



## مطالعه استفاده از پسماندهای زراعی در صنعت کاغذسازی

فاطمه سلکی چشمه سلطانی<sup>۱\*</sup>، علی جعفری<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم-گرایش طراحی و ساخت، دانشگاه تهران (کرج)؛ solki.fatemeh.che@ut.ac.ir

۲. استاد مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران؛ jafarya@ut.ac.ir

### چکیده

صنعت کاغذسازی با توجه به فناوری‌ها و تکنولوژی‌های به کار رفته از گذشته تاکنون دچار تغییراتی شده است. استفاده از وسیله‌های مختلف برای ثبت وقایع توسط انسان‌ها از گذشته متداول بوده و از لوح‌های سنگی، کتیبه‌ها و پوست حیوانات استفاده می‌کردند. تولید کاغذ نخستین بار در ۱۰۵ سال قبل از میلاد مسیح انجام شد. سالانه هزاران تن ضایعات از گیاهان زراعی و باغی تولید می‌شود که به دلیل عدم مدیریت آن‌ها، برخی سوزانده و برخی مورد استفاده دام‌ها قرار می‌گیرند. با توجه به مشکلات زیست‌محیطی و جلوگیری از قطع درختان، از ضایعات بخش‌های مذکور می‌توان برای تولید خمیر کاغذ استفاده کرد. در پژوهش حاضر انواع کاغذهای تولید شده از الیاف غیرچوبی مورد بررسی قرار گرفتند و بر اساس آن‌ها، کاغذهای حاصل از این مواد دارای ویژگی‌های مقاومتی قابل قبولی می‌باشند. بدین ترتیب استفاده از الیاف غیرچوبی می‌تواند جایگزین تولید خمیر کاغذ مورد استحصال از چوب درختان گردد.

**کلمات کلیدی:** پسماند زراعی، الیاف غیرچوبی، خمیر کاغذ

نویسنده مسئول: solki.fatemeh.che@ut.ac.ir

## مطالعه استفاده از پسماندهای زراعی در صنعت کاغذسازی

### مقدمه

با توجه به افزایش نیاز جامعه بشری به تأمین کاغذ مورد نیاز خود، صنعت کاغذسازی مورد تحول سریع در زمینه گسترش فناوریها و تکنولوژیهای به کاررفته قرار گرفته و ساخت کاغذ از گذشته تا به امروز دچار تحول شده است [۱]. کاغذ از مواد لیگنوسلولزی و ترکیبات آلی از جمله پرکنندههای معدنی که یک افزودنی عاملی است، تشکیل می‌شود [۷].

انسان از گذشته‌های دور از مواردی مانند دیوارهای سنگی، لوح‌های سنگی، کتیبه‌هایی از جنس پاپیروس، برگ درختان و پوست حیوانات برای ثبت و ضبط وقایع استفاده می‌کرد [۱۰]. ساخت کاغذ از سال‌ها قبل در دنیا رواج داشته است. چین در حدود ۱۰۵ سال قبل از میلاد مسیح نخستین تولیدکننده کاغذ از الیاف گیاهی بوده است و تولید خمیر کاغذ و کاغذ از چوب در قرن نوزدهم گسترش یافت [۳]. امروزه نیز استفاده از چوب برای تولید کاغذ رواج دارد ولی بشر همواره به دنبال جایگزین‌های مناسب مواد اولیه لازم برای تولید کاغذ می‌باشد.

با توجه به محدودیت چوب برای استفاده در صنعت کاغذسازی و مشکلات زیست‌محیطی ایجادشده در پی استفاده بی‌رویه از جنگل‌ها، مواد اولیه لیگنوسلولزی از جمله پسماندهای کشاورزی جایگزین‌های مناسبی برای استفاده در صنعت کاغذسازی می‌باشند [۶]. به‌طور کلی منابع مختلفی که برای تولید کاغذ استفاده می‌گردند شامل مواردی از جمله درختان سوزنی‌برگ یا پهن‌برگ (کاج و چنار)، ساقه گیاهان (کتان، شاهدانه، پنبه، گندم، جو، نی، کنف)، باگاس نیشکر و کاغذهای باطله می‌شود [۲].

با توجه به محدودیت در تولید کاغذ از چوب درختان تکنولوژی ساخت کاغذ به سمت تولید کاغذ از الیاف گیاهی، پسماندهای زراعی و کشاورزی و سنگ‌آهک پیش می‌رود. پژوهش‌های مختلفی در زمینه تولید کاغذ از نی، باگاس نیشکر و مواردی از این قبیل صورت گرفته است. در پژوهشی صورت گرفته تولید خمیر کاغذ فلوتینگ از باگاس نیشکر از دیدگاه اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته است [۴]. در پژوهشی دیگر مهم‌ترین پسماندهای کشاورزی که قابل استفاده در صنعت کاغذسازی می‌باشد، معرفی شده‌اند [۳]. همچنین در پژوهشی انجام شده پتانسیل منابع لیگنوسلولزی برای استفاده در صنایع کاغذ، تخته خرده چوب و MDF بررسی گشت [۶]. خمیر کاغذ تولیدشده از نی در پژوهشی مورد بررسی قرار گرفت [۸]. در پژوهشی انجام شده خمیر کاغذ از کاه گندم تولید شد و خواص مکانیکی و نور کاغذ مورد بررسی قرار گرفت [۵].

با توجه به وجود حجم زیادی از ضایعات کشاورزی و الیاف غیرچوبی در کشور و همچنین مواجهه با مشکل کمبود کاغذ در مقاله حاضر تلاش شده است تا کاغذهای ساخته شده با انواع مواد غیرچوبی را مورد کنکاش قرار داد و کیفیت آن‌ها را در یک مطالعه تطبیقی بررسی نمود.

### مواد و روش‌ها

سالانه میلیون‌ها تن محصولات زراعی یک‌ساله در کشور کشت می‌شوند که مقدار قابل توجهی به پسماند تبدیل می‌شود که در اکثر زمین‌های زراعی این پسماندها سوزانده شده یا برای خوراک دام‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مواد یک



منبع لیگنوسلولزی برای جبران کمبود مواد چوبی می‌باشند. در مطالعه‌ای انجام شده توسط پیمان پورمحمدی پسماندهای زراعی مناسب در زمینه تولید خمیر کاغذ در صنعت کاغذسازی بررسی و معرفی گردید. همچنین مزایای استفاده از الیاف غیرچوبی در صنعت کاغذسازی نیز بیان شد [۳].

در مطالعه‌ای انجام شده در سال ۱۳۹۶ توسط فاطمه رمضانپان ثانی و علی اکبر عنایتی پتانسیل منابع لیگنوسلولزی برای توسعه صنایع کاغذسازی، تخته خرده چوب و MDF در استان چهارمحال و بختیاری بررسی شد. در این پژوهش سطح زیر کشت محصولات باغی و زراعی سال ۱۳۹۶ بر اساس آمارنامه‌های جهاد کشاورزی استخراج شد و مقدار ماده لیگنوسلولزی قابل استحصال از هر یک از بخش‌ها ارائه گردید [۶].

در مطالعه‌ای انجام شده توسط سعید مهدوی و همکاران در سال ۱۳۸۵ خمیر کاغذ از نی که یک گیاه غیرچوبی می‌باشد تولید نمودند. بدین منظور از سه ناحیه دسته‌های نی با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری از سطح آب به صورت تصادفی انتخاب کردند و آن‌ها را به آزمایشگاه بخش تحقیقات علوم چوب و کاغذ منتقل نمودند [۸].

به منظور تهیه خمیر کاغذ از گیاه نی، ابتدا ساقه‌های نی بریده شده را با دستگاه خردکن به قطعات کوچک تری با ابعاد ۲ الی ۲/۵ سانتی‌متر خرد کردند. سپس برای تهیه خمیر از سه فرآیند متداول سودا، سولفیت سدیم خنثی و کرافت برای مقایسه استفاده شد. طبق سه استاندارد مقاومت کاغذهای تولید شده با خمیر کاغذ استحصال شده از گیاه غیرچوبی نی محاسبه شد. سه استاندارد مذکور عبارت‌اند از: (۱) اندازه‌گیری مقاومت کششی و طول پاره شدن کاغذ: T404-cm-92؛ (۲) اندازه‌گیری مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ: T414-om-98 و (۳) اندازه‌گیری مقاومت در برابر ترکیدن کاغذ: T403-om-97 [۸].

در پژوهشی دیگر خمیر کاغذ تولید شده از باگاس نیشکر توسط آیسودا میرزایی و حسن ذکی دیزجی مورد بررسی قرار گرفت [۹].

در مطالعه‌ای انجام شده توسط سید مجید ذبیح زاده و همکاران خمیر کاغذ از کاه گندم تهیه شد. کاه گندم لازم برای تهیه خمیر کاغذ، از مزارع شهرستان نور استان مازندران فراهم شد. نمونه‌های موردنظر در هوای آزاد خشک شدند و سپس در ابعاد ۲ الی ۳ سانتی‌متر به صورت دستی بریده شدند. پالایش کاغذ به شرح زیر انجام شد:

(۱) درجه روانی خمیر کاغذ T 277 om-99؛ (۲) مقاومت در برابر کشش T 404 cm-92؛ (۳) پالایش خمیر کاغذ T 248

(۴) مقاومت در برابر ترکیدن T 403 om-97؛ (۵) مقاومت در برابر پاره شدن T 414 om-98 و (۶) درجه روشنی T sp-00 452 om-98 [۵].

## نتایج و بحث

پورمحمدی در مقاله خود مقدار پسماند قابل دسترس گندم، جو، برنج، ذرت دانه‌ای، نیشکر و پنبه را بیان کرد که نتیجه آن در جدول ۱ ارائه شده است [۳].



جدول ۱. مقدار پسماندهای قابل دسترس از عمده محصولات زراعی کشور [۳]

نوع محصول زراعی	نوع پسماند	سطح زیر کشت (هکتار)	میزان محصول (هزار تن)	شاخص برداشت (درصد)	میزان قابل دسترس پسماند (هزار تن)
گندم	ساقه و کاه	۷۲۲۲۳۱۱	۱۵۸۸۶	۴۲	۱۷۹۰۰
جو	ساقه و کاه	۱۶۴۱۸۲۹	۳۱۰۴	۴۲	۳۴۹۷
شلتوک برنج	ساقه و کاه	۶۳۰۵۶۱	۲۶۱۲۰	۵۰	۲۲۲۰
ذرت دانه‌ای	ساقه	۳۰۷۰۱۵	۲۳۶۱	۲۹	۵۷۸
نیشکر	باگاس	۷۱۱۷۸	۵۳۱۵	۱۴	۶۳۲
پنبه	ساقه	۷۲۲۲۳۱۱	۳۱۳	۳	۶۲۰
مجموع	-	۹۹۸۷۴۱۸	۵۳۰۹۹	-	۲۵۴۴۷

فاطمه رضانیان ثانی و علی اکبر عنایتی در پژوهش خود مقدار مواد لیگنوسلولزی قابل استحصال از محصولات باغی و زراعی را ارائه نمودند که مقادیر آن به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ بیان شده است [۶].

جدول ۲. مقدار مواد لیگنوسلولزی قابل استحصال از برخی محصولات باغی [۶]

نام محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	میزان تولید در هکتار (تن)	مقدار ماده لیگنوسلولزی قابل برداشت (تن)
سیب	۴۹۰۲	۱/۳	۶۳۷۲/۶
گلابی	۳۲۸	۱/۳	۶۲۳/۲
گیلاس	۶۸۴	۱/۳	۸۸۹/۲
آلو	۳۳۹	۱/۶	۵۴۲/۴
هلو	۳۵۵۶	۱/۶	۵۶۸۹/۶
زردآلو	۷۷۰	۱/۶	۱۲۳۲
انگور	۵۳۹۰	۲/۵	۱۳۴۷۵
بادام	۱۶۰۷۴	۱/۸	۲۸۹۳۳/۲
گردو	۷۰۴۴	۲	۱۴۰۸۸
مجموع	۳۹۰۸۷	-	۷۱۸۴۵/۲

جدول ۳. مقدار مواد لیگنوسلولزی قابل استحصال از برخی محصولات زراعی [۶]

نام محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	میزان تولید در هکتار (تن)	مقدار ماده لیگنوسلولزی قابل برداشت (تن)
گندم	۶۰۵۹۵	۲/۵	۱۵۱۴۸۷/۵
جو	۲۲۹۶۱	۱/۵	۳۴۴۴۱/۵
شلتوک	۲۸۱۰	۲	۵۶۲۰



کلزا	۱۰۷۹	۲/۵	۲۶۹۷/۵
مجموع	۸۷۴۴۵	-	۱۹۴۲۴۹/۵

با توجه به عدم پاسخگویی منابع چوبی به نیاز کاغذ، سالانه مقدار قابل توجهی پسماند باغی و زراعی تولید می‌شود که می‌توان از ضایعات زراعی به‌عنوان منابع لیگنوسولوزی غیرچوبی و از ضایعات باغی به‌عنوان منابع لیگنوسولوزی چوبی برای تولید کاغذ استفاده کرد. با جایگزین کردن پسماندهای غیرچوبی (پسماندهای زراعی) و پسماندهای چوبی (پسماندهای باغی) برای تولید کاغذ می‌توان از قطع بی‌رویه درختان جلوگیری کرد که این امر موجب کاهش آثار زیست‌محیطی ناشی از قطع درختان می‌گردد.

سعید مهدوی و همکاران در سال ۱۳۸۵ از نی خمیر کاغذ تولید کردند و از آن برای تهیه کاغذهای دست‌ساز با سه روش سودا، کرافت و سولفیت سدیم خنثی (NSSC) محاسبه و با خمیر کاغذ روزنامه و فلوتینگ مقایسه شد. درجه روانی، طول پاره شدن، مقاومت به ترکیدن و مقاومت به پاره شدن هر پنج نوع کاغذ در جدول ۴ ارائه شده است [۸].

جدول ۴. نتایج مربوط به کاغذهای دست‌ساز و روزنامه و فلوتینگ [۸]

نوع خمیر کاغذ	درجه روانی خمیر کاغذ (m.l.csf)	طول پاره شدن (Km)	مقاومت به ترکیدن (kPa.m2/g)	مقاومت به پاره شدن (mN.m2/g)
سودا	۴۰۰	۴/۴۲	۲/۰۹	۸/۰۷
کرافت	۴۰۰	۵/۱۵	۲/۸۷	۷/۷۱
سولفیت سدیم خنثی	۳۹۰	۴/۴۹	۲/۷۱	۱۱/۸۵
روزنامه	۳۰۰	۳/۶۱	۲/۰۸	۵
فلوتینگ	۳۵۰	۳/۸	۱/۴۴	۴/۵۳

بر اساس نتایج حاصل مقاومت خمیر کاغذ تهیه‌شده از نی مشابه کاغذ تهیه‌شده از خمیر کاغذ استحصال‌شده از پهن برگان می‌باشد. با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه، زمان پخت خمیر کاغذ تهیه‌شده از نی نصف زمان خمیر تهیه‌شده از الیاف چوبی درختان سوزنی‌برگان می‌باشد. مقاومت کاغذهای تهیه‌شده از خمیر نی از مقاومت کاغذهای روزنامه و فلوتینگ کارخانه چوب و کاغذ مازندران بیشتر است [۸].

بر اساس مطالعات انجام‌شده توسط آیسودا میرزایی و حسن ذکی دیزجی، هر تن ساقه نیشکر شامل ۱۰۰ کیلوگرم شکر خام، ۳۳۰ کیلوگرم باگاس با رطوبت ۵۰ درصد و در حدود ۱۰۰ کیلوگرم سایر مواد از جمله ملاس با رطوبت ۲۰ درصد، گل صافی با رطوبت ۶۳ درصد و کیک فیلتر می‌باشد. استفاده از باگاس به‌عنوان یک منبع لیفی که در تمام طول سال در دسترس است قابل استفاده در صنایع کاغذسازی می‌باشد. لازم به ذکر است که برای تولید یک تن خمیر کاغذ ۱۰ اصله درخت به‌طور میانگین قطع می‌شود که با استفاده از باگاس برای تولید خمیر کاغذ می‌توان از قطع درختان جلوگیری می‌شود [۹].

بر اساس نتایج پژوهش انجام‌شده در تولید خمیر کاغذ از کاه گندم توسط ذبیح زاده و همکاران، کاغذ تولیدشده دارای ویژگی‌های قابل قبولی می‌باشد [۵].

تمام کاغذهای تولیدشده از الیاف‌های غیرچوبی و ضایعات باغی دارای ویژگی‌های قابل قبولی می‌باشند که می‌توان از آن‌ها در صنعت کاغذسازی برای تولید کاغذ استفاده کرد. با استفاده از پسماندهای زراعی و باغی ضمن مدیریت



پسماندهای تولیدی، می‌توان از قطع درختان جلوگیری نمود و نیاز کاغذ کشور را تأمین کرد. توصیه می‌گردد برای حفظ محیط‌زیست و جلوگیری از قطع درختان از پسماندهای زراعی که سالانه هزاران تن تولید می‌شود استفاده کرد.

### نتیجه‌گیری

سالانه مقدار زیادی پسماند زراعی و باغی تولید می‌شود که قابلیت استفاده در صنایع مختلف از جمله کاغذسازی و تولید MDF را دارا می‌باشند. کاغذهای تولیدشده از الیاف غیرچوبی دارای ویژگی‌های قابل قبولی می‌باشند که می‌توان آن‌ها را جایگزین خمیرهای کاغذ تولیدشده از چوب درختان کرد که ضمن کاهش قطع درختان و کمک به حفظ محیط‌زیست، پسماندهای تولیدشده در بخش زراعی و باغی را نیز مدیریت کرد.

### منابع

۱. آخوندزاده، م. ۱۳۹۲. ارزیابی و انتخاب تکنولوژی مناسب در بخش خمیر کاغذ با استفاده از روش AHP: مطالعه موردی کارخانه چوب و کاغذ مازندران. کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در مدیریت و مهندسی صنایع.
۲. بی‌نام. کاغذ و کاربردهای آن
۳. پورمحمدی، پ. استفاده از پسماندهای کشاورزی در صنعت کاغذسازی. ششمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار.
۴. ثمریها، ا.، حمصی، ا.ه. و کیائی، م. ۱۳۸۹. بررسی اقتصادی تولید خمیر کاغذ فلوتینگ از باگاس در استان خوزستان. فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی. ۵(۲): ۴۹-۶۰.
۵. ذبیح‌زاده، م.، اسدالله‌زاده، م.ت.، احمدی، م. و کرمانیان، ح. ۱۳۹۰. تولید خمیر کاغذ از گندم با روش سازگار با محیط‌زیست هیدروکسید پتاسیم. علوم محیطی. ۸(۴): ۱-۱۰.
۶. رمضان‌ثانی، ف. و عنایتی، ع.ا. ۱۳۹۸. بررسی پتانسیل منابع لیگنوسولوزی برای توسعه صنایع تخته‌خرده چوب، MDF و کاغذ در استان چهارمحال و بختیاری
۷. محمدزاده سقازاده، ک.، رسالتی، ح.، سرائیان، ا.ر. و افرا، ا. ۱۳۹۵. تاثیر عوامل کاتیونی کننده سوسپانسیون ساخت کربنات کلسیم رسوبی بر ویژگی‌های کاغذ. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل. ۲۳(۱).
۸. مهدوی، س.، حبیبی، م.ر.، صالحی، ک.، فامیلیان، ح. و کرمانیان، ح. ۱۳۸۵. بررسی مقایسه‌ای تولید خمیر کاغذ از نی P.australis. دو فصلنامه پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران. ۲۱(۱): ۴۳-۵۱.
۹. میرزایی، آ. و ذکی دیزجی، ح. ۱۳۹۵. تولید خمیر کاغذ و کاغذ از باگاس نیشکر. دومین همایش ملی مکانیزاسیون و فناوری‌های نوین در کشاورزی.

10. Cluad Adams, W. 2019. History of papermaking in the pacific northwest. Oregon historical quarterly. 52(1): 21-37.



## A Study on the Use of Agricultural Waste in the Paper Industry

Fatemeh Solki Cheshmeh Soltani<sup>1\*</sup>, Ali Jafari<sup>2</sup>

1. Master student in Mechanic of Bio system engineering, university of Tehran, Karaj, Iran
2. Professor in Mechanic of Biosystems Engineering, University of Tehran

### Abstract

The paper industry has undergone changes due to the technologies and technologies used in the past. The use of various means of recording human events has been common in the past and has used stone tablets, scrolls and animal skins. Paper production was first performed 105 years before Christ. Thousands of tons of waste are produced annually from crops and orchards, some of which are burned and some are used by livestock due to their lack of management. Due to the environmental problems and the prevention of tree felling, waste from the above sections can be used for pulp production. In the present study, the types of paper made from non-wood fibers were investigated and based on them, the papers produced from these materials had acceptable resistance properties. In this way, the use of non-wood fibers can replace the paper that produce from pulp of the wood.

**Keywords:** Agricultural waste, non-wood fibers, pulps

\*Corresponding author

E-mail: solki.fatemeh.che@ut.ac.ir