۷	۴۳/۳	۴۱/۳	۴۴/۱	۴۲/۳	۴۲/۲	۴۰/۹	۴۱/۸	۳۹/۲	۳۹/۹	۳۹/۳	۳۸/۳
عدد کاپا	۴۹/۱	۴۸	۴۱/۴	۴۳/۷	۳۷/۸	۳۵/۵	۳۳/۷	۳۴/۹	۳۴/۱	۳۵/۶	۳۲/۷	۳۱/۵

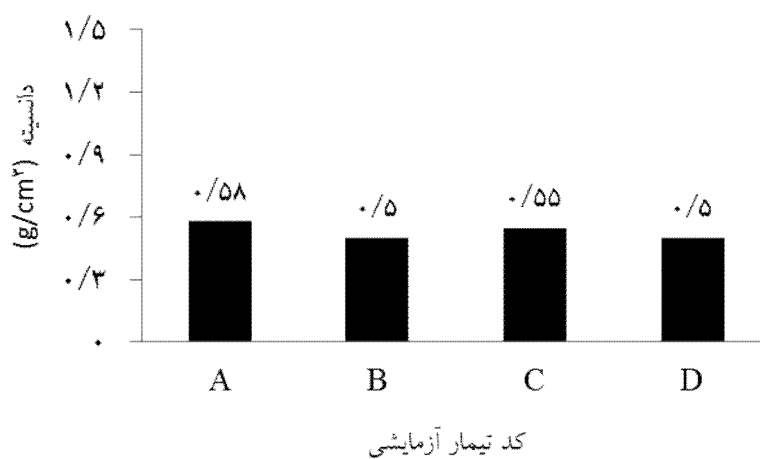
**ویژگی‌های فیزیکی:** مقادیر میانگین ضخامت، دانسیته و حجیمی کاغذهای دست‌ساز حاصل از ۴ تیمار برتر آزمایشی به ترتیب در شکل‌های ۱ تا ۳ دیده می‌شوند. نتایج آزمون تجزیه واریانس ویژگی‌های یادشده نیز به ترتیب در جدول‌های ۲ تا ۴ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱- مقادیر میانگین ضخامت کاغذهای حاصل از خمیرهای کاغذ کرافت اکالپتوس میکروتکای ایرانشهر.

جدول ۲- نتایج آزمون تجزیه واریانس مقادیر ضخامت کاغذهای دست‌ساز.

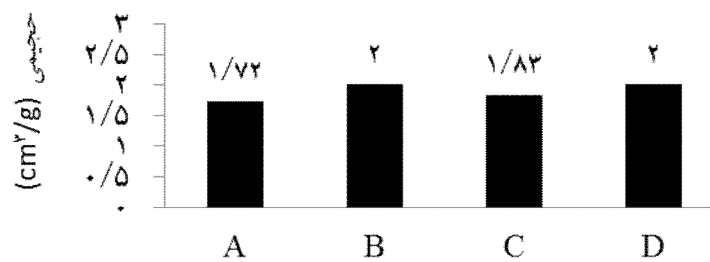
منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	سطح معنی داری
تیمار	۳	۱۸۰۸۲۵۰۰۰	۶۰۲۷۵۰۰۰	۰/۸۹ <sup>ns</sup>	۰/۴۸۷
خطا	۸	۵۴۱۸۲۶۰۰۰	۶۷۷۲۸۲۵۰		
کل	۱۱	۷۲۲۶۵۱۰۰۰			



شکل ۲- مقادیر میانگین دانسیته کاغذهای حاصل از خمیرهای کاغذ کرافت اکالپتوس میکروتکای ایرانشهر.

جدول ۳- نتایج آزمون تجزیه واریانس مقادیر دانسیته کاغذهای دست‌ساز.

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	سطح معنی داری
تیمار	۳	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵	۲۰۷۷۸*	۰/۰۰۰
خطا	۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰		
کل	۱۱	۰/۰۱۶			



کد تیمار آزمایشی

شکل ۳- مقادیر میانگین حجمی کاغذهای حاصل از خمیرهای کاغذ کرافت اکالیپتوس میکروتکای ایران شهر

جدول ۴- نتایج آزمون تجزیه واریانس مقادیر حجمی کاغذهای دست‌ساز

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	سطح معنی داری
تیمار	۳	۰/۲۲۵	۰/۰۷۵	۸۸۶۸*	۰/۰۰۶
خطا	۸	۰/۰۶۸	۰/۰۰۸		
کل	۱۱	۰/۲۹۳			

همان‌گونه که در شکل‌های ۱ تا ۳ دیده می‌شود مقادیر ویژگی‌های فیزیکی کاغذهای حاصل از تیمارهای آزمایشی A (تیمار شماره ۷)، B (تیمار شماره ۸)، C (تیمار شماره ۱۰) و D (تیمار شماره ۶) به ترتیب زیر افزایش می‌یابند:

ضخامت:  $A < C < B = D$

دانسیته:  $D = B < C < A$

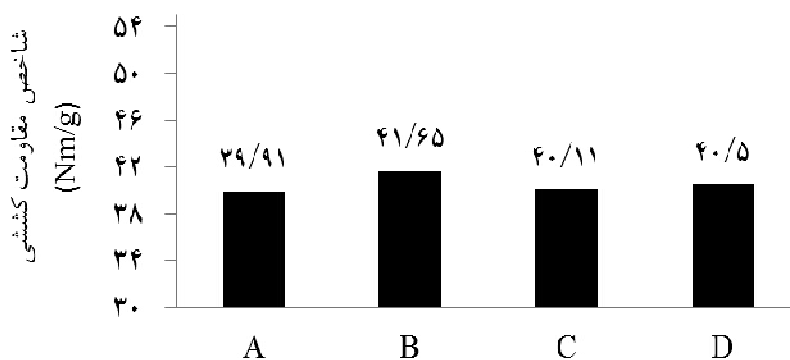
حجمی:  $A < C < B = D$

توجه به شکل ۱ نشان می‌دهد که تغییرات ضخامت کاغذهای حاصل از تیمارهای آزمایشی نام برده بسیار جزئی و در واقع قابل چشم‌پوشی می‌باشد. نتایج آزمون تجزیه واریانس (جدول ۲) نیز

نشان داده است که تفاوت معنی‌دار آماری بین مقادیر ضخامت کاغذهای یاد شده وجود ندارد. عموماً تغییرات ضخامت کاغذ تحت تاثیر عواملی مانند وزن پایه کاغذ، میزان پالایش و مقدار فشار پرس قرار دارد.

نتایج آزمون تجزیه واریانس در مورد مقادیر دانسیته و حجیمی کاغذهای به‌دست آمده از تیمارهای آزمایشی نام برده نشان داده است که بین مقادیر داده‌های ویژگی‌های یاد شده تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۵ درصد وجود دارد. همچنین، روند تغییرات ویژگی‌های فیزیکی در کاغذهای حاصل از تیمارهای آزمایشی A, B, C و D نیز با هم هماهنگی طبیعی و منطقی دارد. به‌عنوان مثال، خمیر کاغذ حاصل از تیمار آزمایشی D دارای بیشترین حجیمی و ضخامت و کمترین دانسیته است.

ویژگی‌های مکانیکی: مقادیر میانگین شاخص مقاومت کششی، شاخص مقاومت به پاره شدن و شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست ساز حاصل از ۴ تیمار آزمایشی برتر به‌ترتیب در شکل‌های ۴ تا ۶ دیده می‌شوند. نتایج آزمون تجزیه واریانس ویژگی‌های یاد شده نیز به‌ترتیب در جدول‌های ۵ تا ۷ آورده شده‌اند.

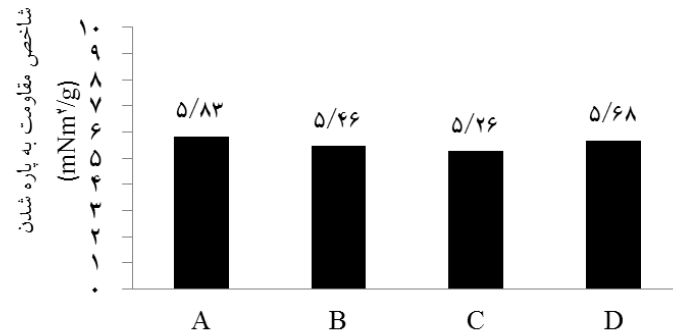


شکل ۴- مقادیر میانگین شاخص مقاومت کششی کاغذهای حاصل از خمیرهای کاغذ کرافت اکالیپتوس میکروتکای ایران شهر.

جدول ۵- نتایج آزمون تجزیه واریانس مقادیر شاخص مقاومت کششی.

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
تیمار	۳	۱۱/۵۷۹	۳/۸۶۰	۰/۱۱۳ <sup>ns</sup>	۰/۹۵۰
خطا	۸	۲۷۲/۱۶۷	۳۴/۰۲۱		
کل	۱۱	۲۸۳/۷۴۶			



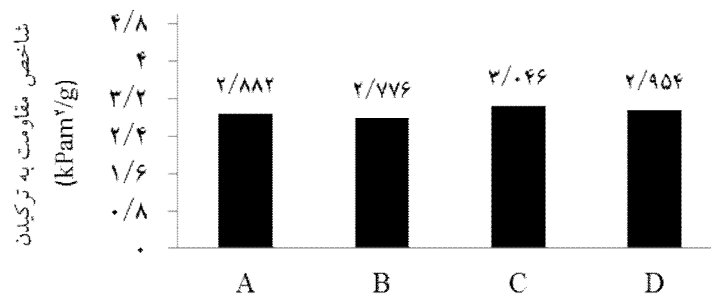


کد تیمار آزمایشی

شکل ۵- مقادیر میانگین شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذهای حاصل از خمیرهای کاغذ کرافت اکالپتوس میکروتکای ایران شهر.

جدول ۶- نتایج آزمون تجزیه واریانس مقادیر شاخص مقاومت به پاره شدن.

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	سطح معنی داری
تیمار	۳	۰/۵۸۴	۰/۱۹۵	۱/۸۲۳ <sup>ns</sup>	۰/۲۲۱
خطا	۸	۰/۸۵۴	۰/۱۰۷		
کل	۱۱	۱/۴۳۸			



کد تیمار آزمایشی

شکل ۶- مقادیر میانگین شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای حاصل از خمیرهای کاغذ کرافت اکالپتوس میکروتکای ایران شهر.

جدول ۷- نتایج آزمون تجزیه واریانس مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدن.

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
تیمار	۳	۰/۱۱۷	۰/۰۳۹	۱/۰۷۲ <sup>ns</sup>	۰/۴۱۴
خطا	۸	۰/۲۹۲	۰/۰۳۷		
کل	۱۱	۰/۴۱۰			

همان گونه که در شکل‌های ۴ تا ۶ دیده می‌شود تغییرات مقادیر ویژگی‌های مکانیکی در کاغذهای حاصل از تیمارهای آزمایشی برتر (تیمارهای A، B، C و D) به ترتیب زیر می‌باشد:

شاخص مقاومت کششی :  $A < C < D < B$

شاخص مقاومت به پاره شدن :  $C < B < D < A$

شاخص مقاومت به ترکیدن :  $B < A < D < C$

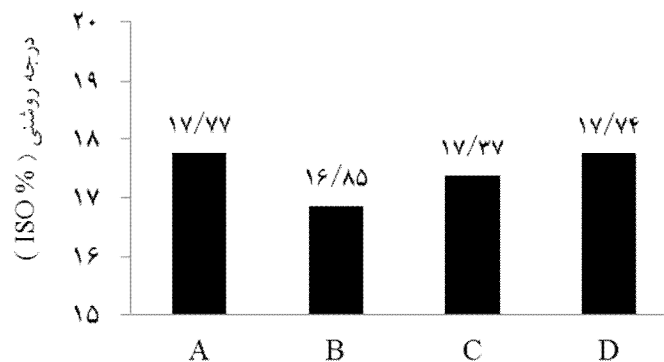
به‌طور کلی ویژگی‌های مکانیکی کاغذ تحت تاثیر عوامل مرفولوژیک و ظرفیت پیوند یابی الیاف سلولزی قرار دارند. به عبارت دقیق‌تر، مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدن کاغذ تابع مقاومت ذاتی الیاف و مقدار پیوندهای موجود بین الیاف می‌باشند. مقاومت به پاره شدن کاغذ نیز به طول الیاف، ضخامت دیواره سلولی الیاف و مقدار پیوندهای موجود بین الیاف وابسته است. عوامل مرفولوژیک یادشده در شرایطی نقش خود را جهت بهبود ویژگی‌های مکانیکی کاغذ به خوبی ایفا می‌کنند که اولاً، الیاف خمیر کاغذ سالم و دارای بیشترین طول ممکن بوده (بریده و خرد نشده باشند) و دوماً، به خوبی پالایش و فیبریله شده باشند. همچنین، ظرفیت پیوندیابی الیاف نیز به وجود پلی‌ساکاریدها، عدم وجود لیگنین و افزایش سطح آزاد خارجی الیاف سلولزی بستگی دارد. برای دست‌یابی به چنین شرایطی، خمیر کاغذ حاصل باید دارای بیشترین مقدار ممکن پلی‌ساکاریدها، بیشترین سطح آزاد خارجی الیاف و کمترین مقدار لیگنین باشد. بنابراین بدیهی است که با پیشرفت واکنش لیگنین‌زدایی و خروج هر چه بیشتر لیگنین از ساختار الیاف خمیر کاغذ، مقاومت‌های مکانیکی آن افزایش می‌یابد.

توجه به شرایط آزمایش تیمارهای برتر پژوهش حاضر نشان می‌دهد که به‌طورکلی در شرایطی که با تغییر عوامل متغیر آزمایش مانند زمان، سولفیدیت و قلیائیت موثر، واکنش لیگنین‌زدایی بهتر انجام

شده است (یعنی بازده بیشتر همراه با عدد کاپای کمتر به دست آمده است) ویژگی‌های مکانیکی کاغذها نیز بهبود یافته‌اند. در این بررسی، به نظر می‌رسد عامل زمان نقش موثرتری نسبت به بقیه عوامل داشته و سولفیدیت و قلیائیت موثر در رتبه‌های بعدی قرار دارند. به‌طور کلی در مقایسه با نتایج سایر پژوهشگران (فخریان روغنی و همکاران، ۲۰۰۰؛ کریستوا و همکاران، ۲۰۰۶) دیده می‌شود که مقادیر ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای حاصل از خمیر کرافت اکالیپتوس میکروتکای ایران شهر در حد مطلوبی قرار دارند. این امر به خوبی نشان می‌دهد که امکان تهیه خمیر کرافت رنگ‌بری نشده با ویژگی‌های مکانیکی مطلوب از گونه اکالیپتوس میکروتکای ایران شهر وجود دارد.

نکته جالب توجه در مورد ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای دست‌ساز به‌دست آمده از تیمارهای برتر این است که در مورد هر سه ویژگی مورد نظر، تیمار آزمایشی D در رتبه دوم قرار دارد در حالی که سایر تیمارهای آزمایشی (A، B و C) دارای وضعیت‌های متغیری هستند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تیمار آزمایشی D در مجموع از بهترین شرایط خمیر کاغذسازی، بازده و عدد کاپا برخوردار بوده به‌طوری که منجر به ثبات وضعیت آن از نظر کسب ویژگی‌های مکانیکی مطلوب شده است. در این تیمار از قلیائیت موثر ۱۸ درصد، سولفیدیت ۲۵ درصد و زمان خمیر کاغذسازی ۱۳۵ دقیقه استفاده شده و خمیر کاغذی با بازده ۴۲/۲ درصد و عدد کاپای ۳۵/۵ به‌دست آمده است.

**ویژگی‌های نوری:** مقادیر میانگین درجه روشنی و ماتی کاغذهای دست‌ساز حاصل از ۴ تیمار برتر آزمایشی به‌ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ دیده می‌شوند. نتایج آزمون تجزیه واریانس ویژگی‌های یادشده نیز به‌ترتیب در جدول‌های ۸ و ۹ آورده شده‌اند.

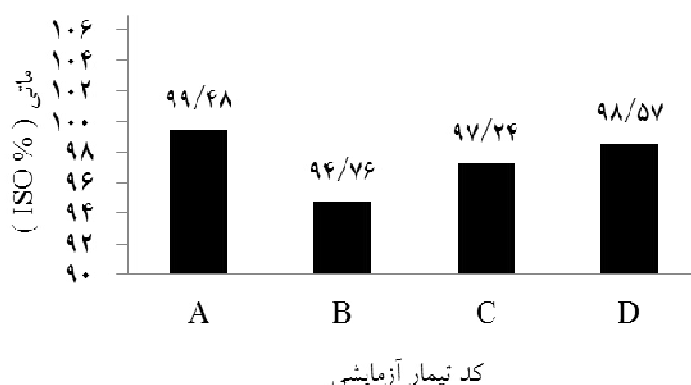


کد تیمار آزمایشی

شکل ۷- مقادیر میانگین درجه روشنی کاغذهای حاصل از خمیرهای کاغذ کرافت اکالیپتوس میکروتکای ایران شهر.

جدول ۸- نتایج آزمون تجزیه واریانس مقادیر درجه روشنی.

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	سطح معنی داری
تیمار	۳	۱/۶۶۰	۰/۵۵۳	۳/۵۹۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۶۶
خطا	۸	۱/۲۳۰	۰/۱۵۴		
کل	۱۱	۲/۸۹۰			



شکل ۸- مقادیر میانگین ماتی کاغذهای حاصل از خمیرهای کاغذ کرافت اکالپیتوس میکروتکای ایران شهر.

جدول ۹- نتایج آزمون تجزیه واریانس مقادیر ماتی.

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	سطح معنی داری
تیمار	۳	۳۷/۹۸۸	۱۲/۶۶۳	۶/۰۲۹*	۰/۰۱۹
خطا	۸	۱۶/۸۰۲	۲/۱۰۰		
کل	۱۱	۵۴/۷۸۹			

همان‌طور که در شکل‌های ۷ و ۸ دیده می‌شود تغییرات مقادیر درجه روشنی و ماتی در کاغذهای حاصل از تیمارهای آزمایشی برتر به این ترتیب می‌باشد:  $B < C < D < A$ . به‌طور کلی ویژگی‌های نوری خمیرهای کاغذ تحت تاثیر ویژگی‌های فیزیکی آن مانند ضخامت، دانسیته، حجیمی و نیز میزان لیگنین‌زدایی خمیر قرار دارند. با توجه به این که خمیرهای کاغذ حاصل رنگ‌بری نشده، بوده‌اند ولی با لیگنین‌زدایی مناسب تحت شرایط خمیرسازی تیمارهای A و D بهترین مقدار ممکن برای درجه روشنی، در مقایسه با نتایج حاصل از پژوهش‌های مشابه (فخریان روغنی و

همکاران، ۲۰۰۰؛ کریستوا و همکاران، ۲۰۰۶) به دست آمده است. از سوی دیگر، وجود گروه‌های رنگساز در لیگنین هم عامل دیگری است که از طریق افزایش جذب نور سبب افزایش ماتی می‌شود و به نظر می‌رسد که در مورد کاغذهای حاصل از تیمار A و D نیز همین پدیده روی داده است. لازم به توضیح می‌باشد که کمتر بودن عدد کاپا در تیمار A الزاماً مانع این امر نمی‌شود، به این معنی که ممکن خمیر کاغذی با وجود داشتن عدد کاپای کمتر، گروه‌های رنگساز بیشتری در ساختار لیگنین خود داشته باشد.

همانند ویژگی‌های مکانیکی، ویژگی‌های نوری کاغذهای حاصل از تیمار D همچنان در رتبه دوم قرار دارند که باز هم نشان‌دهنده ثبات وضعیت این تیمار آزمایشی از نظر کسب ویژگی‌های مختلف است. بعد از آن، کاغذهای حاصل از تیمارهای C و B قرار دارند. نتایج آزمون تجزیه واریانس ویژگی‌های نوری کاغذهای حاصل از این ۴ تیمار برتر نشان داده است که بین مقادیر این ویژگی‌ها (به تفکیک برای درجه روشنی و ماتی) اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۵ درصد وجود دارد. نتایج آزمون دانکن نیز نشان داد که درجه روشنی و ماتی کاغذهای حاصل از تیمارهای B و C با هم در یک گروه و کاغذهای حاصل از تیمارهای A، C و D با هم در یک گروه قرار می‌گیرند.

**معادله نرمال‌سازی:** به‌طور کلی با توجه به این که در بیشتر پژوهش‌های علمی، در مقادیر ویژگی‌های مکانیکی و نوری خمیرهای کاغذ حاصل از تیمارهای مختلف آزمایشی، تغییرات مختلف و گاهی متضادی مشاهده می‌شود؛ بنابراین بهترین روش علمی برای تشخیص بهترین تیمار آزمایشی از نظر مجموع ویژگی‌های مکانیکی و نوری، استفاده از روش امتیازدهی براساس محاسبه معادله نرمال‌سازی می‌باشد. بر این اساس، از این روش برای تعیین بهترین تیمار آزمایشی در بین تیمارهای برتر استفاده شد. مقادیر درصد اهمیت هر یک از ویژگی‌های مکانیکی و نوری به این صورت در نظر گرفته شد: شاخص مقاومت کششی ۲۰ درصد، شاخص مقاومت به پاره شدن ۲۵ درصد، شاخص مقاومت به ترکیدن ۲۵ درصد، درجه روشنی ۲۰ درصد، ماتی ۱۰ درصد. بعد از انجام محاسبات لازم، معادله نرمال‌سازی زیر به دست آمد:

$$Y = 0.0049 \bar{a} + 0.045 \bar{b} + 0.0858 \bar{c} + 0.0115 \bar{d} + 0.0103 \bar{e} = 1$$

که در آن:

$\bar{a}$  = میانگین کل شاخص مقاومت کششی

$\bar{b}$  = میانگین کل شاخص مقاومت به پاره شدن

$\bar{c}$  = میانگین کل شاخص مقاومت به ترکیدن

$\bar{d}$  = میانگین کل درجه روشنی

$\bar{e}$  = میانگین کل ماتی

با توجه به معادله محاسبه شده، مقادیر امتیازات متعلق به هر یک از تیمارهای آزمایشی برتر محاسبه و نتایج در جدول ۱۰ درج شده است.

جدول ۱۰- امتیازات تعلق یافته به تیمارهای آزمایشی برتر.

کد تیمار	A	B	C	D
امتیاز	۰/۹۵۹۰	۰/۹۲۹۱	۰/۹۴۳۰	۰/۹۶۱۱

با در نظر گرفتن مقادیر امتیازات تعلق یافته برای تیمارهای آزمایشی برتر دیده می‌شود که تیمار آزمایشی D با امتیاز ۰/۹۶۱۱ در رتبه اول قرار دارد. شرایط خمیرسازی این تیمار آزمایشی به این صورت بوده است: قلیائیت موثر ۱۸ درصد، سولفیدیت ۲۵ درصد و زمان خمیر سازی ۱۳۵ دقیقه. همچنین بازده خمیر کاغذ حاصل ۴۲/۱۹ درصد و عدد کاپای آن ۳۵/۴۹ بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که از گونه اکالیپتوس میکروتکای ایران شهر می‌توان تحت شرایط خمیر کاغذسازی یادشده، خمیر کاغذ کرافت رنگ‌بری نشده مناسب برای کاغذ بسته‌بندی تهیه نمود و کاغذی دارای بهترین مجموع ویژگی‌های مکانیکی و نوری به دست آورد. همچنین مقادیر امتیازات مندرج در جدول ۱۰ نشان می‌دهند که تیمار آزمایشی A با امتیاز ۰/۹۵۹۰ در رتبه دوم قرار دارد. این امر به این معنی است که با استفاده از شرایط خمیرسازی استفاده شده در این تیمار آزمایشی (قلیائیت موثر ۱۸ درصد، سولفیدیت ۲۵ درصد، زمان خمیرسازی ۱۸۰ دقیقه) نیز همچنان می‌توان خمیر کاغذ کرافت رنگ‌بری نشده مناسب برای کاغذ بسته‌بندی تهیه کرده و کاغذی با ویژگی‌های مکانیکی و نوری مطلوب به دست آورد. از این رو در مجموع، با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان توسعه کاشت گونه اکالیپتوس میکروتکا در منطقه جنوب استان سیستان و بلوچستان، با هدف تامین بخشی از ماده اولیه سلولزی مورد نیاز صنایع خمیر و کاغذ کشور را توصیه نمود. بدیهی است که سایر موارد مربوطه مانند بررسی‌های اقتصادی جزو اهداف پژوهش حاضر نبوده و باید جداگانه مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

1. Bosia, A. 1963. Pulping and papermaking properties of fast growing plantation wood species, The FAO technical papers. 19/1. Vol. 1.
2. Fakhrian Roghani, A., Hoseinzadeh, A. and Jahan Latibari, A. 2000. Study on *Eucalyptus microtheca* wood characteristics for papermaking. Iranian Journal of Wood and Paper Science Researches. Research Institute of Forests and Rangelands. 43p (In Persian).
3. Khristova, P., Kordsachia, O., Patt, R., and Dafaalla, S. 2006. Alkaline pulping of some *Eucalyptus* from Sudan, Bioresources Technology. 97: 535-544.
4. Mutje, P., Pelach, M. A., Vilaseca, F., Garcia, J.C., and Jimenz, L. 2005. A comparative study of the effect of refining on organosolv pulp from Olive trimmings and kraft pulp from *Eucalyptus* wood, Bioresources Technology. 96: 1125-1129.
5. Rashidi, M. 2002. Study on kraft pulp production from *Eucalyptus camaldulensis* wood and its evaluation to substitute long fiber pulp for making newsprint from CMP pulp in Mazandaran Wood and Paper Industry. M.Sc. thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 63p. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 18(3), 2011  
[www.gau.ac.ir/journals](http://www.gau.ac.ir/journals)

## **Physical, Mechanical and Optical Properties of the Unbleached Kraft Pulp of *Eucalyptus microtheca* from Iranshahr Region**

**\*A. Ghasemian<sup>1</sup>, A.R. Saraeian<sup>2</sup> and J. Lesan<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Associate Prof., Wood and Paper Dept., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Wood and Paper, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>M.Sc. student of Wood and Paper, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Received: 2009-2-22 ; Accepted: 2011-6-7

### **Abstract**

Unbleached kraft pulp of *Eucalyptus microtheca* from Iranshahr region (Sistan and Baloochestan province) was prepared and its physical, mechanical and optical properties including grammage, thickness, density, bulk, tensile strength, tear strength, burst strength, brightness and opacity, were measured. To determine the best experimental treatment concerning total mechanical and optical properties of handsheets, the scoring method based on the normalization equations was used. The mechanical and optical properties of the best treatment were determined as follow: Tensile index 40.50Nm/g, Tear index 5.68 mNm<sup>2</sup>/g, Burst index 2.954 kPam<sup>2</sup>/g, Brightness 17.77 percent ISO and opacity 98.57 percent. The results show that unbleached kraft pulp of *Eucalyptus microtheca* from Iranshahr has suitable mechanical and optical properties for the production of packaging paper. Thus, development of its plantation in Iranshahr region, with the aim of supplying part of the required cellulosic raw material for local pulp and paper industries, is recommended.

**Keywords:** *Eucalyptus microtheca*; Kraft pulp; Mechanical properties; Optical properties; Packaging paper.

---

\*Corresponding Author; Email: [ali\\_ghasemian@yahoo.com](mailto:ali_ghasemian@yahoo.com)