

رسالة محمد



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گیلان

دانشکده مهندسی چوب و کاغذ

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته  
صنایع خمیر و کاغذ

## مقایسه روش‌های شیمیایی و آنزیمی در قابلیت مرکب‌زدایی کاغذ چاپ‌شده با سیستم لیزری و جوهرافشان

پژوهش و نگارش:

طاهره نیک‌نژاد

استاد راهنما:

دکتر حسین رسالتی

استاد مشاور:

دکتر علی قاسمیان

تابستان ۱۳۹۲

## تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه‌های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت‌های علمی- پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود؛ بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

- ۱- قبل از چاپ پایان نامه خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.
- ۲- قبل از چاپ پایان نامه در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد، ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.
- ۳- انتشار نتایج پایان نامه باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب طاهره نیک‌نژاد دانشجوی رشته صنایع خمیر و کاغذ مقطع کارشناسی ارشد تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی و امضاء

تقدیم بہ

پدو و مادر ارجمندم

کہ سگوه عشق و اشارہ در آمان تجلی یافت

و

خواہر عزیزم

کہ مفہوم مہربانیت

## مشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخوران، در ستودن او بماند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزارش ندهند.  
از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تا این می کند و سلامت امانت دانی را که به دستش سپرده اند، تضمین، بر حسب وظیفه:

از پدر و مادر عزیزم، این دو معلم بزرگوارم که همواره بر کوه تاهی و در شتی من، قلم عشق کشیده و کرمیانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاور بی چشم داشت برای من بوده اند، سپاسگزارم.

از استاد با کالات و شایسته، جناب آقای دکتر حسین رسالتی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از پنج گلی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهبانی این پیمان نامه را بر عهده گرفتند، کمال مشکر را دارم.

از استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر علی قاسمیان، که با نظرات ارزشمند و عالمانه خود، زحمت مشاوره این تحقیق را بر عهده داشتند، سپاسگزارم.  
از استاد محترم جناب آقای دکتر ایاس افزانه تنها به خاطر این که داور این پیمان نامه را قبول زحمت نمودند، بلکه به خاطر درسی که از ایشان آموختم سپاسگزارم.

از همه مسئولین و کارکنان آزمایشگاه چوب و کاغذ دانشگاه کرگان به ویژه سرکار خانم مهندس حسین خانی به خاطر همه راهبانی ها و زحماتشان سپاسگزارم.  
از دوستان و بهکلاسی های عزیزم به خاطر همه کمک های بی دریغشان کمال مشکر را دارم و بهترین ها را از درگاه خداوند برایشان خواستارم.

## چکیده

در این تحقیق روش‌های شیمیایی و آنزیمی در قابلیت مرکب‌زدایی کاغذهای چاپ‌شده با سیستم لیزری و جوهرافشان مورد مقایسه قرار گرفتند. مرکب‌زدایی شیمیایی تحت شرایط ثابت در سه سطح زمانی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه، مرکب‌زدایی آنزیمی با آنزیم سلولاز در دو سطح زمانی ۱۰ و ۱۵ دقیقه و دو سطح مصرف آنزیم ۳۰۰ u و ۵۰۰ u، و مرکب‌زدایی با آنزیم لاکاز در چهار سطح زمانی ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه و دو سطح مصرف آنزیم ۲۰۰ u و ۵۰۰ u انجام شد. به علاوه، مرکب‌زدایی با آنزیم لاکاز با استفاده از ماده میانجی هیستیدین به مدت ۶۰ دقیقه و مصرف ۲۰۰ u آنزیم لاکاز و در سطوح غلظت هیستیدین ۰/۵ و ۱ درصد انجام شد. تیمارهای شیمیایی در pH قلبایی (حدود ۱۱) و تیمارهای آنزیمی در pH اسیدی (۶-۵/۵) انجام گرفت. برای حذف ذرات مرکب از روش شناورسازی استفاده شد. مقایسه ویژگی‌های نوری، فیزیکی و مکانیکی کاغذهای دست‌ساز حاصل نشان داد که مرکب‌زدایی شیمیایی از نظر ویژگی‌های فیزیکی (بالک، مقاومت به عبور هوا) نتایج بهتری را داشته است. اما از لحاظ ویژگی‌های مقاومتی و نوری تیمار آنزیمی با لاکاز در زمان ۶۰ دقیقه و غلظت ۲۰۰ u نتایج بهتری را به دنبال داشت. به علاوه، در این تحقیق اثر کهنگی کاغذ نیز بررسی شد و نتایج نشان داد که تأثیر منفی کهنگی روی ویژگی‌های نوری بیشتر از ویژگی‌های مقاومتی بوده است.

**واژه‌های کلیدی:** مرکب‌زدایی، چاپ لیزری، چاپ جوهرافشان، سلولاز، لاکاز، لاکاز- واسطه، کهنگی.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل اول: مقدمه و کلیات

۲	۱- مقدمه.....
۵	۱-۱- کلیات.....
۵	۱-۱-۱- اهمیت بازیافت در صنایع خمیر و کاغذ.....
۵	۱-۱-۲- کاغذ باطله.....
۶	۱-۱-۳- کاغذ بازیافتی.....
۶	۱-۱-۴- فرایند مرکب‌زدایی.....
۶	۱-۱-۴-۱- تعریف.....
۷	۱-۱-۴-۲- قابلیت مرکب‌زدایی.....
۷	۱-۱-۴-۱-۱- تعریف.....
۷	۱-۱-۴-۲- عوامل مؤثر بر قابلیت مرکب‌زدایی کاغذهای چاپ.....
۷	۱-۱-۴-۳- عوامل مؤثر بر فرایند مرکب‌زدایی.....
۸	۱-۱-۴-۱-۳- نوع و سن کاغذ.....
۸	۱-۱-۴-۲-۳- فرایند خمیرسازی.....
۸	۱-۱-۴-۳-۳- روش مرکب‌زدایی.....
۸	۱-۱-۴-۳-۴- شرایط فرایند مرکب‌زدایی.....
۸	۱-۱-۴-۴- روش‌های مرکب‌زدایی.....
۸	۱-۱-۴-۴-۱- روش شناورسازی.....
۱۰	۱-۱-۴-۴-۲- روش شستشو.....
۱۰	۱-۱-۴-۴-۳- روش ترکیبی.....
۱۱	۱-۱-۵- مرکب‌زدایی شیمیایی.....
۱۱	۱-۱-۵-۱- معایب مرکب‌زدایی شیمیایی.....
۱۱	۱-۱-۶- انواع چاپگرهای اداری.....
۱۲	۱-۱-۶-۱- چاپ لیزری.....
۱۲	۱-۱-۶-۲- چاپ جوهرافشان.....

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۳	۱-۱-۷- تفاوت چاپگرهای لیزری و جوهرافشان.....
۱۳	۱-۱-۸- مزایای چاپگرهای لیزری.....
۱۴	۱-۱-۹- مزایای چاپگرهای جوهرافشان.....
۱۴	۱-۱-۱۰- آنزیم‌ها.....
۱۵	۱-۱-۱۱- مزایای آنزیم‌ها.....
۱۵	۱-۱-۱۲- معایب استفاده از کاتالیزورهای زیستی.....
۱۶	۱-۱-۱۳- سلولاز.....
۱۷	۱-۱-۱۴- لاکاز.....
۱۸	۱-۱-۱۴- ساختار لاکاز.....
۱۹	۱-۱-۱۴-۲- مکانیسم کاتالیز و ویژگی‌ها.....
۲۰	۱-۱-۱۴-۳- بازدارنده‌های آنزیم.....
۲۱	۱-۱-۱۴-۴- سیستم لاکاز - واسطه.....
۲۱	۱-۲-۲- فرضیات.....
۲۲	۱-۳-۱- اهداف تحقیق.....
<b>فصل دوم: مرور منابع</b>	
۲۴	۱-۲- کاربرد فن‌آوری زیستی در فرایند مرکب‌زدایی.....
۲۵	۲-۲- مرکب‌زدایی با آنزیم لاکاز و سیستم لاکاز - واسطه.....
۲۷	۳-۲- مرکب‌زدایی با آنزیم سلولاز.....
۲۹	۴-۲- تأثیر پدیده کهنگی بر فرایند مرکب‌زدایی.....
<b>فصل سوم: مواد و روش‌ها</b>	
۳۲	۱-۳- محدوده تحقیق.....
۳۲	۱-۳-۱- عوامل ثابت.....
۳۲	۲-۳-۱- عوامل متغیر.....
۳۳	۳-۳-۱- پارامترهای مورد اندازه‌گیری.....
۳۴	۲-۳- مواد اولیه، ویژگی‌ها و آماده‌سازی آن‌ها.....



## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۲-۱- کاغذهای مصرفی.....	۳۴
۳-۲-۲- مواد شیمیایی.....	۳۴
۳-۲-۳- آنزیم‌های مصرفی.....	۳۵
۳-۲-۴- ماده میانجی (واسطه).....	۳۵
۳-۳- روش‌ها.....	۳۵
۳-۳-۱- خمیرسازی مجدد.....	۳۵
۳-۳-۲- مرکب‌زدایی شیمیایی.....	۳۵
۳-۳-۳- مرکب‌زدایی آنزیمی.....	۳۶
۳-۳-۴- سیستم لاکاز- واسطه (LMS).....	۳۶
۳-۳-۵- بررسی اثر کهنگی.....	۳۶
۳-۳-۶- شناورسازی.....	۳۶
۳-۳-۸- پرس کردن.....	۳۷
۳-۴- ارزیابی خواص فیزیکی و مکانیکی.....	۳۸
۳-۴-۱- وزن پایه کاغذ.....	۳۸
۳-۴-۲- دانسیته کاغذ.....	۳۸
۳-۴-۳- بررسی ویژگی مقاومت به عبور هوا.....	۳۸
۳-۴-۴- شاخص مقاومت در برابر ترک‌شدن.....	۳۹
۳-۴-۵- شاخص مقاومت در برابر پاره‌شدن.....	۳۹
۳-۵- ارزیابی ویژگی‌های نوری.....	۳۹
۳-۵-۱- درجه روشنی و زردی.....	۳۹
۳-۵-۲- ماتی.....	۴۰
۳-۵-۶- روش آماری.....	۴۰
فصل چهارم: نتایج و بحث	
۴-۱- نتایج تأثیر مرکب‌زدایی شیمیایی و آنزیمی بر ویژگی‌های فیزیکی کاغذهای چاپ مرکب‌زدایی شده.....	۴۲
۴-۱-۱- حجم ویژه.....	۴۲

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
.....مقاومت به عبور هوا. ۲-۱-۴	۴۴
.....تأثیر مرکب‌زدایی شیمیایی و آنزیمی بر ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای چاپ مرکب‌زدایی شده. ۲-۴	۴۶
.....شاخص مقاومت به پارگی. ۱-۲-۴	۴۶
.....شاخص مقاومت به ترک‌کندن. ۲-۲-۴	۵۱
.....تأثیر مرکب‌زدایی شیمیایی و آنزیمی بر ویژگی‌های نوری کاغذهای چاپ مرکب‌زدایی شده. ۳-۴	۵۵
.....درجه روشنی. ۱-۳-۴	۵۵
.....زردی. ۲-۳-۴	۵۸
.....ماتی. ۳-۳-۴	۶۱
.....تأثیر اثر کهنگی بر ویژگی‌های مقاومتی و نوری کاغذهای چاپ مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی. ۴-۴	
.....شاخص مقاومت به پارگی. ۱-۴-۴	۶۴
.....شاخص مقاومت به ترک‌کندن. ۲-۴-۴	۶۶
.....درجه روشنی. ۳-۴-۴	۶۷
.....زردی. ۴-۴-۴	۶۹
.....ماتی. ۵-۴-۴	۷۱
<b>فصل پنجم: نتیجه‌گیری</b>	
.....نتیجه‌گیری کلی. ۱-۵	۷۴
.....پیشنهادات. ۲-۵	۷۵
.....منابع. ۷۸	

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۹.....	جدول ۱-۱- اجزای تعاملی در فرایند شناورسازی.....
۳۳.....	جدول ۱-۳- کد تیمارها.....
۳۴.....	جدول ۲-۳- مشخصات مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایشات مرکب‌زدایی.....
۳۷.....	جدول ۳-۳- شرایط و مواد به‌کار برده شده در سلول شناورسازی.....
۴۳.....	جدول ۱-۴- آزمون تجزیه واریانس حجم ویژه کاغذهای چاپ مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
.....	جدول ۲-۴- آزمون تجزیه واریانس مقاومت به عبور هوا کاغذهای چاپ مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۴۵.....	.....
.....	جدول ۳-۴- آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۴۹.....	.....
.....	جدول ۴-۴- آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۵۰.....	.....
.....	جدول ۵-۴- آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۵۳.....	.....
.....	جدول ۶-۴- آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۵۴.....	.....
.....	جدول ۷-۴- آزمون تجزیه واریانس درجه روشنی کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۵۷.....	.....
.....	جدول ۸-۴- آزمون تجزیه واریانس درجه روشنی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۵۸.....	.....
.....	جدول ۹-۴- آزمون تجزیه واریانس زردی کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۵۹.....	.....
.....	جدول ۱۰-۴- آزمون تجزیه واریانس زردی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۶۰.....	.....
.....	جدول ۱۱-۴- آزمون تجزیه واریانس ماتی کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۶۲.....	.....
.....	جدول ۱۲-۴- آزمون تجزیه واریانس ماتی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۶۳.....	.....

## فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۴-۱۳- آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....	۶۴
جدول ۴-۱۴- آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....	۶۵
جدول ۴-۱۵- آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....	۶۶
جدول ۴-۱۶- آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....	۶۷
جدول ۴-۱۷- آزمون تجزیه واریانس درجه روشنی کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....	۶۸
جدول ۴-۱۸- آزمون تجزیه واریانس درجه روشنی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....	۶۸
جدول ۴-۱۹- آزمون تجزیه واریانس زردی کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....	۶۹
جدول ۴-۲۰- آزمون تجزیه واریانس زردی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....	۷۰
جدول ۴-۲۱- آزمون تجزیه واریانس ماتی کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....	۷۱
جدول ۴-۲۲- آزمون تجزیه واریانس ماتی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکب‌زدایی شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....	۷۱

## فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

۳.....	شکل ۱-۱- میزان مصرف جهانی الیاف بازیافتی در سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۹۰ (میلیون تن).....
۴.....	شکل ۱-۲- میزان سرمایه‌گذاری جهانی برای افزایش ظرفیت بازیافت در کارخانه‌های کاغذسازی.....
۱۶.....	شکل ۱-۳- طرح کلی مکانیسم احتمالی مرکب‌زدایی آنزیمی.....
۱۹.....	شکل ۱-۴- سایت‌های فعال لاکاز قارچی.....
۲۰.....	شکل ۱-۵- چرخه ردوکس برای اکسایش سوبسترا توسط لاکاز.....
۲۹.....	شکل ۱-۲- ذرات تونر متصل به الیاف بعد از (الف) مرکب‌زدایی شیمیایی (ب) مرکب‌زدایی آنزیمی و فیبریلایسیون در سطح الیاف بعد از (ج) مرکب‌زدایی شیمیایی، (د) مرکب‌زدایی آنزیمی.....
۴۳.....	شکل ۱-۴- حجم ویژه کاغذهای چاپ مرکب‌زدایی‌شده با مواد شیمیایی، سلولاز و لاکاز.....
۴۴.....	شکل ۲-۴- حجم ویژه کاغذهای چاپ مرکب‌زدایی‌شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۴۵.....	شکل ۳-۴- مقاومت به عبور هوا کاغذهای چاپ مرکب‌زدایی‌شده با مواد شیمیایی، سلولاز و لاکاز.....
۴۶.....	شکل ۴-۴- مقاومت به عبور هوا کاغذهای چاپ مرکب‌زدایی‌شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۴۸.....	شکل ۵-۴- شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی‌شده با مواد شیمیایی، سلولاز و لاکاز.....
۴۹.....	شکل ۶-۴- شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی‌شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۵۰.....	شکل ۷-۴- شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکب‌زدایی‌شده با مواد شیمیایی، سلولاز و لاکاز.....
۵۱.....	شکل ۸-۴- شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکب‌زدایی‌شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۵۲.....	شکل ۹-۴- شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی‌شده با مواد شیمیایی، سلولاز و لاکاز.....
۵۳.....	شکل ۱۰-۴- شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی‌شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۵۴.....	شکل ۱۱-۴- شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکب‌زدایی‌شده با مواد شیمیایی، سلولاز و لاکاز.....
۵۵.....	شکل ۱۲-۴- شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکب‌زدایی‌شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....
۵۶.....	شکل ۱۳-۴- درجه روشنی کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی‌شده با مواد شیمیایی، سلولاز و لاکاز.....
۵۷.....	شکل ۱۴-۴- درجه روشنی کاغذهای چاپ لیزری مرکب‌زدایی‌شده با روش‌های شیمیایی و آنزیمی.....

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۵۷.....	شکل ۴-۱۵- درجه روشنی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکبزدایی شده با مواد شیمیایی، سلولاز و لاکاز.....
۵۸.....	شکل ۴-۱۶- درجه روشنی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکبزدایی شده با روش های شیمیایی و آنزیمی.....
۵۹.....	شکل ۴-۱۷- زردی کاغذهای چاپ لیزری مرکبزدایی شده با مواد شیمیایی، سلولاز و لاکاز.....
۵۹.....	شکل ۴-۱۸- زردی کاغذهای چاپ لیزری مرکبزدایی شده با روش های شیمیایی و آنزیمی.....
۶۰.....	شکل ۴-۱۹- زردی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکبزدایی شده با مواد شیمیایی، سلولاز و لاکاز.....
۶۰.....	شکل ۴-۲۰- زردی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکبزدایی شده با روش های شیمیایی و آنزیمی.....
۶۲.....	شکل ۴-۲۱- ماتی کاغذهای چاپ لیزری مرکبزدایی شده با مواد شیمیایی، سلولاز و لاکاز.....
۶۲.....	شکل ۴-۲۲- ماتی کاغذهای چاپ لیزری مرکبزدایی شده با روش های شیمیایی و آنزیمی.....
۶۳.....	شکل ۴-۲۳- ماتی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکبزدایی شده با مواد شیمیایی، سلولاز و لاکاز.....
۶۳.....	شکل ۴-۲۴- ماتی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکبزدایی شده با روش های شیمیایی و آنزیمی.....
۶۵.....	شکل ۴-۲۵- اثر کهنگی بر شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای چاپ لیزری مرکبزدایی شده با روش های شیمیایی و آنزیمی.....
۶۵.....	شکل ۴-۲۶- اثر کهنگی بر شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکبزدایی شده با روش های شیمیایی و آنزیمی.....
۶۶.....	شکل ۴-۲۷- اثر کهنگی بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای چاپ لیزری مرکبزدایی شده با روش های شیمیایی و آنزیمی.....
۶۶.....	شکل ۴-۲۸- اثر کهنگی بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکبزدایی شده با روش های شیمیایی و آنزیمی.....
۶۷.....	شکل ۴-۲۹- اثر کهنگی بر درجه روشنی کاغذهای چاپ لیزری مرکبزدایی شده با روش های شیمیایی و آنزیمی.....
۶۸.....	شکل ۴-۳۰- اثر کهنگی بر درجه روشنی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکبزدایی شده با روش های شیمیایی و آنزیمی.....
۶۹.....	شکل ۴-۳۱- اثر کهنگی بر زردی کاغذهای چاپ لیزری مرکبزدایی شده با روش های شیمیایی و آنزیمی.....
۷۰.....	شکل ۴-۳۲- اثر کهنگی بر زردی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکبزدایی شده با روش های شیمیایی و آنزیمی.....
۷۱.....	شکل ۴-۳۳- اثر کهنگی بر ماتی کاغذهای چاپ لیزری مرکبزدایی شده با روش های شیمیایی و آنزیمی.....
۷۲.....	شکل ۴-۳۴- اثر کهنگی بر ماتی کاغذهای چاپ جوهرافشان مرکبزدایی شده با روش های شیمیایی و آنزیمی.....

فصل اول

مقدمه و کلیات

## مقدمه

تاریخچه استفاده از کاغذ طولانی است و اختراع آن به سال ۱۰۵ بعد از میلاد به شخصی به نام تسای لون<sup>۱</sup> از چین نسبت داده می‌شود. از آن زمان تاکنون کاغذ از مواد خام متنوعی از جمله پنبه، کتان، پوست درخت کنف، جوت<sup>۲</sup> و کاه و چوب تولید شده است. برای چند قرن مهمترین ماده خام تولید کاغذ، پارچه‌های کهنه بوده است. بنابراین تولید کاغذ از مواد خام دست دوم و مصرف‌شده از قبیل کاغذ و پارچه‌های کهنه روشی با سابقه است.

در طی جنگ جهانی اول و دوم، کاغذ یک محصول استراتژیک بود، زیرا انتقال اطلاعات لازم و ضروری شد و بهترین روش انتقال اطلاعات نیز کاغذ بود. در بسیاری از کشورها به دلیل سابقه سنتی بازیافت، با وجودی که کاغذ باطله جمع‌آوری و مجدداً استفاده شد، ولی کیفیت کاغذ تولیدشده از آن ضعیف بود. بعد از جنگ جهانی دوم، صنعت خمیر و کاغذ با هدف بهبود امر تهیه خمیر کاغذ و تأمین تقاضای رو به افزایش کاغذ گسترش یافت. کیفیت برتر محصولات به دست آمده از مواد بکر به معنای آن بود که نرخ بالای بازیافت که در طی سال‌های جنگ به دست آمده بود، شدیداً کاهش یافت. ولی در کشورهای با منابع محدود چوب، تنها راه گسترش صنایع داخلی کاغذسازی وارد کردن مواد خام بکر اصلی و بازیافت محصولات تولیدشده از آنها (بعد از اینکه مورد استفاده قرار می‌گرفتند) بود (لتیباری و همکاران، ۱۳۸۶).

در ایران جهت پاسخ‌گویی به مصرف داخلی کاغذ به‌ویژه کاغذهای روزنامه و مجله، در سال‌های اخیر علاوه بر تولید داخلی، این فرآورده‌ها عمدتاً از طریق افزایش واردات تأمین شده‌اند. به دلیل ارزبری واردات کاغذ، تلاش بر این بوده است که تا حد امکان از طریق افزایش تولید داخلی، نسبت به تأمین کمبودها اقدام شود. در این راستا اقدام به تأسیس و راه‌اندازی کارخانه‌های تولید کاغذهای چاپ و تحریر در کشور شده است که از آن جمله می‌توان به صنایع چوب و کاغذ مازندران اشاره نمود. از طرفی تأمین مواد اولیه سلولزی مناسب به‌عنوان یک مشکل عمده در صنایع چوب و کاغذ مازندران محسوب می‌شود. به دلیل محدودیت سطح جنگل‌های شمال کشور و افزایش روند تخریبی آنها طی سال‌های اخیر، تأمین تمامی مواد موردنیاز از این جنگل‌ها امکان‌پذیر نیست و لذا

---

1. Tsai lun

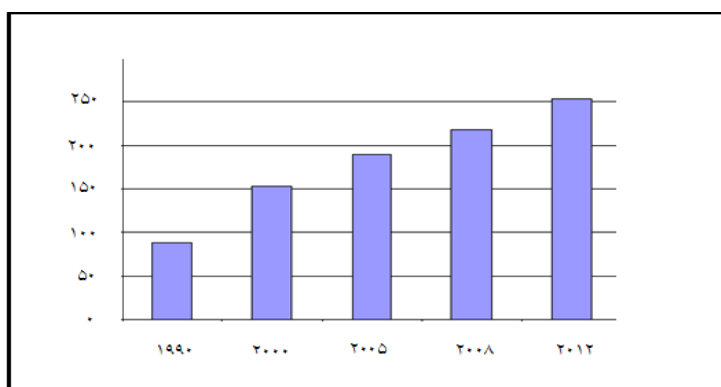
2. Jute



ضرورت دارد راه‌حل‌های مختلف جهت جبران این کمبود بررسی شود و در صورتی که از نظر فنی و اقتصادی مناسب باشند، مورد استفاده قرار گیرند (قاسمیان و خلیلی، ۱۳۹۰).

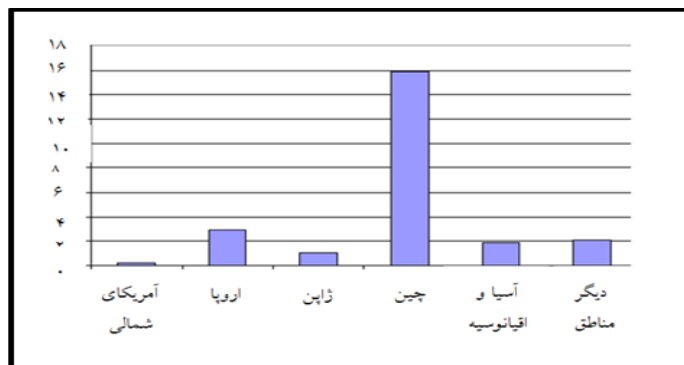
یکی از روش‌های تأمین مواد اولیه سلولزی مناسب برای صنایع کاغذسازی که طی سال‌های اخیر در سطح جهانی مورد توجه جدی قرار گرفته است، بازیافت کاغذهای باطله<sup>۱</sup> می‌باشد. بازیافت کاغذ به دلیل مصرف آب تازه و درختان کمتر و تولید آلودگی کمتر نسبت به تولید کاغذ از الیاف دست‌اول مناسب‌تر است (گاتسچینگ<sup>۲</sup>، ۱۹۹۹). این فرایند در ضمن تولید محصول موجب کاهش در استفاده از منابع طبیعی بکر به‌عنوان ماده اولیه صنعت کاغذسازی می‌شود و از طرف دیگر نیز سبب کاهش میزان مصرف مواد شیمیایی موردنیاز در تولید محصول از الیاف بازیافتی در مقایسه با مواد خام سلولزی می‌گردد. صنعت بازیافت کاغذ در سال‌های گذشته تحول بزرگی را در زمینه‌های اقتصادی و زیست محیطی تجربه کرده است (فیلات<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۲).

میزان مصرف جهانی الیاف بازیافتی و همچنین سرمایه‌گذاری جهانی برای افزایش ظرفیت بازیافت در کارخانه‌های کاغذ در شکل ۱-۱ و ۱-۲ به نمایش گذاشته شده است (ورما<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۱).



شکل ۱-۱: میزان مصرف جهانی الیاف بازیافتی در سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۲ (میلیون تن)

1. Waste paper recycling
2. Gottsching
3. Fillat
4. Verma



شکل ۲-۲: میزان سرمایه‌گذاری جهانی برای افزایش ظرفیت بازیافت در کارخانه‌های کاغذسازی

کاغذهای چاپ باطله اداری (MOW)<sup>۱</sup> و مقوای بسته‌بندی کهنه (OCC)<sup>۲</sup> از جمله مهمترین منابع الیاف بازیافتی در فرآیند کاغذسازی می‌باشند (گیو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۱) و مرکب‌زدایی<sup>۴</sup> یک مرحله مهم در بازیافت الیاف است (لی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). طی آن مرکب چاپ و سایر مواد موجود در کاغذهای باطله مثل چسب‌ها، عوامل اتصال‌دهنده، پلاستیک‌ها و غیره، که در این مرحله به‌عنوان مواد آلاینده<sup>۶</sup> تلقی می‌شوند، حذف می‌شوند (قاسمیان و خلیلی، ۱۳۹۰). حذف مرکب که عمده‌ترین مشکل بازیافت کاغذ است معمولاً از طریق شناورسازی انجام می‌شود، زیرا مصرف آب در این روش محدود است، اما اثربخشی شناورسازی به عواملی همچون ویژگی‌های مرکب و الیاف، فرآیند چاپ و ترکیبات پوشش‌دهی وابسته است. اگرچه شناورسازی در اغلب موارد برای مرکب‌زدایی کاغذهای چاپ‌شده مؤثر است، استفاده از تکنولوژی‌های جدید چاپ مانند مرکب‌های فلکسوگرافی و جوهرافشان از جمله مشکلات موجود می‌باشند (فیلات و همکاران، ۲۰۱۲).

در مجموع با توجه به مشکلات موجود در رابطه با تأمین مواد اولیه سلولزی مناسب برای صنایع چوب و کاغذ در سطح کشور، بررسی امکان استفاده از فرآیند بازیافت و مرکب‌زدایی کاغذهای باطله بسیار ضروری و مهم است. متأسفانه این فرآیند به‌صورت شایسته و مناسبی در کشور مورد توجه

1. Mixed office waste paper
2. Old corrugated container
3. Guo
4. Deinking
5. Lee
6. Contaminant

جدی قرار نگرفته است و لذا انجام اقدامات علمی و اصولی در این مورد بسیار ضروری و مناسب می‌باشد (قاسمیان و خلیلی، ۱۳۹۰).

## ۱-۱- کلیات

### ۱-۱-۱- اهمیت بازیافت در صنایع خمیر و کاغذ

محدود بودن سطح جنگل‌های دنیا و تخریب شدید آن از یک طرف و افزایش روزافزون مصرف کاغذ و محصولات کاغذی همگام با ازدیاد جمعیت و پیشرفت تکنولوژی از طرف دیگر، اهمیت بازیافت کاغذ در صنایع کاغذسازی را ضروری ساخته است. مطابق با پیش‌بینی‌های به عمل آمده تا سال ۲۰۲۰، ضریب رشد استفاده از گیاهان غیرچوبی حدود ۲٪ و ضریب رشد ۳٪ در مورد مصرف کاغذهای بازیافتی مطرح شده و این نشانگر آن است که در سال‌های آتی این صنعت باید بخش عمده مواد اولیه ساخت کاغذ را از تکنولوژی بازیافت کاغذهای باطله برآورده سازد.

در کشور ایران با توجه به میزان تولید و مصرف انواع فرآورده‌های کاغذی و افزایش شکاف موجود بین روند تولید و مصرف، لزوم توجه به امر بازیافت محصولات کاغذی روزبه‌روز اهمیت بیشتری یافته است. به‌طورکلی با اعمال روش‌های مناسب مدیریتی، بازاریابی گسترده در کارخانجات، افزایش مشوق‌ها و حمایت‌های مالی از طرف دولت و غیره، مشارکت‌های مردمی و گسترش فرهنگ بازیافت (از طریق آموزش‌های چهره به چهره، رسانه‌های گروهی و توزیع جزوه‌های آموزشی) در سطح جامعه می‌توان از این روش به خوبی و در سطح مطلوب برای پاسخ‌گویی به حل مشکل استفاده نمود و در جهت توسعه صنعت ملی در کنار حفظ برنامه‌های زیست‌محیطی پیش رفت (قاسمیان و اکبرپور، ۱۳۹۰).

### ۱-۱-۲- کاغذ باطله

مطابق با چهارچوب قانون حفظ محیط زیست کشور کانادا کاغذ باطله<sup>۱</sup> شامل موارد ذیل می‌باشد:

- ضایعات کاغذ پس از فروش، از قبیل ضایعات کاغذ و مقوای خشک تولیدشده پس از طی فرایند کاغذسازی. این ضایعات عبارتند از بریده‌های پاکت، بریده‌های صحافی، ضایعات عملیات چاپ، ضایعات تولید کارتن، کاغذهای بسته‌بندی کاغذ و مقوا.
- ضایعات کاغذ پس از مصرف، از قبیل ضایعات لیفی جمع‌آوری شده از ادارات، خانه‌ها و شهرداری. این ضایعات شامل انواع کارتن کالا، روزنامه‌های باطله، مجلات باطله و مخلوط ضایعات کاغذی مصرف‌شده می‌باشند (اکبرپور، ۱۳۸۷).

### ۱-۱-۳- کاغذ بازیافتی

تعریف کاغذ بازیافتی<sup>۱</sup> به‌گونه‌ای که دربرگیرنده انواع الیاف باشد دشوار است. از نظر NAMP (اتحادیه ملی بازرگانی کاغذ) کاغذ بازیافتی کاغذی است که دست‌کم ۵۰٪ الیاف آن صرفاً کاغذ باطله مصرف‌شده باشد. امر مسلم این است که کاغذ بازیافتی باید همان عمل کاغذ دست‌اول را انجام دهد و بازیافتی‌بودن کاغذ نباید توجیهی بر کیفیت بد آن باشد (منصور لکوریچ و موقرنژاد، ۱۳۸۳).

### ۱-۱-۴- فرآیند مرکب‌زدایی

#### ۱-۱-۴-۱- تعریف

مرکب‌زدایی<sup>۲</sup> اصطلاحی است که برای توصیف فرآیند جداسازی و حذف مرکب‌های چاپ از الیاف بازیافتی جهت بهبود خواص نوری خمیر و کاغذ با استفاده از کاغذهای چاپ‌شده باطله استفاده می‌شود (قاسمیان و خلیلی، ۱۳۹۰). هدف اصلی از مرکب‌زدایی، تهیه خمیری است که کاغذ حاصل از آن به میزان کافی سفید باشد و در آن از لکه‌های مرکب قابل تشخیص با چشم خبری نباشد (صادقی پایین کولایی، ۱۳۸۲).

---

1. Recycled paper  
2. Deinking