

## بررسی اثر نانورس و میکرو کریستالین سلولز بر خواص کاربردی چندسازه چوب / پلی پروپیلن

❖ **امیر نوربخش**؛ دانشیار بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور  
❖ **علیرضا عشوری**؛ دانشیار پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

### چکیده

در این مطالعه پتانسیل استفاده از نانورس و میکرو کریستالین سلولز در ساخت چندسازه بررسی شد. آثار نانو ذرات رس، میکرو کریستالین سلولز و جفت‌کننده مالیکسی (MAPP) نیز بر خواص مکانیکی و ریخت‌شناسی و آنالیز حرارتی چندسازه بررسی شد. نتایج خواص مکانیکی، به‌طور مشخص، در چندسازه ساخته‌شده در مقایسه با نمونه شاهد، برتر بود. نتایج آزمایش‌ها نیز نشان داد که استفاده از MAPP باعث بهبود خواص حرارتی در جریان مخلوط‌سازی در فاز درون‌سطحی و سبب اتصال بهتر بین الیاف و ماتریس می‌شود. خواص برتر کششی چندسازه نانورس و میکرو کریستالین سلولز نیز از طریق عکسبرداری الکترونی تأیید شد. تحلیل و بررسی رفتار حرارتی چندسازه نیز به کمک آزمون TGA نشان داد که استفاده از ۵ درصد MAPP به‌همراه ۳ درصد نانورس، به‌طور مشخص، موجب افزایش مقاومت حرارتی چندسازه در مقایسه با سایر تیمارها می‌شود.

واژگان کلیدی: جفت‌کننده مالیکسی، چندسازه، خواص مکانیکی، خواص حرارتی، میکرو کریستالین سلولز، نانورس

## مقدمه

امروزه، چندسازه‌های چوب پلاستیک، به‌عنوان مواد مهندسی، در صنایع مختلفی چون خودروسازی، هوافضا، ساختمان‌سازی و... کاربرد وسیعی یافته است. این مواد بدون استفاده از مواد شیمیایی و غیر سمی دوام بالایی دارند. در سال‌های اخیر، کاربرد چندسازه‌ها به‌سرعت در اروپا، امریکای شمالی و آسیا توسعه یافته است [۱]. ترکیبات اولیه چندسازه‌های چوب پلاستیکی شامل رزین‌های گرمانرم و معمولاً ۴۰ تا ۷۰ درصد الیاف چوب (در روش اکستروژن) است. افزودن مواد چوبی مزایای زیادی چون زیست‌سازگاری و بهبود خواص مکانیکی به محصول نهایی می‌دهد.

در سال‌های اخیر، استفاده از مواد چوبی، که ویژگی‌های مناسب‌تری دارند، گسترش و افزایش یافته است. در تحقیقاتی که در کشورهای مختلف صورت گرفته به استفاده از عناصر مختلف چوبی در ابعاد کمتر، مانند سلولز و میکروسلولز، توجه شده است. تقویت‌کننده‌هایی چون میکروکریستالین سلولز به‌همراه جفت‌کننده‌ها خواص مکانیکی مناسبی بین ماتریس پلیمر غیر قطبی و مواد سلولزی قطبی تولید می‌کنند [۲، ۳]. این اتفاق در نانو چندسازه‌های پلیمری نیز که از پلیمرهای گرمانرم استفاده می‌کنند، رخ می‌دهد. اختلاط این گروه از پلیمرها به‌سبب ماهیت غیرقطبی‌شان با نانورس به تولید یک محصول نانو چندسازه‌ای می‌انجامد.

تأثیر استفاده از نانورس و ماده جفت‌کننده بر ویژگی‌های مکانیکی و حرارتی چندسازه‌های حاصل از الیاف بامبو پلی‌اتیلن سنگین نیز بررسی شده است. نتایج مطالعات هان و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که به هنگام افزودن ۱ درصد نانورس مدول الاستیسیته خمشی، مدول الاستیسیته دینامیک و درجه کریستالیت افزایش می‌یابد، درحالی‌که استحکام به‌ضربه نمونه‌ها

کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از تفرق اشعه ایکس<sup>۱</sup> نیز این مطلب را تأیید کرد، زیرا ساختار Exfoliation در چندسازه ایجاد شد. این محققان همچنین بیان کردند که کلیه ویژگی‌های مکانیکی با افزودن ماده سازگارکننده، به‌سبب بهبود سطح مشترک ماتریس پلیمری و فاز پرکننده، افزایش می‌یابد [۴].

در بررسی دیگری ساخت چوب پلاستیک با استفاده از پلی پروپیلن و آرد باگاس و نانورس انجام گرفت و نتایج نشان داد که با افزودن نانورس تا مقدار وزنی ۳ درصد استحکام کششی افزایش می‌یابد، اما با افزایش آن تا ۴ درصد کاهش جزئی در استحکام کششی مشاهده می‌شود. در مورد مقاومت به ضربه، افزودن نانورس باعث کاهش ۶ درصد در مقاومت به ضربه شد و کاهش جذب آب را نیز به‌همراه داشت. این محققان نتیجه گرفتند که با اضافه کردن جفت‌کننده مالیکی خصوصیاتی فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک افزایش می‌یابد. در ضمن، افزودن نانورس موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک نیز می‌شود [۵].

بررسی رفتار مکانیکی و حرارتی نانو چندسازه‌های پلی پروپیلن خالص، ۴۰ درصد تالک / پلی پروپیلن، و ۵ درصد خاک رس سیلیکاته (مونت موریلونیت) / پلی پروپیلن نیز بررسی شد و نتایج آنالیز حرارتی نشان داد که ذرات تالک یا نانورس در پلی پروپیلن دمای تجزیه را افزایش می‌دهند، اما تأثیری بر دمای تبدیل شیشه‌ای و دمای ذوب ندارند. در ضمن، نتایج آزمون کششی نشان داد که ۴۰ درصد تالک مدول را افزایش می‌دهد، اما تاب ارتجاعی<sup>۲</sup> را کاهش می‌دهد. درحالی‌که ۵ درصد نانورس هم مدول را افزایش می‌دهد و هم تاب ارتجاعی [۶].

هدف از این تحقیق، تعیین خواص مکانیکی و بررسی رفتار حرارتی چندسازه ساخته شده از نانورس به‌همراه میکروکریستالین سلولز است. بر این

1. X-ray diffraction  
2. Yield strength

## جدول ۱. فرمول سیلیکات لایه ای یا فیلسیلیکات

۲:۱ فیلسیلیکات ها	فرمول شیمیایی	CEC (mequiv/100 g)	طول ذره (nm)
مونت موریلونیت	$Mn(Al_{4-x}Mg_x)Si_8O_{20}(OH)_4$	۱۱۰	۱۰۰-۱۵۰

M، کاتیون تک ظرفیتی؛ X، درجه جانشینی (بین ۰/۵ و ۱/۳)

در جدول ۲ ارائه شده است. مواد به کاررفته به کمک دستگاه اکسترودر (کولین)، از نوع دو ماریچچه همسوگرد، مخلوط شدند. مناطق حرارتی اکسترودر به ترتیب ۱۶۵، ۱۷۰، ۱۷۵، ۱۸۰، و ۱۸۵ درجه سلسیوس برای نواحی ۱ تا ۵ اختصاص یافت. سرعت دورانی ماریچچه در حد ۶۰ دور در دقیقه تنظیم شد. مواد مخلوط شده مذاب از حمام آب سرد عبور داده و به صورت پلت<sup>۲</sup> تهیه شد. ذرات پلت تهیه شده به کمک دستگاه گرانول ساز به گرانول تبدیل شدند. به منظور جلوگیری از هرگونه اثر منفی رطوبت، ذرات گرانول به کمک دستگاه خشک کن در دمای ۹۰ درجه سلسیوس تا ۳ درصد خشک شدند. ذرات گرانول به دست آمده به کمک دستگاه قالب گیری تزریقی در دمای ۱۸۵ درجه سلسیوس و با فشار ۳ مگاپاسکال مطابق با استاندارد ASTM D ۶۱۸ برای تهیه نمونه های آزمون ضربه، خمش، و کشش تهیه شد.

## اندازه گیری خواص مکانیکی

تمام نمونه های آزمون مطابق با آیین نامه های استاندارد ASTM-D ۶۳۸ برای خواص کششی، ASTM D ۷۹۰ برای خواص خمشی، و ASTM D ۲۵۶ برای مقاومت به ضربه فاقدار آیزود آزمایش شدند [۷]. نمونه های کششی و خمشی با استفاده از دستگاه Instron (۱۱۸۶) به ترتیب در سرعت ۱/۵ و ۲ میلی متر بر دقیقه آزمایش شدند. برای آزمون استحکام کششی نمونه های دمبلی شکل از نوع III با ضخامت ۱۲ میلی متر تهیه گردید. دستگاه آزمایشگر مقاومت به ضربه از نوع Zwick ۱۴۴۶ انتخاب شد. نتایج ارائه شده میانگین حداقل ۶ نمونه برای هر تیمار است.

اساس، تیمارهای متفاوتی شامل درصدهای مختلفی از نانورس، میکروکریستالین سلولز، و جفت کننده مالیکی به همراه آرد چوب و پلی پروپیلن استفاده شد.

## روش شناسی

## مواد

آرد چوب به کاررفته از گونه صنوبر *Populus deltoieds* تهیه شد که پس از درجه بندی در ابعاد ۶۰/۴۰ الک، و سپس در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت تا رطوبت ۳ درصد خشک شد.

میکروکریستالین سلولز (MCC) از شرکت آلدריך<sup>۱</sup> و از نوع Pulver-۲۰ و در ابعاد ۲۰ میکرون تهیه شد. در این بررسی میکروکریستالین سلولز به عنوان تقویت کننده سلولزی استفاده شد.

پلی پروپیلن بررسی شده با نام تجاری Moplen ۷۳۰S از پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب ۸ گرم بر ۱۰ دقیقه در دمای ۲۳۰ درجه سلسیوس و دانسیته ۰/۹۲. گرم بر سانتی متر مکعب تهیه شد.

اندرید مالیک پلی پروپیلنی پیوندخورده (MAPP) از شرکت آلدריך با دانسیته ۰/۹۱. گرم بر سانتی متر مکعب و با وزن مولکولی ۹۱۰۰ و گرانشی بروکفیلد ۴۰۰۰۰ سانتی پواز در دمای ۱۹۰ درجه سلسیوس تهیه گردید.

خاک رس به کاررفته در این تحقیق از انواع مونت موریلونیت اصلاح شده، با نام تجاری Cloisite ۱۰A، بود که شرکت امریکایی Southern-Clay آن را تولید می کند.

## آماده سازی و ساخت چندسازه

نسبت وزنی ترکیب مواد گوناگون و تیمارهای ساخت

1. Alderich  
2. Pellets

جدول ۲. درصد ترکیب مواد و تیمارهای ساخت نمونه‌های چندسازه

تیمار	MCC	MAPP	NC	PP	WF	
گروه	کد	(wt.%)	(wt.%)	(wt.%)	(wt.%)	
A	۱	۰	۲/۵	۰	۵۷/۵	۴۰
A	۲	۰	۲/۵	۳	۵۴/۵	۴۰
A	۳	۰	۵/۰	۰	۵۵/۰	۴۰
A	۴	۰	۵/۰	۳	۵۲/۰	۴۰
B	۱	۴	۲/۵	۰	۵۷/۵	۳۶
B	۲	۴	۲/۵	۳	۵۴/۵	۳۶
B	۳	۴	۵/۰	۰	۵۵/۰	۳۶
B	۴	۴	۵/۰	۳	۵۲/۰	۳۶
C	۱	۸	۲/۵	۰	۵۷/۵	۳۲
C	۲	۸	۲/۵	۳	۵۴/۵	۳۲
C	۳	۸	۵/۰	۰	۵۵/۰	۳۲
C	۴	۸	۵/۰	۳	۵۲/۰	۳۲

کممک عکسبرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی از دستگاه TEM مدل Zeiss EM۹۰۰ با جریان ولتاژ ۸۰ kV شرکت کفا استفاده شد.

### نتایج

#### خواص کششی

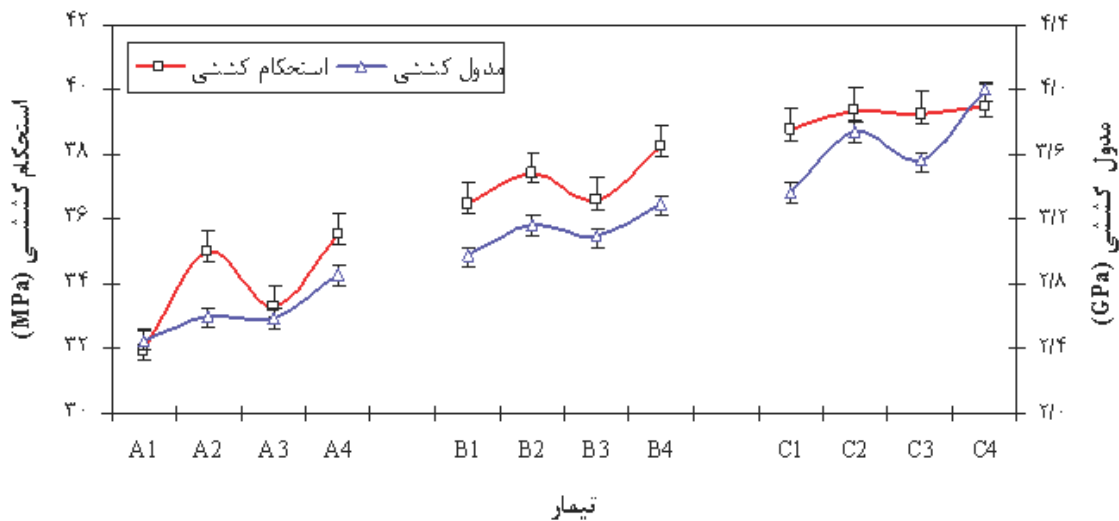
شکل ۱ استحکام و مدول کششی ترکیبات مختلف چندسازه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، با افزایش استحکام کششی در حالت استفاده از ماتریس پلیمر به همراه جفت‌کننده مالیکی ایجاد شده است. تیمار C۴ دارای حداکثر استحکام کششی و تیمار A۱ دارای حداقل استحکام کششی است. مایرز و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که چندسازه ساخته شده با ۵۰ درصد چوب و ۵۰ درصد پلیمر به همراه MAPP افزایش ۲۱ درصد در استحکام کششی ایجاد می‌کند [۸]. همچنین استارک و رولندز نیز در گزارش خود مطرح کردند که چندسازه ساخته شده با ۴۰ درصد چوب و ۳ درصد MAPP افزایش ۲۷

#### آنالیز حرارتی (TGA)

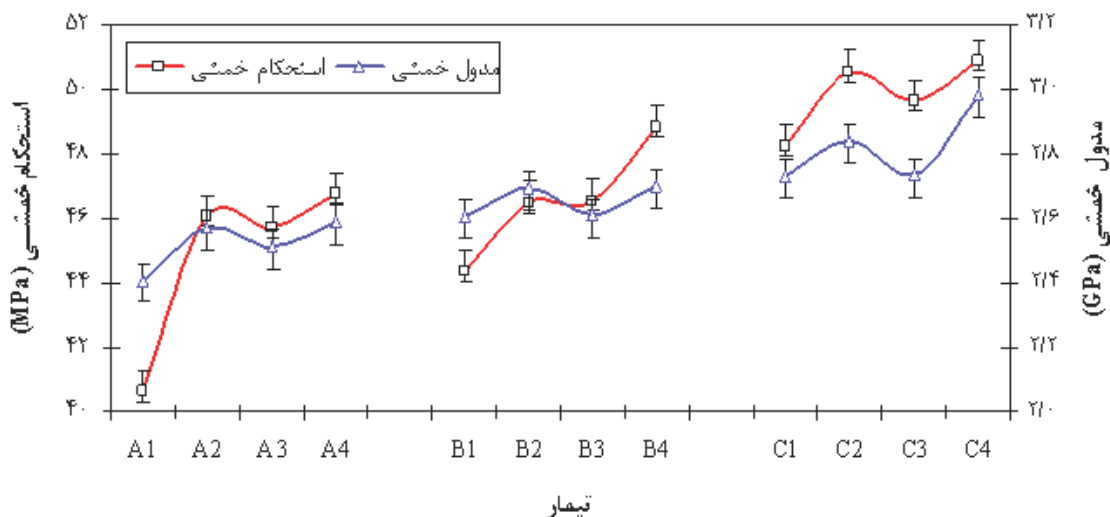
اندازه‌گیری آنالیز حرارتی با استفاده از آنالیزگر حرارتی برای ۸ میلی‌گرم نمونه آزمونی در دامنه دمایی از ۵۰ تا ۶۵۰ درجه سلسیوس با نرخ گرمایی ۱۰ درجه سلسیوس بر دقیقه انجام شد. آنالیز حرارتی با کیفیت بالا (۹۹/۵ درصد نیتروژن، و ۰/۵ درصد اکسیژن) در شرایط اتمسفریک با نرخ جریان ۲۰ میلی‌لیتر بر دقیقه برای جلوگیری از جذب اکسیژن صورت گرفت. از هر تیمار آزمایشی ۲ تکرار انجام گرفت.

#### مطالعه ریخت‌شناسی میکروسکوپی

خواص مورفولوژیکی چندسازه‌های ساخته شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM) از نوع Philips XL ۳۰ بررسی شد. سطوح شکست نمونه‌های آزمونی بعد از اندازه‌گیری مقاومت به ضربه با لایه طلا پوشش داده شد. تمام تصاویر با ولتاژ تسریع شده ۲۵ کیلو وات بررسی شدند. برای بررسی تشکیل اتصالات نانو کامپوزیت و مطالعات ریخت‌شناسی به



شکل ۱. مقایسه استحکام و مدول کششی تیمارهای گوناگون چندسازه



شکل ۲. مقایسه استحکام و مدول خمشی تیمارهای گوناگون چندسازه

جفت کننده خواص کششی را افزایش می دهد. شایان ذکر است مدول کششی نیز رفتار مشابهی با استحکام کششی دارد؛ به طوری که حداکثر افزایش در تیمار C4 با ۳/۹ گیگاپاسکال بوده که در حدود ۳۲۰ درصد بیش از ماتریس پلی پروپیلن خالص است. نیز نتایج نشان داد که افزایش مدول کششی در تیمارهایی که از نانورس و میکروکریستالین سلولز ساخته شده اند به اتصال بین سطحی کامل تر بین الیاف و ماتریس منجر شده است. همان طور که در شکل ۱ دیده می شود، خواص

درصد در استحکام کششی ایجاد می کند [۹]. بهبود خواص کششی بین مواد لیگنوسلولزی و ماتریس پلیمری در حالت استفاده از جفت کننده ایجاد می شود. با افزودن MAPP خواص کششی به طور چشمگیر در مقایسه با پلی پروپیلن خالص بهبود یافته است. علاوه بر آن، تیمارهایی که با درصد بالاتر جفت کننده در ساخت چندسازه به کار رفتند استحکام و مدول کششی بهتری دارند. در شکل ۱ مشخص شده که در هر سه گروه (A, B, C) استفاده از ۵ درصد عامل

با افزودن بیشتر میکروکریستالین سلولز به دست آمده است. به طور مثال، خواص خمشی در ترکیبات A1 و C1 به ترتیب ۴۰/۳ و ۴۳/۲ مگاپاسکال بوده است. افزودن میکروکریستالین سلولز به طور مشخص خواص خمشی را همچون خواص کششی بهبود داده است. مانند مکانیسم‌های ذکر شده در بحث قبلی، خواص کششی تیمارهایی که از میکروکریستالین سلولز استفاده شده، افزایش داشته است.

#### مقاومت به ضربه

اثر تیمارهای گوناگون بر مقاومت به ضربه نمونه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج مقاومت به ضربه فاقد آیزود با افزایش انیدرید مالیک پلی پروپیلنی، نانورس، و میکروکریستالین سلولز بهبود یافته است. مقاومت به ضربه، در مقایسه با سایر تیمارها، در تیمارهایی که از میکروکریستالین سلولز استفاده شده برتری زیادی دارد. همچنین در ترکیباتی که از مقادیر گوناگون جفت‌کننده مالیکی استفاده شده نیز بهبود چشمگیری در مقایسه با تیمارهای فاقد جفت‌کننده داشته است. چندسازه‌های گروه B و C به طور مشخص استحکام به ضربه بالاتری در مقایسه با گروه A داشته است. به عبارت دیگر، نمونه‌هایی که با مقدار ۸ درصد میکروکریستالین سلولز ساخته شده‌اند، به طور مشخص استحکام به ضربه بیشتری در مقایسه با نوع A (بدون میکروکریستالین سلولز) داشته‌اند. افزودن انیدرید مالیک پلی پروپیلنی اتصال بین سطحی میان الیاف و ماتریس را برقرار می‌کند. بدین ترتیب، ترک به‌سختی در فاز داخلی چندسازه به‌وجود می‌آید یا توسعه می‌یابد.

#### ویژگی‌های سطوح شکست

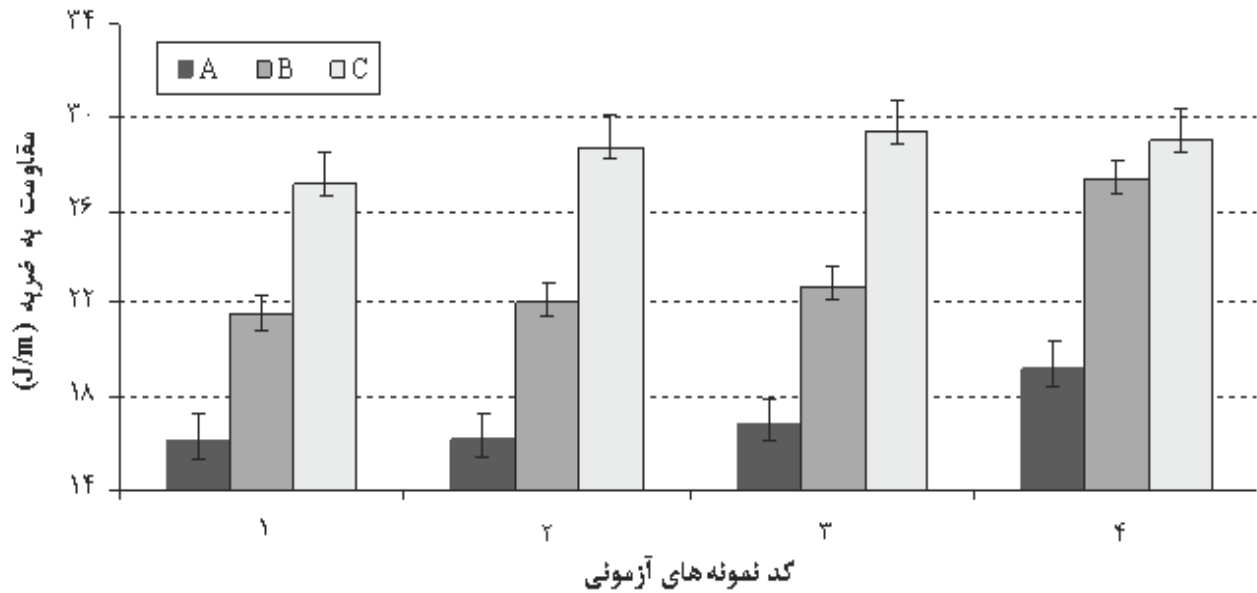
تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM)، برای بررسی سطوح شکست در نمونه‌های کششی چندسازه، در شکل ۴ آمده است. در تصاویر توزیع و سازگاری بین پرکننده‌ها و ماتریس دیده می‌شود. وجود حفره‌ها در چندسازه‌های ساخته شده در تیمارهای A1 و B1

کششی با افزودن نانورس افزایش داشته است. این نتایج نشان می‌دهد که ترکیبات آلی موجود نانورس در ماتریس پلیمر خواص کششی را افزایش می‌دهد [۴]. از آنجا که نانورس سختی بیشتری در مقایسه با ماتریس پلیمری دارد، افزودن این ماده در چندسازه استحکام کششی را تا حد مشخصی افزایش می‌دهد. بهبود استحکام کششی با مقادیر انیدرید مالیک پلی پروپیلنی در نسبت‌های بیشتر نانورس دیده شده است. این نتایج واکنش قوی بین ماتریس پلی پروپیلن و نانورس را تأیید می‌کند [۱].

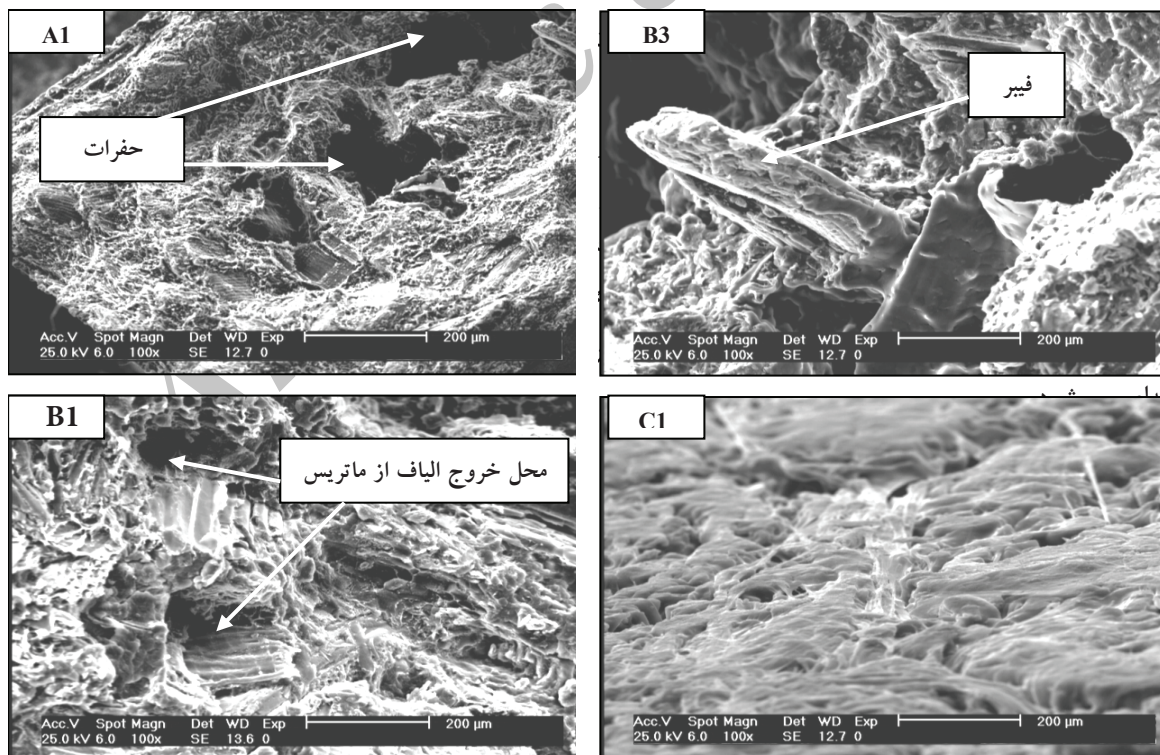
#### خواص خمشی

شکل ۲ استحکام و مدول خمشی چندسازه‌های ساخته شده در تیمارهای گوناگون را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، حداکثر استحکام خمشی در محدوده بین ۴۹ تا ۵۱ مگاپاسکال است. حداقل استحکام خمشی نیز برای پلیمر پلی پروپیلن در حد ۳۷/۲ مگاپاسکال بوده است. خواص خمشی به‌طور واضح با تغییرات جفت‌کننده مالیکی (MAPP)، میکروکریستالین سلولز (MCC)، و نانورس در ارتباط بوده است. ترکیبات ساخته شده با میکروکریستالین سلولز نشان داد که دارای بالاترین استحکام و مدول خمشی است. در این میان، پلیمر خالص (A1) پایین‌ترین، و تیمار C4 بالاترین استحکام خمشی را داشته است. استحکام خمشی نیز همچون استحکام کششی رفتار مشابهی داشت؛ هر چند تغییرات آن در مقایسه با استحکام کششی کمتر بود. افزایش خواص خمشی در نتیجه بهبود الحاق بین ترکیبات مواد در چندسازه به‌دست آمده است. بیشترین استحکام و مدول خمشی در ترکیباتی که از میکروکریستالین سلولز استفاده شده، به‌دست آمده است. استفاده از ۳ و ۵ درصد نانورس در ترکیبات چندسازه سبب افزایش استحکام خمشی از ۴۰ تا ۴۶ مگاپاسکال شده، که با سختی بیشتر صفحات رس و ضریب کشیدگی بالاتر نانورس مرتبط بوده است. همچنین مشاهده شده که افزایش استحکام خمشی





شکل ۳. مقایسه مقاومت به ضربه فاقدار نمونه های گوناگون



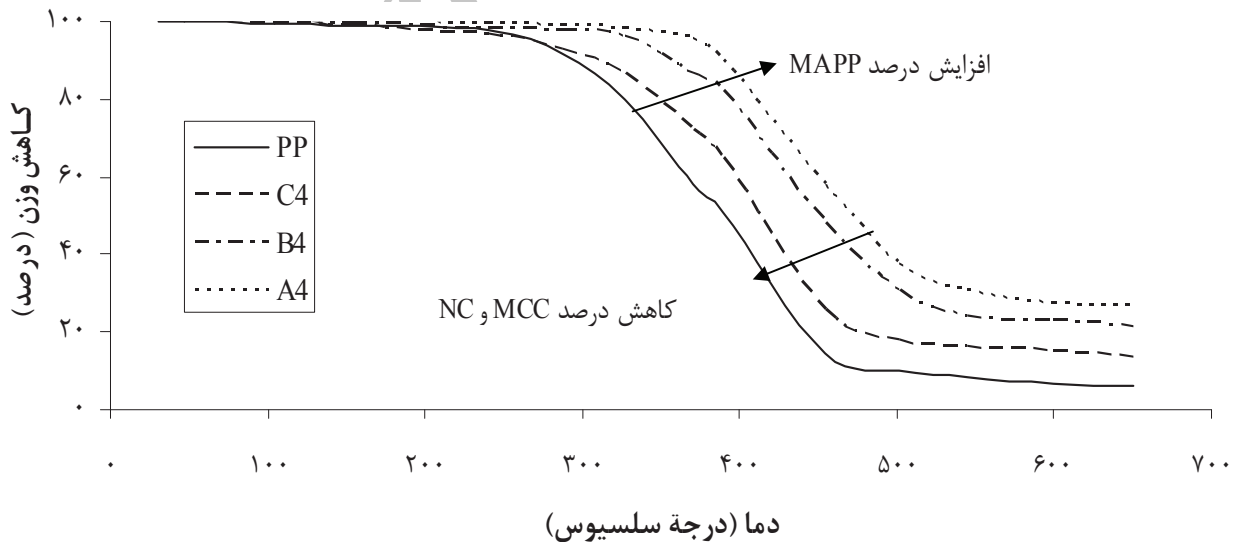
شکل ۴. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه های آزمونی کنشش با بزرگنمایی ۱۰۰

دیده می‌شود. تصاویر بهبود مشخصی را در ترکیباتی که از جفت‌کننده مالیکی استفاده شده را تأیید می‌کند. به‌منظور مشاهده دقیق‌تر ساختار چندسازه چوب پلاستیکی نانورس و تأیید نتایج آزمون اشعه ایکس از تصاویر میکروسکوپ انتقالی TEM استفاده شد. شکل ۵ تصویر چندسازه پلی پروپیلن الیاف چوب حاوی ۳ درصد نانورس را نشان می‌دهد. همان‌طور که

به‌وضوح دیده می‌شود. تصاویر نشان می‌دهد که سطوح اتصال بین الیاف و ماتریس ضعیف بود و هنگامی که تنش اعمال شد سبب خارج‌شدن آسان الیاف از ماتریس و در نهایت، ایجاد حفره و فاصله در چندسازه شد (کد B۳). همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، در چندسازه C۱ عدم کشیدگی و خارج‌شدن الیاف و نیز اتصال مناسب‌تر بین پرکننده‌ها و ماتریس



شکل ۵. تصویر میکروسکوپ الکترونی انتقالی نمونه‌های چندسازه چوب پلاستیکی با بزرگ‌نمایی ۱۵۰ نانومتر؛ نمونه حاوی ۳ درصد نانورس



شکل ۶. نتایج آنالیز حرارتی پلی پروپیلن خالص و نمونه‌های آزمونی



نانورس بهبود یافته است. همانطور که اشاره شد، حضور جفت کننده به واکنش داخلی قوی بین ماتریس پلیمر و نانورس می انجامد. بیشترین بهبود خواص حرارتی در جفت کننده ۵ درصد به همراه ۳ درصد نانورس به دست آمده است. و همانطور که انتظار می رفت، میکرو کریستالین سلولز خواص حرارتی را بهبود بخشید.

### نتیجه گیری

بر اساس نتایج به دست آمده در این بررسی می توان گفت:

۱. خواص مکانیکی چندسازه های ساخته شده در این بررسی - که از میکرو کریستالین سلولز استفاده شده - به طور مشخص در گروه B و C، در مقایسه با گروه A، برتری داشت.
۲. خواص مکانیکی چندسازه ها با افزایش درصد جفت کننده، سبب اتصال مناسب بین ماتریس پلیمری و پرکننده ها شد.
۳. بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد که استفاده از جفت کننده مالیکی سبب اتصال بهتر در فاز داخلی می شود و حفره ها و فضاهای خالی کمتری به وجود می آورد.
۴. نتایج آنالیز حرارتی نشان داد که جفت کننده مالیکی و نانورس موجب بهبود ثبات حرارتی چندسازه می شود. نیز مشخص شد که استفاده از میکرو کریستالین سلولز مقاومت حرارتی چندسازه را بهبود نمی بخشد.
۵. جدایی نسبی لایه ها (لایه لایه ای) در صورت استفاده از ۳ درصد نانورس سبب تشکیل ساختار درون لایه ای می شود.

در تصویر دیده می شود، خطوط تاریک رشته ای مربوط به لایه های نانورس، و مناطق روشن تر به ماتریس پلیمر مربوط است. تصویر نشان دهنده جدایی نسبی لایه ها ( لایه لایه ای) در صورت استفاده از ۳ درصد نانورس است که سبب تشکیل ساختار درون لایه ای می شود.

### خواص حرارتی

تخریب حرارتی در چندسازه های چوب پلاستیکی عامل مهمی در فرایند ساخت این نوع محصول است که حداکثر حرارت ساخت را در این نوع سازه تعیین می کند. مواد چوبی ای که در ساخت چندسازه های چوب پلاستیکی به عنوان پرکننده استفاده می شوند معمولاً در دمای کمتر از ۲۰۰ درجه سلسیوس به کار می روند. تخریب چوب در دماهای بالاتر به خواص نامطلوب (تغییر رنگ و بو و افت خواص مکانیکی) در چندسازه منجر می شود. این محدودیت ها در نوع و کاربرد پلیمرها نیز وجود دارد [۱۰].

منحنی TGA تابعی برای برآورد افت وزنی نسبت به دماست. شکل ۶ رفتار تجزیه حرارتی پلیمر خالص (پلی پروپیلن) و سه تیمار به کاررفته در این بررسی را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود، تخریب اولیه در پلیمر خالص در دمای ۲۲۸ درجه سلسیوس شروع شده که افت وزنی معادل ۹۱/۹ درصد را به وجود می آورد. با مشاهده سه ترکیب دیگر چندسازه مشخص شد که تخریب اولیه در دیگر نمونه ها بین ۳۷۰ تا ۳۹۰ درجه سلسیوس متغیر است. مقاومت حرارتی بالا نشان از بهبود بیشتر حرارتی در نمونه های چندسازه A۴ و B۴ دارد. این نتایج به طور مشخص نشان می دهد که خواص حرارتی در ترکیبات چندسازه به هنگام استفاده از جفت کننده و افزایش

## References

- [1]. Wang, S.-Y., Yang, T.-H., Lin, L.-T., Lin, C.-J., and Tsai, M.-J. (2007). Properties of low formaldehyde-emission particleboard made from recycled wood-waste chips sprayed with PMDI/PF resin. *Building and Environment*, 42 (7): 2472–2479.
- [2]. Nourbakhsh, A., Ashori, A., and Jahan-Latibari, A. (2010). Evaluation of the physical and mechanical properties of medium density fiberboard made from old newsprint fibers. *Reinforced Plastics and Composites*, 29 (1): 5–11.
- [3]. Li, Q., Matuana, L.M. (2003). Surface of cellulosic materials modified with functionalized polyethylene coupling agents. *Journal of Applied Polymer Science*, 88 (2): 278–286.
- [4]. Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kojima, Y., and Suzuki, S. (2008). Bamboo-fiber filled high density polyethylene composites; effect of coupling treatment and nanoclay. *Polymer and the Environment*, 16 (2): 123–130.
- [5]. Ashori, A., and Nourbakhsh, A. (2009). Characteristics of wood-fiber plastic composites made of recycled materials: *Waste Management*, 29 (4): 1291–1295.
- [6]. Zhou, Y., Rangari, V., Mahfuz, H., Jeelani, S., and Mallick, P.K. (2005). Experimental study on thermal and mechanical behavior of polypropylene, talc/polypropylene and polypropylene/clay nanocomposites. *Materials Science and Engineering Part A*, 402 (1-2): 109–117.
- [7]. Annual Book of ASTM Standards (1999). American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428, United States of America.
- [8]. Meyers, E.G., Chahyadi, I.S., Gonzalez, C., and Coberly, C.A. (1993). Wood fibers/polymer composites: fundamental concepts, processes, and material options. Forest Product Society, Madison, USA.
- [9]. Stark, N.M., and Rowlands, R.E. (2003). Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. *Wood Fiber Science*, 35 (2): 167–174.
- [10]. Morreale, M., Scaffaro, R., Maio, A., and La Mantia, F.P. (2008). Effect of adding wood flour to the physical properties of a biodegradable. *Composites Part A*, 39 (3): 503–513.

## بررسی آثار پیش‌استخراج بر خواص خمیر کاغذسازی و کاغذسازی باگاس در یک سیستم پالایشگاه زیستی

- ❖ **علی ایبض؛** کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **یحیی همزه؛** دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **علی عبدالخانی؛** استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **سحاب حجازی؛** استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

### چکیده

امروزه پالایشگاه زیستی به بخشی از کارخانه‌های خمیر و کاغذ به موضوع روز برای محققانی تبدیل شده که در این زمینه پژوهش می‌کنند. در این تحقیق آثار پیش‌استخراج همی سلولزها بر فرایند خمیر و کاغذسازی از باگاس بررسی شده است. به همین علت، از روش خودهیدرولیز با آب داغ در دمای  $140^{\circ}\text{C}$ ،  $155^{\circ}\text{C}$  و  $170^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱۰، ۲۰، و ۳۰ دقیقه استفاده و آثار پیش‌استخراج همی سلولزها بر خواص خمیر کاغذ حاصله بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از روش خودهیدرولیز با دمای  $135^{\circ}\text{C}$  به مدت ۳۰ دقیقه و  $170^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه شرایط مناسبی را برای استخراج همی سلولزها فراهم می‌کند؛ به طوری که بازده استخراج و مقدار حذف هلو سلولز در این شرایط به ترتیب در حد ۸۶ و ۱۱ درصد بود. خمیرسازی از باگاس‌های پیش‌استخراج شده در سه قلیابیت فعال ۱۱، ۱۴، و ۱۷ درصد نشان داد که هنگام تولید خمیر با کاپای بالا، بازده خمیرسازی از باگاس استخراج شده بیش از باگاس استخراج نشده است، ولی هنگام تولید خمیر قابل رنگ‌بری، بازده خمیرسازی از باگاس استخراج نشده بیشتر است. برای تولید خمیر کاغذ رنگ‌بری شده، بازده خمیرسازی از باگاس استخراج نشده و استخراج شده به ترتیب برابر با ۵۱/۱ و ۴۹/۳، و عدد کاپای این خمیرها به ترتیب برابر با ۱۹/۳ و ۱۸/۶ بود. به علاوه، خمیر کاغذ رنگ‌بری شده حاصل از باگاس استخراج شده خواص مقاومتی کمتری را نشان داد.

واژگان کلیدی: باگاس، پیش‌استخراج، پالایشگاه زیستی، خمیر کاغذ سودا، همی سلولزها.

## مقدمه

زیست‌توده<sup>۱</sup> از منابع مهم انرژی‌های تجدیدشونده است و به هر موجود زنده‌ای که قابلیت رشد و نمو داشته باشد و بر مبنای قوانین طبیعت تقسیم شود، اطلاق می‌شود و جنگل‌ها، اجزای گیاهان، برگ‌ها، موجودات زنده اقیانوس‌ها، زائادات حیوانی، پسماندهای شهری و غذایی و... را شامل می‌شود. این مواد قابلیت ذخیره انرژی را در خود دارند. انرژی خورشیدی که در گیاهان ذخیره می‌شود نیز قابلیت تبدیل به انرژی را دارد. زیست‌توده در میان دیگر انواع منابع انرژی سهم بیشتر و بزرگ‌تری دارد.

امروزه، به جای استفاده از منابع انرژی‌های فسیلی، به استفاده از مواد لیگنوسلولزی - از مهم‌ترین منابع زیست‌توده در جهان - به عنوان پتانسیلی عظیم برای تولید محصولات با ارزش افزوده، مانند سوخت زیستی<sup>۲</sup> و مواد شیمیایی، توجه می‌شود [۱]. و با استقرار واحدهای پالایشگاه‌های زیستی در بخش‌های مختلف صنعتی از جمله کارخانه‌های خمیر و کاغذسازی می‌توان به این مهم دست یافت. بنا به تعریف، پالایشگاه زیستی مکانی است که در آن زیست‌توده به محصولات با ارزش افزوده مانند سوخت، انرژی، و مواد شیمیایی تبدیل می‌شود که در این زمینه بسیار مشابه پالایشگاه‌های نفتی است؛ با این تفاوت که به جای نفت به عنوان ماده خام از زیست‌توده استفاده می‌شود [۲]. با توجه به زیرساخت‌های اساسی در صنایع خمیرکاغذ، پالایشگاه زیستی، بخشی از کارخانه‌های خمیر و کاغذ محسوب می‌شود. مبنای پالایشگاه زیستی در صنایع خمیر و کاغذ، استخراج همی‌سلولزها قبل از فرایند خمیرسازی است. روش‌های متنوعی برای استخراج همی‌سلولزها مانند هیدرولیز اسیدی (اسید رقیق، اسید غلیظ)، هیدروترمال، خودهیدرولیز، اکسیداسیون تر، لیگنین‌زدایی، تیمار قلیایی، تیمار آهکی، پراکسید قلیایی، چرخه آمونیاکی<sup>۳</sup> (ARP)، و انفجار الیاف

آمونیاکی<sup>۴</sup> (AFEX) پیشنهاد شده که هر کدام معایب و مزایایی دارند. با توجه به نقش همی‌سلولزها در خمیرسازی و خواص کاغذ حاصل از خمیر، استخراج آن‌ها از مواد اولیه لیگنوسلولزی و استفاده از آن برای تولید محصولات جانبی، تأثیرات زیادی بر تمام جنبه‌های صنعت خمیر و کاغذ مثلاً خواص مواد اولیه از نظر تولید خمیر کاغذسازی، خواص کاغذ تولیدی، مانند کاهش مقاومت‌ها، و ویژگی آب و پساب و چرخه آب در کاغذسازی، خواهد داشت [۱، ۳، ۴]. بنابراین، با توجه به اهمیت این موضوع در حال حاضر و آینده، در این تحقیق به بخشی از تأثیرات استخراج همی‌سلولزها بر خواص خمیرسازی از باگاس، به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع لیگنوسلولزی ایران، پرداخته می‌شود. در این تحقیق، از میان روش‌های نام‌برده شده برای استخراج، از روش خودهیدرولیز، به علت بازده بالا و کارایی مناسب و کاربرد متداول و نیز به این سبب که به صورت صنعتی قابلیت اجرا یافته [۲]، استفاده شد.

## مواد و روش‌ها

باگاس استفاده‌شده در این تحقیق از باگاس منطقه خوزستان و با همکاری کارخانه کاغذسازی پارس تهیه شد که پس از جداسازی پیت و ناخالصی‌های دیگر مانند سنگ‌ریزه و... به کمک غربال در محوطه آزمایشگاه، برای خشک‌شدن پراکنده و سپس برای یکنواخت‌سازی رطوبت در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی شد.

## استخراج همی‌سلولزها

فرایند پیش‌استخراج باگاس با توجه به شرایط مندرج در جدول ۱ و با استفاده از دایجستر گرم‌شونده تهیه خمیر در روغن انجام شد.

## بررسی و تعیین مقدار هولوسلولز و تعیین شرایط تیمار بهینه

در این روش ابتدا ۲/۵ گرم باگاس آسیاب‌شده با اندازه

1. Biomass
2. Biofuel
3. Ammonia Recycling Percolation
4. Ammonia Fiber Explosion

جدول ۱. شرایط پیش استخراج همی سلولزها از باگاس

شرایط استخراج	خودهیدرولیز
محلول استفاده شده	آب داغ
دما (°C)	۱۷۰، ۱۵۵، ۱۴۰
زمان (دقیقه)	۳۰، ۲۰، ۱۰

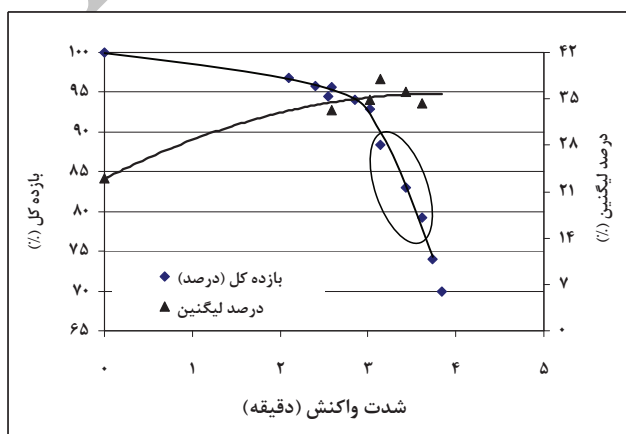
همکاران [۵] انجام شد. ساخت کاغذ دست ساز با توجه به دستورالعمل sp-۲۰۵-TAPPI انجام گرفت. مقاومت کششی بر اساس دستورالعمل om-TAPPI-T۴۹۴-۰۱، و مقاومت به ترکیدن بر اساس دستورالعمل T۴۰۳-om-۰۲ اندازه گیری شد.

## نتایج

### نتایج استخراج

نتایج حاصل از استخراج همی سلولزها با تیمارهای گوناگون، در جدول ۲، ارائه شده است. در این جدول، برای تعیین اثر متغیرهای دما، زمان، و pH محیط بر بازده استخراج، از عامل شدت واکنش استفاده شده که با فرمول ۱ محاسبه می شود. در این فرمول، t مدت زمان تیمار به دقیقه، و T دمای تیمار به درجه سلسیوس است. نتایج حاصل از این محاسبه و رسم نمودار بازده کل به صورت تابعی از عامل شدت تیمار در شکل ۱ ارائه شده است.

$$\text{Severity factor} = \text{Log}_{10} \left( t \times \exp \left[ \frac{T-100}{14.75} \right] \right) \quad (1)$$



شکل ۱. روند تغییرات بازده و مقدار لیگنین باگاس در تیمار خودهیدرولیز در شرایط گوناگون

ذرات بین غربال با مش ۶۰-۴۰ به همراه ۸۰ میلی لیتر آب مقطر داغ و ۰/۵ میلی لیتر اسید استیک و ۱ گرم کلریت سدیم (۸۰ درصد) در ظرف ۲۵۰ میلی لیتری قرار داده و ظرف در حمام بن ماری با دمای °C ۷۰ قرار داده شد. سپس، در هر یک ساعت، ۰/۵ میلی لیتر اسید استیک و ۱ گرم کلریت سدیم به مخلوط اضافه شد. این کار ۶ تا ۸ ساعت ادامه یافت. در پایان، پس از یک شبانه روز، نمونه ها با آب مقطر شست و شو داده شد و پس از خشک شدن در اتو (دمای °C ۶۰) وزن مواد فیبری باقی مانده تعیین و درصد هولوسلولز محاسبه شد.

### تولید خمیر کاغذ به روش شیمیایی سودا

برای تهیه خمیر از روش سودا با شرایط قلیابیت فعال ۱۱، ۱۴ و ۱۷ درصد بر مبنای وزن خشک باگاس، به مدت ۶۰ دقیقه و دمای °C ۱۶۵ استفاده شد و پس از شست و شوی خمیر، بازده و عدد کاپای خمیرهای تهیه شده مطابق با شرایط استاندارد تعیین شد. بعد از خمیرسازی، رنگبری خمیرهای منتخب با روش ECF طبق شرایط همزه و

جدول ۲. شرایط و نتایج حاصل از پیش‌استخراج همی سلولزها با روش تیمار با آب داغ

دما (°C)	زمان (دقیقه)	شدت واکنش (دقیقه)	بازده استخراج (درصد)	هولوسلولز (درصد)
باگاس خام	-	-	۱۰۰	۷۳/۴
	۱۰	۲/۱۰۴	۹۶/۸۵	-
۱۳۵-۱۴۰	۲۰	۲/۴۰۵	۹۰/۸۴	-
	۳۰	۲/۵۸۱	۸۶/۶۹	۶۶/۸
	۱۰	۲/۵۴۶	۹۴/۵۵	-
۱۵۰-۱۵۵	۲۰	۲/۸۴۷	۸۹/۰۳	-
	۳۰	۳/۰۲۳	۸۲/۹۱	۶۵/۲
	۱۰	۳/۱۳۵	۸۶/۴۱	۶۵
۱۷۰-۱۷۵	۲۰	۳/۴۳۶	۸۳/۰۶	۶۴
	۳۰	۳/۶۱۲	۷۹/۲۴	۶۵/۶

نمایان می‌شوند. مکانیسم هیدرولیز همی سلولزها در تیمار خودهیدرولیز به وسیله یون هیدرونیوم ( $H_3O^+$ ) کاتالیز می‌شود. بدین صورت که اسیدهای منتج شده از هیدرولیز گروه‌های اورونیک و استیل ناشی از همی سلولزها، باعث کاتالیز هیدرولیز پیوندهای بین همی سلولزها و لیگنین و هیدرولیز کربوهیدرات‌ها می‌شود. به عبارت دیگر، در فرایند خودهیدرولیز، یون هیدرونیوم از اسید استیک به وجود می‌آید که یکی از محصولات استیل زدایی از همی سلولزهاست و به عنوان کاتالیز عمل می‌کند و سبب بهبود سینتیک واکنش می‌شود. طبق بررسی‌های لاواراک و همکاران (۲۰۰۲) در این فرایند نیز افزایش دما لایه‌های محافظ لیگنین اطراف الیاف همی سلولزها را نرم می‌کند و سبب می‌شود که اسید باعث هیدرولیز همی سلولزها به شکل پلی ساکاریدها و مونوساکاریدهای، به طور عمده زایلوز و آرابینوز، شود.

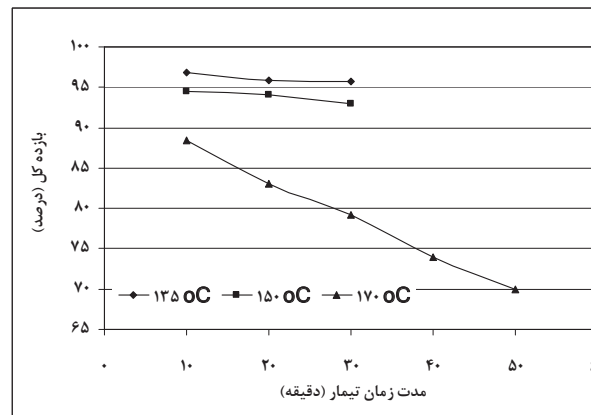
در شکل ۲ اثر دما و مدت زمان تیمار بر بازده کل نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در دمای °C ۱۳۵ و ۱۵۰، افزایش مدت زمان تیمار سبب کاهش بازده با شیب ملایمی می‌شود، ولی در دمای °C ۱۷۰، افزایش مدت زمان تیمار سبب کاهش شدید بازده استخراج می‌شود.

ملاحظه می‌شود که در تیمار با شرایط شدت کمتر از ۲/۵ دقیقه، مقدار بازده کاهش زیادی ندارد، اما با افزایش شدت تیمار، مقدار بازده سریع کاهش می‌یابد که با تخریب کربوهیدرات‌های باگاس مرتبط است. محققانی چون راسل و همکاران (۲۰۰۶)، یان و همکاران (۱۹۸۳)، و وال‌فورد (۲۰۰۸) ترکیب شیمیایی باگاس را شامل حدود ۵۰ درصد سلولز، ۲۵ درصد همی سلولزها، و ۲۵ درصد لیگنین برآورد کرده‌اند. بنابراین، با توجه به نتایج به دست آمده اندازه‌گیری مقدار هولوسلولز در باگاس پیش‌استخراج شده، می‌توان نتیجه گرفت که در بازده استخراج حدود ۸۵-۹۰ درصد، حدود ۳۰-۵۰ درصد از همی سلولزهای باگاس بر اثر فرایند خودهیدرولیز استخراج شده است.

بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته، تا حدود ۳۰ درصد از همی سلولزهای باگاس با روش خودهیدرولیز قابل استخراج‌اند؛ چنانکه یی‌چاو (۲۰۱۰) ۱۰ تا ۲۰ درصد همی سلولزهای باگاس، و گیمز (۲۰۰۶) بیش از ۵۵ درصد همی سلولزهای باگاس را با این روش استخراج کردند.

بر اساس تحقیقات یی‌چاو (۲۰۱۰)، کاروال‌هیرو (۲۰۰۸)، و لو (۲۰۱۱) در روش خودهیدرولیز، همی سلولزهای حل شده عمدتاً به صورت اولیگوساکاریدها





شکل ۲. اثر عوامل متغیر بر بازده کل استخراج باگاس در شرایط خودهیدرولیز

شرایط مناسب، تولید خمیر کاغذ با قلیابیت ۱۱، ۱۴، و ۱۷ درصد انجام شد که نتایج تهیه خمیر کاغذسازی در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که قلیابیت ۱۱ درصد برای تولید خمیر کاغذ قابل رنگ‌بری از باگاس استخراج شده و نشده مناسب نیست و عدد کاپای خمیر کاغذ تولید شده زیاد است. با افزایش قلیابیت تا ۱۴ درصد، اگرچه بازده قابل قبول افزایش و عدد کاپا کاهش می‌یابد، خمیر کاغذ تولید شده قابل رنگ‌بری نیست. بنابراین، قلیابیت ۱۷ درصد برای تهیه خمیر کاغذ قابل رنگ‌بری از

با توجه به اینکه مواد لیگنوسلولزی پیش استخراج شده برای تولید خمیر کاغذ بررسی شد، شرایطی از استخراج انتخاب شد که در آن شرایط، سلولز باگاس تخریب نشده باشد. بنابراین، با توجه به مقدار بازده استخراج و مقدار هولوسلولز دمای ۱۳۵ °C در مدت زمان ۳۰ دقیقه و دمای ۱۷۰ °C در مدت زمان ۱۰ دقیقه برای پیش‌استخراج همی سلولزهای باگاس انتخاب شد.

### نتایج خمیر کاغذسازی

در مرحله تولید خمیر کاغذ، برای تعیین حد بهینه و

جدول ۳. نتایج مراحل خمیر کاغذسازی

(اعداد ارائه شده داخل پرانتز در ستون بازده غربال مربوط به محاسبه بازده با در نظر گرفتن بازده استخراج و بر اساس باگاس تیمار نشده اولیه اند)

شماره تیمار	قلیابیت فعال ۱۱ درصد			قلیابیت فعال ۱۴ درصد			قلیابیت فعال ۱۷ درصد		
	بازده غربال (%)	بازده (%)	عدد کاپا	بازده غربال (%)	بازده (%)	عدد کاپا	بازده غربال (%)	بازده (%)	عدد کاپا
باگاس تیمار نشده	۴۵/۱۳	۱۰/۵۹	۴۰	۴۶/۲۷	۲/۴۶	۲۸/۴	۵۱/۱	۰	۱۹/۲۷
۱۳۵ °C	۵۲/۰۱	۶/۵۴	۵۴	۵۶/۳۰	۰/۱۷	۲۶/۶	۵۶/۹۱	۰	۱۸/۵۶
۳۰ دقیقه	(۴۵/۰۸)			(۴۸/۸۱)			(۴۹/۳۳)		
۱۷۰ °C	۵۷/۷۰	۰/۶۱	۵۷	۵۸/۰۹	۰/۰۷	۳۰	۵۸/۹۵	۰	۲۰/۷۵
۱۰ دقیقه	(۴۹/۲۷)			(۴۹/۶۰)			(۵۰/۳۴)		

بخش چشمگیری از همی سلولزها و تخریب سلولز در جریان تیمار استخراج همی سلولزهاست. خمیرهای تولیدشده با قلیابیت ۱۷ درصد برای رنگ‌بری انتخاب شدند. نتایج رنگ‌بری و خواص مقاومتی کاغذهای حاصله در جدول ۴ ارائه شده است. در فرایند تولید، خمیرکاغذ پیش‌استخراج همی سلولزها، منجر به کاهش مقدار پیوندهای درون بافت کاغذهای ساخته‌شده از مواد اولیه تیمار شده می‌شوند و مقاومت‌های کاغذ کاهش می‌یابد.

باگاس استخراج‌شده و استخراج‌نشده توصیه می‌شود. در قلیابیت ۱۷ درصد، استخراج همی سلولزها سبب افزایش بازده خمیرسازی از باگاس پیش‌استخراج‌شده در کاپای یکسان در مقایسه با باگاس استخراج‌نشده می‌شود. این افزایش بازده نسبت به وزن خشک باگاس تیمار شده است، ولی نسبت به وزن خشک باگاس تیمار نشده، فرایند استخراج همی سلولزها سبب کاهش بازده خمیرسازی نسبت به وزن خشک باگاس اولیه مورد استفاده برای خمیرسازی شده (اعداد داخل پرانتز در ستون بازده) که به سبب خروج

جدول ۴. خواص مقاومتی و نتایج مقایسه‌ای رنگ‌بری خمیر کاغذهای تولیدشده با استفاده از باگاس استخراج‌نشده و استخراج‌شده در شرایط گوناگون

نوع خمیر	عدد کاپا (DE)	بازده رنگ‌بری بعد از توالی DE (درصد)	روشنی خمیر (% ISO)	مقاومت به کشش (Nm/g)	مقاومت به ترکیدن (KPa.m <sup>2</sup> /g)
حاصل از باگاس تیمار نشده	۵/۶۸	۹۵	۸۳/۲۶	۶۵/۴۳	۳/۳۷
۱۳۵ °C ۳۰ دقیقه	۴/۹۱	۹۷/۱	۸۵/۳۲	۵۴/۲	۲/۸۹
۱۷۰ °C ۱۰ دقیقه	۷/۶	۹۴/۳	۸۴/۷۸	۴۹/۲۹	۲/۳۶

### نتیجه‌گیری

تیمار شده در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده نشان می‌دهد که طبق محاسبات انجام‌شده معلوم شد حدود ۳۰-۵۰ درصد از همی سلولزهای باگاس بر اثر فرایند خودهیدرولیز استخراج شده است. نتایج حاصل از مرحله خمیرسازی مقدار بازده کمتری را در تمام نمونه‌های تیمار شده در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده نشان می‌دهد. اندازه‌گیری مقاومت‌های کاغذ نیز مقدار مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدن کمتری را

در این تحقیق اثر پیش‌استخراج همی سلولزها به روش خودهیدرولیز با استفاده از آب داغ در فرایند خمیر و کاغذسازی بررسی شد. در این مرحله از تحقیق، مشخص شد که استخراج همی سلولزها در دمای ۱۳۵ °C و مدت زمان ۱۰ دقیقه بهترین شرایط برای عمل پیش‌استخراج است. مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار هولوسلولزها، استخراج مقدار چشمگیری از همی سلولزها را از باگاس‌های

که فرصت انجام دادن این پژوهش را در قالب طرح با قرارداد به شماره ۸۹۰۰۰۸۷۳ فراهم کردند، قدردانی می شود.

برای نمونه های تیمار شده در مقایسه با نمونه های تیمار نشده نشان داد.

### سپاس گذاری

از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور

Archive of SID

## References

- [1]. Cheng, H., Huaiyn, Z., Shiyu, F., and Lucian, L. A. (2010). Alkali extraction of hemicelluloses from depithed corn stover and effected on Soda-AQ pulping. *Bioresurces*, 11(1): 196-206.
- [2]. Carvalheiro, F., Luis, C., and Francisco, M. (2008). Hemicellulose biorefineries: a review on biomass pretreatment. *Journal of Scientific & Industrial Research*, (67): 849- 864.
- [3]. Al-Dajani, W., and Tschirne, U. (2008). Pre-extraction of hemicelluloses and subsequent Kraft pulping. Part I. Alkaline extraction. *TAPPI Journal*, 7(6): 3–8.
- [4]. Lei, Y., Liu, S., Li, J. and Sun, R. (2010). Effect of hot-water extraction on alkaline pulping of bagasse. *Biotechnology Advances*, (10): 10-16.
- [5]. Hamzeh, Y., Abyaz, A., Mirfatahi, M., and Abdokhani, A. (2011). Application of surfactants for improving soda pulping of bagasse. *Journal of Chemistry and Chemistry Engineering of Iran*, 29(2): 85-90.
- [6]. Rossell, C.E.V., Pradella J.G.C., Gomez E.O. and Squina Centro de Cienciae, F.M. (2006). Physical conditioning unit of the sugarcane biomass feedstock: Sugarcane bagasse and sugarcane trash-PPDP1, Workshop on Hydrolysis Route for Cellulosic Ethanol from Sugarcane, Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol, February 10-11th, 2009 - Campinas - SP, Brazil, p 30.
- [7]. Youn, W, H., Edwin, A., and Ciegler, A. (1983). Chemical and physical properties of sugarcane bagasse irradiated with  $\gamma$  (gamma) Rays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (31): 34-38.
- [8]. Walford, SN. (2008). Sugarcane Bagasse: How Easy Is It To Measure Its Constituents?, *Proceedings. Congress of the South African Sugar Technologists Association*, (81): 266-273.
- [9]. Yichao, L. Shijie, L. Jiang, L., and Runcang, S. (2010). Effect of hot-water extraction on alkaline pulping of bagasse. *Biotechnology Advances*, (10): 10-16.
- [10]. Gamez, S., Gonzalez-Cabriales, J., Alberto Ramirez, J., Garrote, G., and Vazquez, M. (2006). Study of the hydrolysis of sugar cane bagasse using phosphoric acid. *Journal of Food Engineering*, (74): 78–88.
- [11]. Lu, H., Hu, R., Ward, A., E.Amidon, T., Liang, B., and Liu, S. (2011). Hot-water xtraction and its effect on soda pulping of aspen woodchips. *Biomass & Bioenergy*, (1): 10-16.
- [12]. Lavarack, B.P., Gri(nb), G.J., and Rodmanc, D. (2002). The acid hydrolysis of sugarcane bagasse hemicellulose to produce xylose, arabinose, glucose and other products. *Biomass and Bioenergy*, (23): 367–380.

## بررسی استفاده از خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی کاه گندم در

### ساخت کاغذ فلوتینگ

- ❖ احمد جهان لتیباری؛ کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ آژنگ تاجدینی؛ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ سید جواد سپیده‌دم؛ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ محمدعلی حسین؛ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ رضا حسین پور؛ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ محمد گازا؛ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

### چکیده

این بررسی با هدف ارائه روشی برای ساخت خمیر کاغذ از کاه گندم انجام گرفت تا بتوان آن را در مقیاس کوچک استفاده و جایگزین بخشی از خمیر کاغذ تولید شده از کارتن کنگره‌ای کهنه کرد. بدین منظور، خمیر کاغذ با تغییر مقدار قلیابیت فعال (NaOH) در چهار سطح ۱۰، ۱۲، ۱۴، و ۱۶ درصد (بر مبنای وزن خشک کاه گندم) و زمان پخت ۴۰ دقیقه و دمای پخت ۹۵ درجه سانتی‌گراد تهیه شد. بازده بعد از پخت خمیر کاغذها بین ۶۴/۶ تا ۷۲/۷ درصد، و بازده کل بعد از جداسازی الیاف بین ۵۵/۴۵ تا ۵۸/۳ درصد متغیر بود. درجه روانی خمیر کاغذهای پالایش‌نشده نیز بین ۷۰۸ تا ۷۹۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی تغییر کرد. خمیر کاغذ تا درجه روانی حدود ۳۵۰ پالایش شد و پس از آن ویژگی‌های کاغذ دست‌ساز از آن‌ها اندازه‌گیری شد. دانسیته کاغذ بین ۴۳۷ تا ۴۸۹ کیلوگرم بر متر مکعب، شاخص مقاومت به پاره‌شدن بین ۶/۵۱-۷/۹۱  $mN.m^2/g$ ، و شاخص مقاومت به کشش بین ۲۹/۲-۳۰/۸  $N.m/g$  اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۹ درصد بین ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ دیده نشد، بنابراین، خمیر کاغذ تهیه‌شده با ۱۰ درصد قلیابیت فعال، ۴۰ دقیقه زمان پخت، و ۹۵ درجه سانتی‌گراد دمای پخت به‌عنوان جایگزینی برای خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه ارزیابی شد. ویژگی‌های خمیر کاغذ پالایش‌شده تا درجه روانی ۳۶۵ میلی‌متر استاندارد کانادایی برتر از خمیر کاغذ از کارتن کنگره‌ای کهنه اندازه‌گیری شد. با توجه به برتری مقاومتی، از این خمیر کاغذ می‌توان به‌عنوان تقویت‌کننده خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه استفاده کرد.

واژگان کلیدی: بازده، خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی، کاه گندم، کاغذ فلوتینگ، ویژگی‌های مقاومتی

## مقدمه

به سبب محدود بودن منابع چوبی و تحلیل رفتن آن، اتکا به این منابع برای تولید کاغذ و خمیر کاغذ، منطقی به نظر نمی‌رسد. بنابراین، با توجه به تقاضای بازار و فشارهای زیست محیطی، منابع تأمین ماده اولیه صنایع خمیر کاغذ، از چوب به مواد غیر چوبی و پسماندهای کشاورزی تغییر کرده است [۱]. در این راستا، از انواع منابع الیافی، مانند جنگل‌های دست‌کاشت از درختان سریع‌الرشد، بازیافت کاغذ، و الیاف منابع لیگنوسلولزی غیر چوبی از پسماندهای کشاورزی، برای تأمین ماده اولیه کاغذسازی استفاده می‌شود [۲].

توجه روزافزون به استفاده از منابع الیاف غیر چوبی، به ویژه پسماندهای کشاورزی در ساخت خمیر کاغذ، موجب توسعه و گسترش تحقیقات در سراسر جهان برای دستیابی به فرایندهای مناسب خمیر کاغذسازی از این منابع مهم شده است. این تحقیقات گستره وسیعی از منابع الیاف غیر چوبی را پوشش داده است. در بین منابع الیاف غیر چوبی، کاه غلات، به ویژه کاه گندم، بیشترین اهمیت را در دنیا و ایران دارد. در تولید خمیر کاغذ از کاه گندم، گسترده‌ترین و متداول‌ترین فرایند خمیر کاغذسازی، فرایند سودا است. دو ماده شیمیایی اصلی به کاررفته در این فرایند، هیدروکسید سدیم و کربنات سدیم‌اند، ولی اغلب اکسیژن یا آنتراکینون نیز به فرایند افزوده می‌شود و دما به طور معمول بین ۱۴۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد است.

لاتروب (۱۹۷۱) خصوصیات پالایش‌پذیری و مقاومت‌های خمیر کاغذ از پنج نوع پسماند محصولات کشاورزی از جمله کاه گندم ساخته‌شده با روش سودا را با خمیر کاغذ از چند گونه چوبی مقایسه کرد [۳]. خمیر کاغذهای تهیه‌شده از پسماندهای محصولات کشاورزی از نظر تمام خصوصیات مقاومتی، به جز مقاومت به پاره‌شدن، از خمیر کاغذ چوب مطلوب‌تر بودند. خمیر کاغذ سودای تهیه‌شده از کاه گندم در مقایسه با همه گونه‌های چوبی و غیر چوبی

بررسی شده از خصوصیات مقاومتی بهتری برخوردار بود. خمیر کاغذ کاه گندم در مقایسه با خمیر کاغذ سولفیت سوزنی‌برگان به پالایش کمتری نیاز داشت.

راجا و ایرماک (۱۹۹۳) با استفاده از کربنات سدیم و هیدروکسید سدیم به تهیه کاغذ فلوتینگ از کاه گندم اقدام کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که پخت‌های حاوی هیدروکسید سدیم، آسان‌تر پالایش می‌شود و انرژی مصرفی کمتری لازم دارد [۴]. همچنین، بر اثر کم‌شدن هیدروکسید سدیم، زمان پخت طولانی‌تر می‌شود و مقدار کربوهیدرات‌های حل‌نشده افزایش می‌یابد. این خمیر کاغذ بازده بیشتری دارد و در مصرف هیدروکسید سدیم کمتر، کاغذ مقاوم‌تری را برای ساخت کاغذ لایه موج میانی، تولید می‌کند. مکین و جاکوب (۱۹۹۷) ساقه گندم واریته Madisen ایالات متحده را بعد از پیش‌بخاردهی، تحت تأثیر روش سودا-آنتراکینون در دو فاز مایع و گاز قرار دادند و نتیجه گرفتند که تحت خمیر کاغذسازی سودا-آنتراکینون، خمیر کاغذهای قابل رنگ‌بری در عدد کاپای ۱۰-۱۲ و بازده حدود ۴۴ درصد تولید می‌شود. نیز نتیجه گرفتند که مقاومت به کشش و مقاومت به پاره‌شدن کاغذ ساخته‌شده از خمیر کاغذ کاه گندم کاملاً رنگ‌بری‌شده مناسب کاغذ ظریف و قابل مقایسه با مخلوط پهن‌برگان است [۵].

فرایند سولفیت اسیدی چون خمیر کاغذهایی با مقاومت کم تولید می‌کند، چندان برای کاغذسازی از کاه گندم مناسب نیست؛ درحالی‌که روش خمیر کاغذسازی سولفیت خشی از روش‌های مناسب خمیر کاغذسازی از کاه گندم است. ولی فرایند خمیر کاغذسازی NSSC از کاه، پیچیده‌تر از خمیر کاغذسازی NSSC با چوب است و مشکل دیگر این است که برخی کارخانه‌ها نتوانسته‌اند بازده مورد انتظار (۷۰-۷۵ درصد) را به دست آورند و بازده خمیر کاغذسازی محدود (۵۵-۵۸ درصد) بوده است.

جیاسینگام (۱۹۹۱) معتقد است که با انتخاب تجهیزات و روش مناسب می‌توان از بخش عمده‌ای از



کاغذ با استفاده از یک روش ساده بررسی شد. امکان استفاده از خمیرکاغذ تولیدشده در ترکیب با خمیرکاغذ از کارتن کنگره‌ای کهنه برای تأمین بخشی از الیاف مورد نیاز تولید کاغذ بسته‌بندی نیز ارزیابی شد.

## مواد و روش‌ها

### مواد اولیه

ساقه گندم مورد نیاز این بررسی از مزارع کشت گندم در شهرستان کرج تهیه و به دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، آزمایشگاه گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، منتقل شد. پس از جداسازی برگ و دانه‌ها، ساقه‌ها به قطعاتی به طول ۲ تا ۳ سانتی‌متر خرد شدند. کاه خردشده کاملاً با هم مخلوط و در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی شد.

### تهیه خمیر کاغذ

در این تحقیق، از روش پخت CMP<sup>۱</sup> (فرایند شیمیایی مکانیکی) با استفاده از هیدروکسید سدیم در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد و زمان پخت ۴۰ دقیقه استفاده شد. از چهار مقدار NaOH، ۱۰، ۱۲، ۱۴، و ۱۶ درصد (بر مبنای وزن خشک کاه)، استفاده و برای هر پخت از ۱۰۰ گرم کاه گندم و نسبت مایع پخت به کاه معادل ۸:۱ استفاده شد. پس از پایان هر پخت، pH و قلیایی باقی‌مانده مایع پخت سیاه، با روش تیتراسیون به کمک اسید کلریدریک اندازه‌گیری شد. بعد از هر پخت، پالایش اولیه (جداسازی الیاف) خمیرکاغذ با استفاده از پالایشگر آزمایشگاهی صورت گرفت.

در پایان مرحله جداسازی الیاف، ابتدا به کمک دو الک با اندازه سوراخ‌های ۱۴ و ۲۰۰ مش، ذرات وازده (Reject) از الیاف خمیرکاغذ قابل قبول (Accept) جدا شد. ذرات باقی‌مانده بر روی الک ۱۴ جزء وازده، و الیاف باقی‌مانده بر روی الک ۲۰۰ جزء خمیرکاغذ قابل قبول هستند. از مجموع وازده و بازده قابل قبول خمیرکاغذ، بازده کل خمیرکاغذ پالایش‌شده به دست آمد.

این مشکلات در کارخانه‌های خمیرکاغذ نیمه‌شیمیایی اجتناب کرد [۶].

علی و همکاران (۱۹۹۱) دریافتند که با فرایند ناپیوسته خمیر کاغذسازی به روش سولفیت خنثی از کاه گندم می‌توان خمیرکاغذ با بازده بیشتر یا حتی زیادتر از فرایندهای کرافت یا سودا تهیه کرد [۷].

کاپلیتی و مارزیتی (۱۹۹۱) تأثیر فرایند انفجاری با بخار آب را بر روی خواص خمیرکاغذ از کاه گندم بررسی کردند. تیمارهای انفجاری با بخار آب در یک مقیاس آزمایشگاهی، تحت شرایط دما، فشار، و زمان متفاوت با پیش‌تیمار یا بدون پیش‌تیمار، انجام شد. خواص کاغذ این خمیرکاغذها، مشابه یا در بعضی موارد، حتی بهتر از خواص خمیرکاغذهای به‌دست‌آمده با روش‌های ناپیوسته متداول بود. از طرف دیگر، میزان بیشتر نرمه خمیرکاغذهای کاه نیز نقش مهمی در افزایش مقاومت ورقه داشت [۲].

پیت-کونیل و همکاران (۲۰۰۱) بررسی پتانسیل کاه گندم برای تولید خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی مناسب برای ساخت کاغذ کنگره‌ای را به سرانجام رساندند و بیان کردند که می‌توان ترکیب‌های متفاوت خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی از کاه گندم را به‌همراه ضایعات کارتن کنگره‌ای کهنه در ساخت کاغذ فلوتینگ و لاینربرد به کار برد [۸]. ترکیب ۴۰ درصد خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی از کاه گندم و ۶۰ درصد خمیرکاغذ از کارتن کنگره‌ای کهنه نه تنها اثر کاهنده‌ای بر مقاومت‌ها ندارد، بلکه قابلیت عبور خوب در ماشین کاغذ را دارد. این ترکیب اثر منفی چندانی بر کیفیت مقوای کنگره‌ای نهایی ندارد.

در سال‌های اخیر، تلاش بسیاری برای دستیابی به سیستم‌های جدید خمیر کاغذسازی از مواد اولیه لیگنوسلولزی صورت گرفته و استفاده از روش‌های سازگار با محیط زیست اهمیت یافته است. بنابراین، با توجه به کمبود منابع چوبی در ایران، پتانسیل کاه گندم، به‌عنوان ماده اولیه لیگنوسلولزی غیر چوبی، برای تولید

### ساخت کاغذ دست‌ساز و تعیین ویژگی‌ها

ساخت کاغذ دست‌ساز و تعیین ویژگی‌ها طبق دستورالعمل‌های آیین‌نامه تاپی<sup>۱</sup> به شرح زیر انجام گرفت: پالایش خمیر کاغذ: sp T۲۴۸-۰۸؛ درجه روانی خمیر کاغذ: om T۲۲۷-۰۴؛ ساخت کاغذ دست‌ساز: sp T۲۰۵-۰۶؛ وزن پایه کاغذ: om T۴۱۰-۰۸؛ مقاومت به پاره شدن: T ۴۱۴ om-۰۴؛ مقاومت به ترکیدن: T ۴۰۳ om-۰۲؛ مقاومت به کشش: T ۴۹۴ om-۰۶؛ T : CMT ۸۰۹ om-۰۹؛ T : RCT ۸۱۸ om-۰۹۷ [۹].

### ترکیب خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از کاه گندم با خمیر کاغذ بازیافتی (OCC)

از خمیر کاغذ CMP از کاه گندم به دو شکل پالایش نشده و پالایش شده تا درجه روانی حدود ۳۵۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی در ترکیب با خمیر کاغذ OCC استفاده شد. خمیر کاغذ CMP به میزان ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد با خمیر کاغذ OCC مخلوط شد و از این ترکیب، کاغذ با وزن پایه ۱۲۰ گرم بر متر مربع ساخته شد. ویژگی‌های مقاومتی کاغذ دست‌ساز طبق

دستورالعمل‌های مربوط در آیین‌نامه تاپی اندازه‌گیری شد.

### تحلیل و بررسی اطلاعات

تحلیل آماری نتایج به دست آمده بر اساس آزمون فاکتوریل در قالب طرح‌های کامل تصادفی، و مقایسه میانگین‌ها بر اساس روش دانکن انجام شد.

### نتایج

#### ارزیابی ویژگی‌های خمیر کاغذ

به طور معمول، در پخت خمیر کاغذ شیمیایی از دمای حدود ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد استفاده می‌شود. در این دما محفظه پخت تحت فشار زیاد است و در نتیجه به تجهیزات گران‌تری نیاز است. بنابراین، از لحاظ اقتصادی، استفاده از آن در مقیاس کوچک توجیه‌پذیر نخواهد بود. در این بررسی، از دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شد و با تغییر میزان مصرف هیدروکسید سدیم سعی شد خمیر کاغذی با ویژگی‌های مناسب، از نظر بازده و ویژگی‌های مقاومتی، تولید شود. نتایج پخت‌های سودا با تغییر میزان قلیایی و زمان پخت در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱. میانگین بازده و درجه روانی خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از کاه گندم (شرایط ثابت؛ دما: ۹۵ درجه سانتی‌گراد؛ زمان: ۴۰ دقیقه)

درجه روانی (ml CSF)	قلیایی مصرف شده (%)	بازده بعد از جداسازی الیاف			ویژگی بعد از پخت			قلیایی (NaOH) (%)
		کل	وازده	قابل قبول	بازده (%)	قلیایی باقی‌مانده (%)	pH	
۷۹۰	۴/۱۵	۵۸	۴	۵۴	۷۲/۲	۵/۸۵	۱۱/۲	۱۰
۷۵۵	۲/۳۳	۵۶/۲	۳/۴۵	۵۲/۷۵	۶۷/۲	۹/۶۷	۱۱/۶	۱۲
۷۷۲	۲/۷۲	۵۵/۴۵	۱/۶	۵۱/۸۵	۶۷/۲	۱۱/۲۸	۱۲/۲۰	۱۴
۷۰۸	۳/۲۹	۵۸/۳	۲/۴	۵۵/۹	۶۴/۶	۱۲/۷۱	۱۲/۲۵	۱۶

از زمان طولانی‌تری برای پخت استفاده شود. در این بررسی خمیر کاغذ با مقدار قلیایی گوناگون (بین ۱۰ تا ۱۶ درصد بر مبنای وزن خشک کاه) و زمان پخت

با توجه به اینکه در دمای کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در صورت کوتاه‌بودن زمان پخت، نرم شدن ماده اولیه به خوبی انجام نمی‌گیرد، بنابراین بهتر است

1. Technical Association of Pulp and Paper Industry (Tappi)  
2. Old Corrugated Container

از آب برگشتی در سیستم شست و شو استفاده مجدد می شود به سیستم برمی گردند؛ بنابراین، در مقیاس صنعتی به بازده زیادتری دست خواهیم یافت. نتایج

۴۰ دقیقه ای تهیه شد. با اینکه بخشی از خمیر کاغذهای ساخته شده، به صورت نرمه همراه آب از الیاف جدا شده اند، ولی این نرمه ها در فرایند پخت صنعتی که

جدول ۲. ویژگی های مقاومتی خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از کاه گندم (شرایط ثابت؛ دما: ۹۵ درجه سانتی گراد؛ زمان: ۴۰ دقیقه)

شاخص مقاومت به کشش N.m/g	شاخص مقاومت به پاره شدن mN.m <sup>2</sup> /g	دانسیته kg/m <sup>3</sup>	ضخامت μm	وزن پایه g/m <sup>2</sup>	درجه روانی ml CSF		قلیایی (NaOH) (%)	
					بعد از پالایش	تعداد دور PFI		
۵۶/۵	۶/۵۱	۴۴۰	۱۴۶/۱	۶۴/۳	۳۶۵	۱۰۰۰	۷۹۰	۱۰
۵۸	۶/۸۶	۴۳۰	۱۴۳/۵	۶۱/۵	۳۶۷	۱۰۰۰	۷۵۵	۱۲
۶۰/۰۵	۷/۱۱	۴۳۷	۱۴۸	۶۴/۷	۳۸۴	۱۰۰۰	۷۷۲	۱۴
۵۶/۲	۶/۹۷	۴۸۹	۱۲۹/۵	۶۳/۳	۳۴۳	۴۶۰	۷۰۸	۱۶

۳۵۰ میلی لیتر استاندارد کانادایی (RCMP) در ترکیب با خمیر کاغذ بازیافتی از کارتن کنگره ای کهنه (OCC) استفاده شد. نتایج اندازه گیری ویژگی های مقاومتی کاغذ دست ساز با وزن پایه ۱۲۰ گرم بر متر مربع از ترکیب این خمیر کاغذها در شکل های ۱ تا ۵ آمده است.

با توجه به اینکه طول الیاف کاه گندم کوتاه تر و مقاومت ذاتی الیاف خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از کاه گندم ضعیف تر از الیاف OCC است، بنابراین، بر اثر افزودن خمیر کاغذ CMP یا RCMP به خمیر کاغذ OCC، شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ از ترکیب دو خمیر کاغذ کاهش یافت.

آنالیز واریانس (ANOVA) تأثیر افزودن مقادیر مختلف خمیر کاغذ CMP یا RCMP به خمیر کاغذ OCC در جدول ۳ نشان داده شده است.

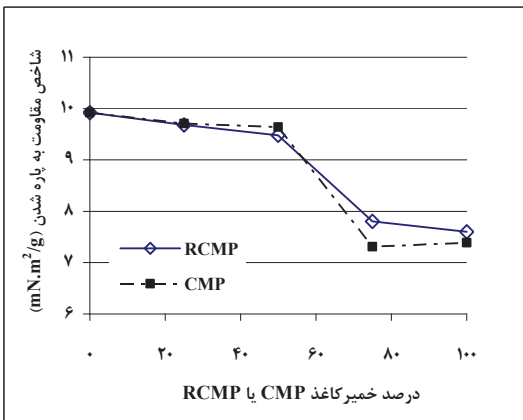
تأثیر افزودن مقادیر مختلف خمیر کاغذ CMP یا RCMP به خمیر کاغذ OCC بر شاخص مقاومت به پاره شدن در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد معنی دار شد و این ویژگی در سه گروه مجزا قرار گرفت. گروه بندی دانکن میانگین های مقاومت ها در جدول ۴ آمده است.

ویژگی های مقاومتی خمیر کاغذهای انتخاب شده در جدول ۲ خلاصه شده است.

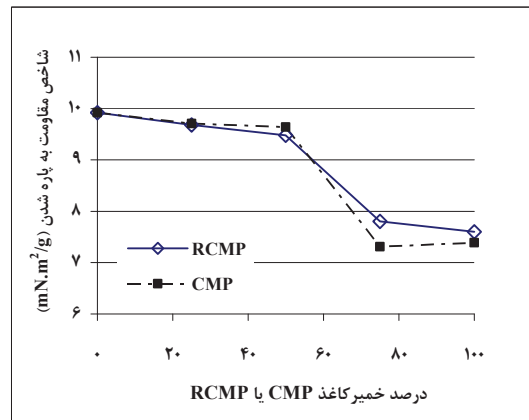
تحلیل و بررسی آماری تأثیر مقدار قلیایی بر روی ویژگی های فیزیکی و مقاومتی خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از کاه گندم نشان می دهد که تأثیر مقدار قلیایی بر ویژگی های بررسی شده در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد معنی دار نشد و فقط تأثیر آن بر دانسیته کاغذ دست ساز در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد معنی دار شد.

#### استفاده از خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی کاه گندم در ترکیب با کارتن کنگره ای کهنه

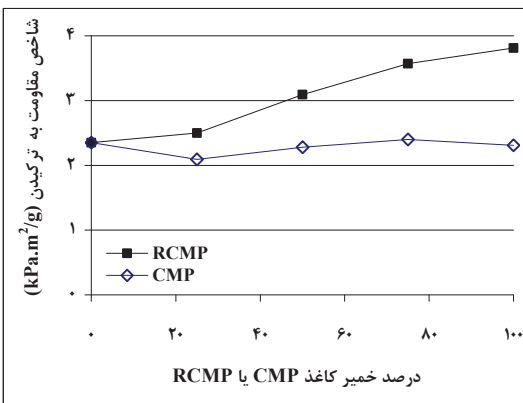
استفاده از خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از کاه گندم با قابلیت تولید در مقیاس کوچک و با قابلیت جایگزینی با خمیر کاغذ حاصل از بازیافت کارتن های کنگره ای کهنه بررسی شد. در حال حاضر، در فرایند بازیافت و تولید کاغذهای بسته بندی عمدتاً از کارتن کنگره ای کهنه، موسوم به OCC، استفاده می شود. با توجه به ضرورت یافتن خمیر کاغذی که بتواند بخشی از خمیر کاغذ OCC را جایگزین کند، از مقادیر متفاوت خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی کاه گندم به دو صورت CMP تولید شد و بعد از جداسازی الیاف یا خمیر کاغذ CMP پالایش شده تا درجه روانی حدود



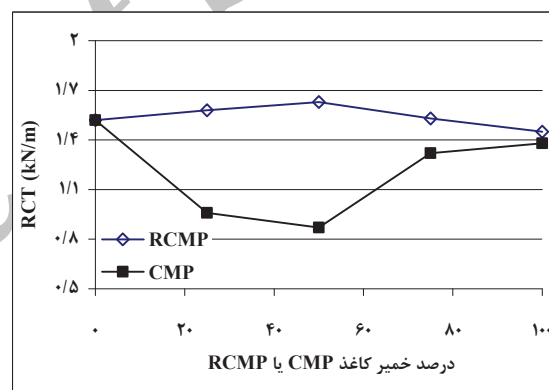
شکل ۲. تأثیر ترکیب خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی (CMP) و خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی پالایش شده (RCMP) از کاه گندم با خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه بر شاخص مقاومت به کشش



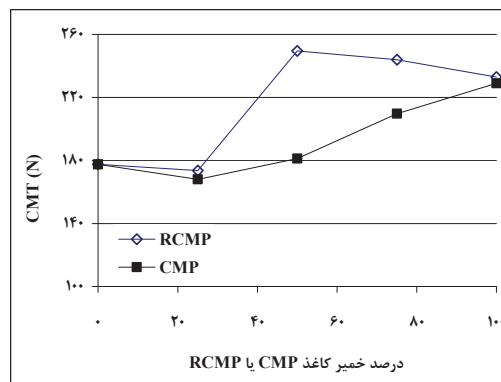
شکل ۳. تأثیر ترکیب خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی (CMP) و خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی پالایش شده (RCMP) از کاه گندم با خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه بر شاخص مقاومت به پاره شدن



شکل ۴. تأثیر ترکیب خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی (CMP) و خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی پالایش شده (RCMP) از کاه گندم با خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه بر RCT کاغذ



شکل ۵. تأثیر ترکیب خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی (CMP) و خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی پالایش شده (RCMP) از کاه گندم با خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه بر شاخص مقاومت به ترکیب



شکل ۶. تأثیر ترکیب خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی (CMP) و خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی پالایش شده (RCMP) از کاه گندم با خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه بر CMT کاغذ

جدول ۳. آنالیز واریانس (ANOVA) تأثیر افزودن خمیر کاغذ RCMP یا CMP به خمیر کاغذ OCC (وزن پایه کاغذ دست‌ساز: ۱۲۰ گرم بر متر مربع)

سطح معنی داری	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات		
۰/۰۵۶	۲/۴۲۸	۲/۸۲۸	۸	۲۲/۶۲۳	بین گروه‌ها	شاخص مقاومت به پاره‌شدن
		۱/۱۶۵	۱۸	۲۰/۹۶۳	داخل گروه‌ها	
			۲۶	۴۳/۵۸۶	کل	
۰/۰۰۰	۵۲/۲۵۰	۳۴۰/۰۴۳	۸	۲۷۲۰/۳۴۶	بین گروه‌ها	شاخص مقاومت به کشش
		۶/۵۰۸	۱۸	۱۱۷/۱۴۳	داخل گروه‌ها	
			۲۶	۲۸۳۷/۴۸۹	کل	
۰/۴۱۵	۱/۰۸۷	۰/۲۲۱	۸	۱/۷۶۸	بین گروه‌ها	RCT
		۰/۲۰۳	۱۸	۳/۶۵۹	داخل گروه‌ها	
			۲۶	۵/۴۲۷	کل	
۰/۰۰۰	۳۲/۴۰۲	۳۱۹۶/۹۷۸	۸	۲۵۵۷۵/۸۲۳	بین گروه‌ها	CMT
		۹۸/۶۶۷	۱۸	۱۷۷۶/۰۰۰	داخل گروه‌ها	
			۲۶	۲۷۳۵۱/۸۲۳	کل	
۰/۰۰۰	۱۴/۵۴۶	۱/۵۵	۸	۱۲/۳۹۶	بین گروه‌ها	شاخص مقاومت به ترکیدن
		۰/۱۰۷	۲۷	۲/۸۷۶	داخل گروه‌ها	
			۳۵	۱۵/۲۷۲	کل	

جدول ۴. گروه‌بندی دانکن میانگین‌های مقاومت‌های کاغذ از ترکیب خمیر کاغذها

CMT (N)	RCT (kN/m)	شاخص مقاومت به			ترکیب خمیر کاغذ		
		شاخص مقاومت به ترکیدن (kPa.m <sup>2</sup> /g)	شاخص مقاومت به کشش (N.m/g)	شاخص مقاومت به پاره‌شدن (mN.m <sup>2</sup> /g)	OCC	CMP	RCMP
۲۳۳ <sup>cd</sup>	۱/۴۵	۳/۸۱ <sup>c</sup>	۶۶/۶۶ <sup>g</sup>	۷/۶ <sup>a</sup>	۰	-	۱۰۰
۲۴۴ <sup>cd</sup>	۱/۵۳	۳/۵۷ <sup>c</sup>	۶۸/۹۱ <sup>h</sup>	۸/۷ <sup>ab</sup>	۲۵	-	۷۵
۲۴۹/۶ <sup>e</sup>	۱/۶۳	۳/۰۹ <sup>b</sup>	۵۶/۹۰ <sup>cd</sup>	۹/۴۸ <sup>b</sup>	۵۰	-	۵۰
۱۷۳/۶ <sup>a</sup>	۱/۵۸	۲/۵۰ <sup>a</sup>	۴۲/۴۶ <sup>ab</sup>	۹/۶۸ <sup>b</sup>	۷۵	-	۲۵
۱۷۷/۶ <sup>a</sup>	۱/۵۲	۲/۳۵ <sup>a</sup>	۴۰/۹۱ <sup>a</sup>	۹/۹۳ <sup>b</sup>	۱۰۰	-	۰
۲۲۹ <sup>c</sup>	۱/۳۸	۲/۰۹ <sup>a</sup>	۶۴/۵۷ <sup>ef</sup>	۷/۳۹ <sup>a</sup>	۰	۱۰۰	-
۲۰۹/۷ <sup>b</sup>	۱/۳۲	۲/۲۸ <sup>a</sup>	۶۱/۲۱ <sup>de</sup>	۸/۳۱ <sup>ab</sup>	۲۵	۷۵	-
۱۸۱/۳ <sup>a</sup>	۰/۸۷	۲/۴۰ <sup>a</sup>	۵۰/۹۶ <sup>c</sup>	۹/۶۴ <sup>b</sup>	۵۰	۵۰	-
۱۶۸ <sup>a</sup>	۰/۹۶	۲/۳۱ <sup>a</sup>	۴۶/۴۴ <sup>b</sup>	۹/۷۱ <sup>b</sup>	۷۵	۲۵	-

RCMP: خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی بازده کم از کاه گندم که تا ۳۵۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی پالایش شده است.

CMP: خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی بازده کم از کاه گندم با درجه روانی ۷۹۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی

OCC: خمیر کاغذ بازیافتی از کارتن کنگره‌ای کهنه

هدف مورد نظر مطلوب است. قلیایی باقی مانده در مایع پخت سیاه معادل ۴/۱۵ درصد وزن خشک کاه اندازه گیری شد که نشان می دهد با مصرف حدود ۶ درصد هیدروکسید سدیم می توان خمیر کاغذ مناسبی تولید کرد. این خمیر کاغذ توسط پالایشگر PFI پالایش شد و پس از ۱۰۰۰ دور درجه روانی آن از مقدار اولیه ۷۹۰ میلی لیتر استاندارد کانادایی به ۳۶۵ میلی لیتر استاندارد کانادایی کاهش یافت. دانسیته کاغذ از خمیر کاغذ پالایش شده ۴۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب و شاخص مقاومت به پاره شدن و شاخص مقاومت به کشش به ترتیب  $6/51 \text{ mN.m}^2/\text{g}$  و  $56/5 \text{ N.m/g}$  اندازه گیری شد.

از این خمیر کاغذ به دو شکل پالایش شده و پالایش نشده در ترکیب با خمیر کاغذ از کارتن کنگره ای کهنه (OCC) برای ارزیابی کاربرد آن به عنوان جایگزین بخشی از خمیر کاغذ OCC استفاده شده است. نتایج نشان داد که خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از کاه گندم، که تا درجه روانی ۳۶۵ میلی لیتر استاندارد کانادایی پالایش شده، به سبب الیاف نرم تر و نازک تر و نیز قدرت تشکیل پیوند بهتر، توان تقویت کنندگی خمیر کاغذ OCC را دارد. در دهه ۹۰ چندین تحقیق در زمینه توسعه فرایندی برای تولید خمیر کاغذ کنگره ای از کاه گندم انجام گرفت [۴، ۷]. اخیراً بیت-کونیل و همکاران (۲۰۰۱) تحقیق جدیدتری در این زمینه انجام داده و با استفاده از فرایند Bi-Vis و ۶/۶ درصد NaOH توانسته اند از کاه گندم خمیر کاغذ نیمه شیمیایی تهیه کنند [۹]. ویژگی های مقاومتی این خمیر کاغذ شامل طول پاره شدن، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به پاره شدن، CMT و RCT به ترتیب  $5610 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ ،  $4/46 \text{ g/kPa.m}^2$ ،  $3/5 \text{ mN.m}^2$ ،  $218 \text{ N}$  و  $4/1 \text{ kN/m}$  اندازه گیری شده است.

تأثیر ترکیب خمیر کاغذ CMP یا RCMP با خمیر کاغذ OCC بر شاخص مقاومت به کشش کاغذ در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد معنی دار شد و میانگین ها در شش گروه مجزا قرار گرفتند (جدول ۴). تأثیر ترکیب خمیر کاغذ بر RCT کاغذ از آن ها معنی دار نبود، ولی تأثیر ترکیب خمیر کاغذها بر CMT کاغذ از آن ها در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد معنی دار شد و میانگین ها در چهار گروه جداگانه قرار گرفتند (جدول ۴). تأثیر ترکیب خمیر کاغذ بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد معنی دار بود و شاخص مقاومت به ترکیدن خمیر کاغذ RCMP به علت پرزدار بودن این خمیر کاغذ زیادتر از خمیر کاغذ CMP و OCC بود (جدول ۴). بنابراین، افزودن خمیر کاغذ RCMP پالایش شده به خمیر کاغذ OCC سبب افزایش مقاومت به ترکیدن می شود و این خمیر کاغذ می تواند نقش تقویت کننده داشته باشد. گروه بندی دانکن میانگین های شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ از ترکیب خمیر کاغذها در جدول ۴ نشان داده شده است.

### نتیجه گیری

در این بررسی ساخت خمیر کاغذ با روشی ساده و آسان، که بتوان آن را در مقیاسی کوچک اجرا کرد، ارزیابی شد. برای پخت از دمای ۹۵ درجه سانتی گراد استفاده شد که در این دما سیستم پخت تحت فشار نیست و می توان از تجهیزات ساده تری استفاده کرد. به علاوه، سعی شد از هیدروکسید سدیم کمتری استفاده کرد و با اعمال زمان پخت طولانی تر به نتیجه مطلوب دست یافت. با اعمال زمان پخت ۴۰ دقیقه، ۱۰ درصد هیدروکسید سدیم، و ۹۵ درجه سانتی گراد دمای پخت به بازده بعد از پخت ۷۲/۲ درصد رسیدیم که برای



## References

- [1]. Atchison, J. (1998). Update on global use of non-wood plant fibers and some prospects of their greater use in the United States. Proceeding of the North American Non-Wood Fiber Symposium, Tappi Press, Atlanta, GA. USA, pp. 26-39.
- [2]. Cappelletti, G., and Marzetti, A. (1991). Steam Explosion Pulping of Wheat Straw, Steam Explosion Techniques; Fundamental on Industrial Application. Focher, B., Marzetti, A. (eds). Philadelphia, PA. USA.
- [3]. Lathrop, E.C. (1971). Agricultural residue pulps comparison with typical wood pulp. Paper Trade Journal, 124 (13): 49-55.
- [4]. Raja, A., and Irmak, Y. (1993). Optimizing alkaline pulping of wheat straw to produce corrugating medium. Tappi Journal, 76 (1): 145-151.
- [5]. McKean, W.T., and Jacobs, R.S. (1997). Wheat straw as a paper fiber source: Clean Washington Center and Domtar Inc. 47p.
- [6]. Jeyasingan, J.T. (1991). Mill experience in the application of nonwood fiber for paper making. Nonwood Plant Fiber Pulping, No. 20, pp. 7-19.
- [7]. Ali, S.H., Asghar, S.M., and Shabbir, A.V. (1991). Neutral sulfite pulping of wheat straw. In Proceeding of the TAPPI Pulping Conference Tappi Press, Atlanta GA. USA, pp.51-56.
- [8]. Petit-Conil, M., Brochier, B., Labalette, F., and Combette, P. (2001). Potential of wheat straw to produce chemimechanical pulps suitable to corrugating papers manufacture. Tappi 2001 Pulping Conference. Seattle, WA. USA. 11p.
- [9]. Technical Association of Pulp and Paper Industry. (2009). Standard Test Methods. Tappi Press, Atlanta, GA. USA.

Received: 21-Apr.-2012

Accepted: 11-Mar.-2013

## Investigation on the Utilization of Chemi-Mechanical Pulp from Wheat Straw for Fluting Paper Production

- ❖ **Ahmad Jahan Latibari\***; Prof., Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
- ❖ **Ajang Tajdini**; Associate Prof., Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
- ❖ **Seyed JJavad Sepedehdam**; Assistant Prof., Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
- ❖ **Mohammad Ali Hossein**; M.Sc., Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
- ❖ **Reza Hosseinpour**; Ph.D. Candidate, Wood and Paper Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran
- ❖ **Mohammad Gaza**; M.Sc., Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

### ABSTRACT

Development of wheat straw chemi-mechanical pulping to produce pulp which can partially substitute OCC pulp and suitable for small scale implementation was investigated. Four levels (10, 12, 14 and 16% based on oven dry weight of straw) of NaOH at pulping time of 40 minutes and 95°C pulping temperature were used. After digester yield varied between 64.6 and 72.7% and the total yield after defibration was measured as 55.45% and 58.3%. Unrefined pulp freeness varied between 708 and 765 ml CSF. Pulps were refined to about 350 ml CSF in a PFI mill and then hand sheets were made for strength evaluation. The apparent density of the hand sheets varied between 437 and 488 kg/m<sup>3</sup>, tear index between 6.51 and 7.11 mN.m<sup>2</sup>/g, and tensile index between 29.2 and 30.8 N.m/g. Statistically significant difference at 99% level was not observed between the strength values of the pulps. Wheat straw pulp produced applying 10% NaOH, 40 minutes pulping time at 95°C was used as the substitute pulp for Old Corrugated Container pulp. The characteristics of the pulp refined to 365 ml CSF was superior to OCC pulp which indicates that it can be used as reinforcing pulp for OCC.

**Keywords:** chemi-mechanical pulp, fluting paper, wheat straw, yield, strength properties.

\* Corresponding author: Phone: +989121028126  
E-mail: latibari.aj@gmail.com

Received: 6-Jan.-2012

Accepted: 6-Aug.-2012

## Effects of Pre-Extraction of Hemicelluloses on the Pulping and Papermaking Properties of Bagasse

- ❖ **Ali Abyaz\***; M.Sc., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R.Iran
- ❖ **Yahya Hamzeh**; Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R.Iran
- ❖ **Ali Abdolkahni**; Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R.Iran
- ❖ **Sahab Hedjazi**; Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R.Iran

### ABSTRACT

Biomass pretreatment plays a crucial role in a lignocelluloses feedstock-based biorefinery for processing of three major output streams (cellulose, hemicelluloses and lignin) into chemicals and biofuels. Biomass pretreatment includes processing of lignocellulosic material under aqueous, dilute acid or alkaline media to obtain a cellulosic fraction, which in then produce added-value products. In this study, the effect of pre-extraction on alkaline pulping (soda) and papermaking properties of Bagasse was investigated. Samples of sugar cane bagasse were hydrolysed by auto hydrolysis with hot-water. Results showed that pre-extraction optimum conditions were 30 min, 135OC and 10 min 170OC, resulted in extraction yield and holocellulose removal of 86% and 11%, respectively. Also, the pulping optimum conditions were alkali charge 17%, 165 OC for 1h. The results indicated that for unbleachable pulp production the pulping yield from the extracted bagasse is higher than the unextracted bagasse but the bleached pulp from unextracted bagasse have higher yield compared to the extracted bagasse. Pulp strength properties such as the tensile index and the burst index were found to be lower when pre-extraction was applied.

**Keywords:** bagasse, biorefinery, hemicelluloses, pre-extraction, soda pulping.

\* Corresponding author: Phone: +989199149500

E-mail: engineerabyaz@yahoo.com

Received: 7-Jan.-2012

Accepted: 19-Jan.-2013

## Effects of Nanoclay and Microcrystalline Cellulose on Wood Plastics Composites Properties

- ❖ **Amir Nourbakhsh\***; Associate Professor Department of Wood and Paper Science, Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR), Tehran, Iran
- ❖ **Mehdi Yazdi**; Alireza Ashori, Associate Professor Department of Chemical Industries, Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST)

### ABSTRACT

The main objective of this work was to study the effects of nanoclay (NC), microcrystalline cellulose (MCC), and coupling agent (MAPP) on the mechanical and thermal properties. The results showed that mechanical properties of the composites made with MCC were significantly superior to those of unfilled. Addition of MAPP could enhance the mechanical and thermal properties of the blends, due to the improvement of interface bond between the filler and matrix. The significant improvements in tensile properties of the blends composites made with MAPP and NC were further supported by SEM micrographs. The thermo gravimetric analysis indicated that the addition of 5 wt.% MAPP and 3 wt.% NC remarkably increased the thermal stability of the blends compared to the pure PP. It is to be noted that MCC could not improve the thermal stability.

**Keywords:** composite, mechanical properties, microcrystalline cellulose, nanoclay, thermal properties.

\* Corresponding author: Phone: +989126766416  
E-mail: [nour@rifr-ac.ir](mailto:nour@rifr-ac.ir)

Received: 3-Sep.-2011

Accepted: 7-Mar.-2013

## The Effect of Adhesive Types and Dovetail Fitting Height on Stress Carrying Capacity of Miter Frame Corner Joints Constructed of Particleboard and Medium Density Fiberboard (MDF)

- ◆ **Sadegh Maleki\***; PhD student, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, I.R. Iran
- ◆ **Mosayeb Dalvand**; PhD student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
- ◆ **Akbar Rostampour Haftkhani**; PhD student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
- ◆ **Mehdi Faezipour**; Professor, Faculty of Agricultural, University of Tehran, I. R. Iran

### ABSTRACT

This study was conducted to evaluate stress carrying capacity of miter corner joints fabricated with dovetail fitting in frames made with particleboard and medium density fiber board (MDF) under diagonal tension loading. In this study, tests were carried out to determine the effects of dovetail fitting height (9 and 14 mm), and adhesive types (polyvinyl acetate (PVAs), cyanoacrylate (CA) on stress carrying capacity of dovetail joints under diagonal tension loading, and the joints without adhesive were compared. The results indicate that stress carrying capacity has increased, with the increase of high dovetail. The stress carrying capacity of joints constructed with CA adhesive was higher than that of those constructed with PVAs and without adhesive. Furthermore, the stress carrying capacity joints constructed with MDF was higher than that of those of particleboard. The lowest ultimate stress carrying capacities (2.61Mpa) were obtained at 9 mm high dovetail of dovetail joints made of particleboard and without adhesive. Highest bending moment resistance (8.61Mpa) was observed at 14 mm high dovetail with CA adhesive in medium density fiberboard.

**Keywords:** dovetail fitting, MDF, particleboard, stress carrying capacity.

\* Corresponding author: Phone: +989168556676

E-mail: S.Maleki@ut.ac.ir

Received: 21-May-2011

Accepted: 24-Oct-2011

## The Effects of Nano-SiO<sub>2</sub> and Type of Lignocellulosic Materials on Physical and Mechanical Properties of Wood-Cement Boards

- ❖ **F. mohammadkazemi\***; PhD student, Faculty of natural resources, university of Tehran, Karaj, I. R. Iran
- ❖ **K. doosthoseini**; Professor, Faculty of natural resources, university of Tehran, Karaj, I. R. Iran
- ❖ **A.A enayati**; Professor, Faculty of natural resources, university of Tehran, Karaj, I. R. Iran
- ❖ **M. azadfallah**; Assistant Professor, Faculty of natural resources, university of Tehran, Karaj, I. R. Iran

### ABSTRACT

In this study, the effect of nano-SiO<sub>2</sub> in four levels of 0, 1, 2, and 3 percent (weight of cement) and the type of lignocellulosic materials on physical and mechanical properties of wood-cement boards manufactured by old corrugated container (OCC) and rice husk have been investigated. Totally 8 treatments were taken that each one had three repetitions. Samples were provided according to DIN EN 634 and physical and mechanical properties, including modulus of rupture, modulus of elasticity, shear strength parallel to surface, hardness, water absorption and thickness swelling after 2 & 24 hours immersion in water, have been measured. The Results indicated that in case of using nano-SiO<sub>2</sub>, OCC-cement boards incorporating 1 percent and rice husk-cement boards incorporating 2 percent nano-SiO<sub>2</sub> had the highest bending strength and modulus of elasticity. Shear strength parallel to surface and hardness were further in boards incorporating 2 percent nano-SiO<sub>2</sub>. Also, using rice husk in board manufacturing has decreased the water absorption compared to OCC.

**Keywords:** cement, nano-SiO<sub>2</sub>, OCC, physical and mechanical properties, rice husk.

\* Corresponding author: Phone: +982144580282

E-mail: f\_mkazemi@yahoo.com



Received: 15-Jun.-2011  
Accepted: 15-Aug.-2012

## Performance Comparison Artificial Neural Networks with Regression Analysis in Trees Trunk Volume Estimation

- ◆ **Hadi Bayati**; M.Sc Student, Faculty of Natural Resources, University of Tarbiat Modares, I. R. Iran
- ◆ **Akbar Najafi\***; Corresponding author, Assistant Prof, Faculty of Natural Resources, University of Tarbiat Modares, I. R. Iran

### ABSTRACT

Nowadays, regression analysis is a common method to estimate trees stem volume. Although trees trunk volume can be estimated with a certain accuracy, however there are many constraints such as normality of variables and homogeneity of errors variance, when foresters use this method. In this study, Artificial Neural Networks (ANN) as a subset of the technology of Artificial Intelligence (AI), was used as a new method to estimate the volume trunk. For this purpose, 101 trees were selected. Marked trees were located in Research and Educational Forest of Tarbiat Modarres University (REFTMU). DBH, diameter at stump height, end diameter trunk, trunk height and total tree height were measured with high accuracy during tree marking. Two neural network models, multi-layer perceptron (MLP) and radial basis function (RBF), were developed to estimate trunk volume. The results showed that with increasing the number of variables, that have more correlation with trunk volume, correlation coefficient of neural networks increased from 0.80 to .95. Also the RBF neural network was more accurate in trunk volume estimation than to MLP neural network. Comparing evaluation criteria for ANN with stepwise regression showed that MLP and RBF neural networks had RMSE value 1.18 and 1.05, respectively while the RMSE value of regression was 2.57. Also the regression correlation coefficient is less in compared with two models neural network.

**Keywords:** artificial intelligence, forest harvesting, forest management, multi-layer perceptron, radial basis function, regression, trees trunk volume.

\* Corresponding author: Phone: +989112144421  
E-mail: a.najafi@modares.ac.ir

Received: 31-Dec.-2009  
Accepted: 23-June.-2013

## Drumstick Plant Population Responses to Culture Media in Callus Induction and Regeneration

- ❖ **Fereshteh Asadicorom\***; Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran-Karaj highway
- ❖ **Hosein Mirzaie-Nodoushan**; Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, I.R.Iran
- ❖ **Mitra Emam**; Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, I.R.Iran
- ❖ **Gholam Reza Bakhshi-Khaniki**; Prof., Payam Noor University, Tehran, I.R.Iran

### ABSTRACT

Drumstick (*Moringa peregrina* (Forssk.) Fiori) is one of the valuable tropical forest tree species. It is endangered since long time ago, due to its particular characteristics, extensive seed harvesting and weak regeneration. This research was conducted in order to investigate the effects of several culturing media on micropropagation of three plant populations of the species and their interaction effects. Immature seeds collected from Chanf, Benet and Kenshki located in Sistan and Baluchestan province, Iran, were used to perform the study. Buds of germinated seeds were aseptically grown on eight combinations of two basic culture media, MS and half-MS and various concentrations of BA and 2iP hormones. Several characteristics were recorded on the produced plantlets. The plantlets rooted on two successive rooting media and planted on a mixture of pit and vermiculite. A few samples of the studied plant populations showed strong regenerative callus induction. Analysis of variance revealed significant differences between the studied populations on number of branches, active bud numbers, callus volume, and length of the longest branches on the plantlets. Moreover, a significant difference at one percent of probability was observed between the studied growing media based on the majority of the studied characteristics. It seems the reduction of the concentration of macronutrients of growing medium would lead to significant increment of shoot production on the species. Regarding the different origins of the studied plant samples, the effect of different genotypes on callus induction was clearly observed.

**Keywords:** callus, drumstick, interaction, plant population, tissue culture.

\* Corresponding author: Tel: +989126653813  
E-mail: asadi@rifr-ac.ir

Received: 24-Jan.-2011

Accepted: 19-June.-2013

## Modeling of Frequency Distribution of Trees Height in Uneven-aged Stands (Case study: Gorazbon district of Khyroud forest)

- ❖ **Khosro Mohammadalizadeh\***; Post Doc Researcher, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
- ❖ **Manuchehr Namirani**; Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
- ❖ **Mahmoud Zobeiri**; Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
- ❖ **Abd-alhosein Hoorfar**; Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
- ❖ **Mohammad Reza Marvie Mohajer**; Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

### ABSTRACT

To study the frequency distribution of the data for the height of trees in uneven-aged stands in Gorazbon forest and its modeling, some statistical distribution were used. The utilized data belong to 196 trees (*Fagus orientalis*, *Betulus carpinus*, *Quercus castaneifolia*, *Alnus subcordata*, *Acer velutinum* etc.) that were extracted from the data related to the forest management plan of Gorazbon district located at Khyroud forest. The range of the trees' height measured was between 5 and 51 meters which is an indication of height variable in the northern forests. After initial calculations, four distributions Weibull, Gamma, Normal and Lognormal for frequency distribution modeling of height variable were selected and related pertinent calculation were done. The results of Anderson-Darling test and P-P plot showed that lognormal distribution is not an appropriate model for frequency distribution modeling of trees' height. Among the other three distributions, Weibull, Gamma and Normal are respectively more suitable.

**Keywords:** gamma distribution, height of trees, modeling of frequency distribution, uneven-aged stands, Weibull distribution.

\* Corresponding author: Phone: +989123861873

E-mail: khmalizadeh@ut.ac.ir

Received: 1-Nov.-2010

Accepted: 2-May.-2011

## Co-effects of Fusarium Root Rot and Water Stress on Some of the Morphophysiological Features of Christ Thorn's Seedlings

- ❖ **Ehsan Abdi\***; Assistant Professor, Department of Forestry, University of Tehran. Karaj, I.R. Iran
- ❖ **Mostafa Moghadamirad**; M.S of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
- ❖ **Saeed Rahbari Sisakht**; M.S of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
- ❖ **Baris Majnounian**; Professor, Department of Forestry, University of Tehran. Karaj, I.R. Iran
- ❖ **Fatemeh Mousavi**; M.S of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

### ABSTRACT

Forest roads are known as the most important factor of sediment production in forest ecosystems. Because of the importance of this issue, several models developed based on empirical relationships to estimate sediment yield. In this study, the amount of annual sediment yield derived from a forest road network was estimated as tons per year using CULSED model in ArcGIS. Base spatial layers such as: topography, stream, roads, and culverts were used in this model. Additional data such as the bed rock, vegetation, average precipitation, road age, the amount of traffic, road surface and road gradient were used in the model. First, digital databases were developed and the model was run. Then places with high rates of sediment yield were specified and some culverts were designed in appropriate places to decrease the amount of sediment production. The results showed that the amount of sediment with regards to existing 38 culverts was 13.2 tons per year. Adding 16 proposed culverts in the areas with high sediment production resulted in 36% decrease in sediment yield. So, given the importance of reducing sedimentation from roads in the forest, this tool can be used before road construction to find optimal number and location of culverts by engineers. However, due to lack of available data and a native model, some uncertainty will be encountered that should be considered.

**Keywords:** culvert, CULSED, forest road network, sediment, stream.

\* Corresponding author: Phone: +982632249312  
E-mail: Abdie@ut.ac.ir

Received: 13-Aug.-2011

Accepted: 11-Sep.-2012

## Effects of Giberlic Acid, Sulfuric Acid and Potassium Nitrate on Seed Germination of Three Native Species of Hawthorn of Iran

- ❖ **Saeideh Sadat Mirzadeh Vaghefi\***; M.SC Research Institute of Forest and Rangelands
- ❖ **Adel Jalili**; Faculty Research Institute of Forest and Rangelands
- ❖ **Ziba Jamzad**; Faculty Research Institute of Forest and Rangelands

### ABSTRACT

In this study seed germination problem of this genus regarding different various methods were tested. Pretreatments were conducted using giberlic acid, KNO<sub>3</sub> & Sulfuric acid. Three endemic species including *Crataegus babakhanloui*, *C. aminii*, and *C. persica* were studied. To evaluate the germination responses, experiment were carried out as a completely randomized design with three replications that each replication contains 30 seeds. Results indicated that the most effective treatment for *C. aminii* is KNO<sub>3</sub> 1% with 38.66% seed germination. Sulfuric acid treatments (98%, <15) and Sulfuric acid 50% for <15 and <30 minutes had no germination. In *C. babakhanloui*, kno<sub>3</sub> 1% treatment with 44% germination and Sulfuric acid treatments (98%, <15) with 9.33% germination has the highest and the lowest success respectively in compare the other treatments. In *C. persica* KNO<sub>3</sub> 0.5 % treatment with 49.33% seed germination has the highest germination rate, in contrary there was no germination in Sulfuric acid treatments (98%, <30). Despite of better performance of potassium nitrate treatment, it does not seem a practical method for germination. In this case for mass germination stimulus, sulfuric acid treatments look more practical.

**Keywords:** *crataegus aminii*, *crataegus babakhanloui*, *crataegus persica*, giberlicacid, KNO<sub>3</sub>, sulfuric acid treatment.

\* Corresponding author: Phone: +982144580281  
mail: saeedehsmv@yahoo.com

# JOURNAL OF FOREST AND WOOD PRODUCTS

## (IRANIAN JOURNAL OF NATURAL RESOURCES)

VOLUME 66 NO.2, SUMMER 2013

### Contents

- 1** Effects of Gibberlic Acid, Sulfuric Acid and Potassium Nitrate on Seed Germination of Three Native Species of Hawthorn of Iran  
Saeideh Sadat Mirzadeh Vaghefi; Adel Jalili; Ziba Jamzad
- 2** Optimizing Forest Road Cross Drainage Using CULSED (Case study: Namkhane District, Kheyroud Forest)  
Ehsan Abdi; Mostafa Moghadamirad; Saeed Rahbari Sisakht; Baris Majnounian; Fatemeh Mousavi
- 3** Modeling of Frequency Distribution of Trees Height in Uneven-aged Stands (Case study: Gorazbon district of Kheyroud forest)  
Khosro Mohammadalizadeh; Manuchehr Namiranian; Mahmoud Zobeiri; Abdalhossein Hoorfar; and Mohammad Reza Marvie Mohajer
- 4** Drumstick Plant Population Responses to Culture Media in Callus Induction and Regeneration  
Fereshteh Asadiorom; Hosein Mirzaie-Nodoushan; Mitra Emam; Gholam Reza Bakhshi-Khaniki
- 5** Performance Comparison Artificial Neural Networks with Regression Analysis in Trees Trunk Volume Estimation  
Hadi Bayati; Akbar Najafi
- 6** The Effects of Nano-SiO<sub>2</sub> and Type of Lignocellulosic Materials on Physical and Mechanical Properties of Wood-Cement Boards  
Mohammadkazemi; Kdoosthoseini; Ali Akbar enayati; Mohamad azadfallah
- 7** The Effect of Adhesive Types and Dovetail Fitting Height on Stress Carrying Capacity of Miter Frame Corner Joints Constructed of Particleboard and Medium Density Fiberboard (MDF)  
Sadegh Maleki; Mosayeb Dalvand; Akbar Rostampour Haftkhani; Mehdi Faezipour
- 8** Effects of Nanoclay and Microcrystalline Cellulose on Wood Plastics Composites Properties  
Amir Nourbakhsh; Alireza Ashori
- 9** Effects of Pre-Extraction of Hemicelluloses on the Pulping and Papermaking Properties of Bagasse  
Ali Abyaz; Yahya Hamzeh; Ali Abdolkahni; Sahab Hedjazi
- 10** Investigation on the Utilization of Chemi-Mechanical Pulp from Wheat Straw for Fluting Paper Production  
Ahmad Jahan Latibari; Ajang Tajdini; Seyed Javad Sepedehdam; Mohammad Ali Hossein; Reza Hosseinpour; Mohammad Gaza