

رسالة محمد



دانشکده مهندسی چوب و کاغذ

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

**اثر استفاده از پلی آمید آمین اپی کلروهیدرین و گلیوکسال به همراه پلی وینیل -  
الکل به عنوان تقویت کننده در خمیر کاغذ OCC بازیافتی**

پژوهش و نگارش:  
حمیدرضا توکلی

استاد راهنما:  
دکتر علی قاسمیان

استاد مشاور:  
دکتر حسین رسالتی

زمستان ۱۳۹۳

## 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 حمیدرضا توکلی 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

حمیدرضا توکلی

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

و

استاد راهنمای بزرگوارم

## شکر و قدردانی

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب رحمت است و به شکر اندرش فرید نعمت.

بر خود واجب می دانم از زحمات پدر و مادر عزیزم که در تمام مراحل زندگی مرا با مهر و محبت خودشان یاری نموده اند نهایت شکر و قدردانی را می نمایم.  
از زحمات استاد راهنمای ارجمند جناب آقای دکتر علی قاسمیان که مراد تمامی مراحل این پایان نامه یاری نمودند صمیمانه شکر و قدردانی می کنم.  
همچنین از استاد مشاورم جناب آقای دکتر حسین رسالتی به خاطر زحمت مشاوره نهایت شکر را دارم. از آینده محترم تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر سرانیمان و اعضای محترم هیئت داوران آقایان دکتر سرانیمان و آریایی متفرد که سعی در بهبود و تدوین پایان نامه داشتند کمال شکر را دارم.  
سپاس از مسئولین محترم آزمایشگاه و کارگاه: خانم مهندس حسین خانی، آقای ملک و آقای فیروز به پاس سه صد رویش کیششان.  
از همه دوستان و هم کلاسی های عزیز به خصوص جناب آقای مهندس یدالی به خاطر مشاوره، به نظری و بهر ایشان سپاسگزارم و از خدا برای آن ها سلامتی و کاسیابی طلب می نمایم.

و در پایان از خداوند متعال برای همه کسانی که مراد مسیر انجام این پایان نامه یاری و مساعد نمودند سپروزی و برکت آرزو می نمایم.

## چکیده

این تحقیق با هدف بهبود مقاومت‌های تر و خشک کاغذهای حاصل از خمیر کاغذ OCC توسط PAE و گلايوكسال به همراه PVA و بررسی قابلیت بازیافت مجدد آن انجام شد. پالایش خمیر کاغذ OCC توسط کوبنده (Valley beater) تا درجه روانی (ml, CSF) ۳۰۰ انجام شد. کاغذ با استفاده از PAE در ۵ سطح (۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ درصد) و گلايوكسال به همراه PVA در ۵ سطح (۲، ۲/۲۵، ۲/۵، ۲/۷۵ و ۳ درصد) تیمار شد. نتایج به دست آمده نشان داد که تمامی تیمارهای مربوط به PAE به طور معنی داری باعث بهبود ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ OCC شدند. ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای تیمار شده با گلايوكسال و PVA نیز افزایش یافت اما مقاومت به پارگی کاهش یافته و جذب انرژی کششی نیز افزایش جزئی داشت. در کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوكسال به همراه PVA مقدار جذب آب به طور معنی داری کاهش یافت و مقاومت به عبور هوا افزایش معنی داری نشان نداد. با افزایش غلظت PAE مصرفی، قابلیت خمیرسازی مجدد (قابلیت بازیافت) کاغذهای تیمار شده کاهش یافت و تیمار دارای بیشترین مقاومت کششی، کمترین قابلیت خمیرسازی مجدد را نشان داد. کاغذهای تیمار شده با گلايوكسال به همراه PVA نسبت به کاغذهای تیمار شده با PAE از قابلیت خمیرسازی مجدد بیشتری برخوردار بوده و افزایش غلظت آن تاثیر جزئی در قابلیت خمیرسازی مجدد تیمارهای بهینه به لحاظ ویژگی‌های مقاومتی (بر اساس معادلات نرمال سازی) و قابلیت بازیافت مجدد انتخاب شدند. کاغذهای تیمار شده با PAE ویژگی‌های مقاومتی بیشتری نسبت به کاغذهای تیمار شده با گلايوكسال به همراه PVA داشتند. در بین تمامی تیمارها، به ترتیب مقادیر مصرف ۱۰ و ۸ درصد PAE و ۲/۵ درصد گلايوكسال به همراه PVA حداکثر ویژگی‌های مقاومتی را به خود اختصاص دادند. اما با در نظر گرفتن قابلیت بازیافت مجدد، تیمار ۲/۵ درصد گلايوكسال به همراه PVA به عنوان بهترین تیمار انتخاب شد.

واژگان کلیدی: OCC، قابلیت بازیافت مجدد، PAE، گلايوكسال، PVA، مقاومت تر، مقاومت خشک.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه و کلیات
۲	۱- مقدمه
۴	۱-۱- کلیات
۴	۱-۱-۲- انواع کاغذ
۵	۱-۱-۳- مقوا و انواع آن
۶	۱-۱-۳-۱- مقوای کنگره‌ای
۷	۱-۱-۳-۲- مقوای روکش
۹	۱-۱-۴- بازیافت کاغذ
۱۱	۱-۱-۴-۱- جایگاه فرآیند بازیافت کاغذ و مقوا در دنیا و ایران
۱۳	۱-۱-۴-۲- اثر بازیافت بر ویژگی‌های کاغذ
۱۴	۱-۱-۵- روش‌های افزایش ویژگی‌های مقاومتی الیاف بازیافتی
۱۵	۱-۱-۶- پیوندها و نقش آنها در استحکام کاغذ
۱۷	۱-۱-۷- پالایش
۱۹	۱-۱-۷-۱- تأثیرات پالایش بر ویژگی‌های کاغذ
۲۰	۱-۱-۸- تعریف مقاومت تر
۲۰	۱-۱-۹- چرا مقاومت تر نیاز است
۲۱	۱-۱-۱۰- کاغذ مقاوم در شرایط تر
۲۱	۱-۱-۱۱- رابطه بین مقاومت تر و خشک
۲۲	۱-۱-۱۲- مکانیسم‌های ایجاد مقاومت تر
۲۳	۱-۱-۱۳- معرفی رزین‌های مقاومت تر در شرایط pH اسیدی کاغذسازی
۲۴	۱-۱-۱۳-۱- رزین اوره فرمالدهید
۲۵	۱-۱-۱۳-۲- رزین ملامین فرمالدهید
۲۵	۱-۱-۱۴- مقاومت تر کاغذ در شرایط pH خنثی کاغذسازی

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱-۱۴-۱-۱- رزین مقاومت تر PAE .....	۲۶
۱-۱-۱۴-۱-۱- شیمی پایه و طبقه‌بندی رزین PAE .....	۲۶
۱-۱-۱۴-۲-۱- مقدار و کاربرد رزین PAE .....	۲۹
۱-۱-۱۴-۳-۱- فاکتورهای تأثیرگذار در ماندگاری رزین PAE .....	۳۱
۱-۱-۱۴-۲- فاکتورهای تأثیرگذار واکنش رزین PAE .....	۳۳
۱-۱-۱۴-۱-۲- اثر کیفیت آب .....	۳۳
۱-۱-۱۵- گلايوکسال و PVA .....	۳۵
۱-۱-۱۵-۱- پلی‌اکریل‌آمید گلايوکسال دار شده .....	۳۹
۱-۱-۱۶- میزان تیمار نسبی از عملکرد مقاومت تر .....	۴۰
۱-۱-۱۷- خمیر کاغذسازی مجدد .....	۴۱
۱-۲- فرضیه .....	۴۱
۱-۳- اهداف .....	۴۱
<b>فصل دوم: مرور منابع</b>	
۲- مرور منابع .....	۴۴
<b>فصل سوم: مواد و روش‌ها</b>	
۱-۳- تهیه کارتن کنگره‌ای کهنه (OCC) .....	۵۰
۲-۱-۳- خمیرسازی OCC .....	۵۰
۲-۳- تعیین درصد رطوبت .....	۵۰
۳-۳- پالایش خمیر کاغذ .....	۵۱
۴-۳- تعیین درجه روانی خمیر کاغذ .....	۵۱
۵-۳- افزودنی‌های مقاومت تر .....	۵۱
۱-۵-۳- PAE و گلايوکسال به‌همراه PVA .....	۵۱
۶-۳- تهیه کاغذ دست‌ساز .....	۵۲



## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۷-۳- تیمار با محلول PAE .....	۵۳
۸-۳- تیمار با محلول گلايوكسال به همراه PVA .....	۵۳
۹-۳- بررسی قابلیت خمیرسازی مجدد .....	۵۴
۱۰-۳- ویژگی‌های فیزیکی کاغذ .....	۵۵
۱-۱۰-۳- وزن پایه .....	۵۵
۲-۱۰-۳- ضخامت .....	۵۵
۳-۱۰-۳- حجیمی و دانسیته .....	۵۶
۱۱-۳- ویژگی‌های ممانعتی کاغذ .....	۵۶
۱-۱۱-۳- جذب آب .....	۵۶
۲-۱۱-۳- مقاومت به عبور هوا .....	۵۷
۱۲-۳- ویژگی‌های مقاومتی کاغذ .....	۵۷
۱-۱۲-۳- مقاومت کششی تر و خشک .....	۵۷
۲-۱۲-۳- مقاومت به ترکیدن .....	۵۷
۳-۱۲-۳- مقاومت به پارگی .....	۵۸
۱۳-۳- تجزیه و تحلیل آماری .....	۵۸
<b>فصل چهارم: نتایج و بحث</b>	
۱-۴- بررسی ویژگی‌های کاغذ .....	۶۰
۱-۱-۴- ویژگی‌های فیزیکی کاغذ .....	۶۰
۱-۱-۱-۴- دانسیته ظاهری .....	۶۰
۲-۱-۱-۴- حجیمی .....	۶۲
۳-۱-۱-۴- ضخامت .....	۶۴
۲-۱-۴- بررسی ویژگی‌های ممانعتی کاغذ .....	۶۶
۱-۲-۱-۴- جذب آب .....	۶۶

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۷۰	۴-۱-۲-۲- مقاومت به عبور هوا
۷۰	۴-۱-۳- بررسی ویژگی‌های مکانیکی کاغذ
۷۰	۴-۱-۳-۱- مقاومت کششی
۷۰	۴-۱-۳-۱-۱- شاخص مقاومت کششی تر
۷۶	۴-۱-۳-۲- شاخص مقاومت کششی خشک
۷۸	۴-۱-۳-۲- جذب انرژی کششی
۸۱	۴-۱-۳-۳- کشش
۸۳	۴-۱-۳-۴- شاخص مقاومت به ترک‌شدن
۸۵	۴-۱-۳-۵- شاخص مقاومت به پارگی
۸۸	۴-۱-۳-۶- طول پارگی
۹۰	۴-۱-۳-۷- سفتی
۹۲	۴-۲- بررسی قابلیت بازیافت مجدد کاغذهای تیمار شده با PAE و گلیوکسال به همراه PVA
۹۴	۴-۳- رتبه‌بندی تیمارها با استفاده از روش امتیازدهی بر اساس محاسبه معادلات نرمال‌سازی
<b>فصل پنجم: نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادات</b>	
۱۰۰	۵-۱- نتیجه‌گیری
۱۰۱	۵-۲- پیشنهادات
۱۰۴	منابع

## فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- میزان مصرف و کاربرد رزین مقاومت تر PAE .....	۳۰
جدول ۱-۲- مشخصات و توناژ تولیدی انواع PVA بر اساس نوع مصرف .....	۳۷
جدول ۱-۳- ویژگی‌های فیزیکی رزین PAE .....	۵۲
جدول ۲-۳- ویژگی‌های فیزیکی گلايوکسال .....	۵۲
جدول ۳-۳- ویژگی‌های فیزیکی PVA .....	۵۲
جدول ۳-۴- نمونه‌ها و مقادیر مصرف افزودنی‌های مقاومت تر .....	۵۴
جدول ۱-۴- آزمون تجزیه واریانس دانسیته ظاهری کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوکسال به- همراه PVA .....	۶۰
جدول ۲-۴- میانگین، خطا و انحراف معیار استاندارد دانسیته ظاهری کاغذهای دست‌ساز .....	۶۱
جدول ۳-۴- آزمون تجزیه واریانس حجیمی کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوکسال به همراه PVA .....	۶۳
جدول ۴-۴- میانگین، خطا و انحراف معیار استاندارد حجیمی کاغذهای دست‌ساز .....	۶۳
جدول ۵-۴- آزمون تجزیه واریانس ضخامت کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوکسال به همراه PVA .....	۶۴
جدول ۶-۴- میانگین، خطا و انحراف معیار استاندارد ضخامت کاغذهای دست‌ساز .....	۶۵
جدول ۷-۴- آزمون تجزیه واریانس جذب آب کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوکسال به همراه PVA .....	۶۶
جدول ۸-۴- میانگین، خطا و انحراف معیار استاندارد جذب آب کاغذهای دست‌ساز .....	۶۷
جدول ۹-۴- آزمون تجزیه واریانس مقاومت به عبور هوا کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوکسال به همراه PVA .....	۶۸
جدول ۱۰-۴- میانگین، خطا و انحراف معیار استاندارد مقاومت به عبور هوا کاغذهای دست‌ساز .....	۶۹
جدول ۱۱-۴- آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت کششی تر کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوکسال به همراه PVA .....	۷۱

## فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۴-۱۲- میانگین، خطا و انحراف معیار استاندارد شاخص مقاومت کششی تر کاغذهای دست- ساز.....	۷۱
جدول ۴-۱۳- آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت کششی خشک کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوكسال به همراه PVA.....	۷۶
جدول ۴-۱۴- میانگین، خطا و انحراف معیار استاندارد شاخص مقاومت کششی خشک کاغذهای دست‌ساز.....	۷۷
جدول ۴-۱۵- آزمون تجزیه واریانس جذب انرژی کششی کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوكسال به همراه PVA.....	۷۹
جدول ۴-۱۶- میانگین، خطا و انحراف معیار استاندارد جذب انرژی کششی کاغذهای دست‌ساز..	۷۹
جدول ۴-۱۷- آزمون تجزیه واریانس کشش کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوكسال به همراه PVA.....	۸۱
جدول ۴-۱۸- میانگین، خطا و انحراف معیار استاندارد کشش کاغذهای دست‌ساز.....	۸۱
جدول ۴-۱۹- آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوكسال به همراه PVA.....	۸۳
جدول ۴-۲۰- میانگین، خطا و انحراف معیار استاندارد شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست- ساز.....	۸۴
جدول ۴-۲۱- آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوكسال به همراه PVA.....	۸۶
جدول ۴-۲۲- میانگین، خطا و انحراف معیار استاندارد شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز.....	۸۶
جدول ۴-۲۳- آزمون تجزیه واریانس طول پارگی کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوكسال به همراه PVA.....	۸۸
جدول ۴-۲۴- میانگین، خطا و انحراف معیار استاندارد طول پارگی کاغذهای دست‌ساز.....	۸۹

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۹۰	جدول ۴-۲۵- آزمون تجزیه واریانس سفتی کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوكسال به همراه PVA
۹۱	جدول ۴-۲۶- میانگین، خطا و انحراف معیار استاندارد سفتی کاغذهای دست‌ساز
۹۲	جدول ۴-۲۷- مقادیر مصرف درصد اهمیت ویژگی‌های مورد بررسی در محاسبه معادلات نرمال‌سازی
۹۶	جدول ۴-۲۸- مقادیر میانگین ویژگی‌های مورد بررسی در محاسبه معادلات نرمال‌سازی
۹۸	جدول ۴-۲۹- امتیازهای تعلق یافته به تیمارها بر اساس الگوی ۳ گانه

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۲	شکل ۱-۱- مقایسه میزان تولید انواع کاغذ و مقوا در برابر تولید انواع کاغذ بازیافتی در سال ۲۰۱۰ میلادی
۱۳	شکل ۲-۱- مصرف جهانی الیاف کاغذسازی از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰
۱۸	شکل ۳-۱- جدا شدن میکروفیبریل‌ها از سطح لیف به وسیله پالایش
۲۳	شکل ۴-۱- الف) مکانیسم حفاظتی و ب) مکانیسم تقویت
۲۸	شکل ۵-۱- تولید رزین مقاومت تر PAE
۳۶	شکل ۶-۱- تشکیل پیوند همی‌استال به وسیله گلائیوکسال و گلو تار آلدهید با گروه‌های هیدروکسیل سطح سلولز
۳۷	شکل ۷-۱- ساختار PVA
۳۹	شکل ۸-۱- تشکیل پیوند عرضی PVA با گلائیوکسال و تشکیل پیوند عرضی از نوع استال و همجنس
۳۹	شکل ۹-۱- الف) برقراری پیوند همی‌استال بین گروه‌های هیدروکسیل موجود در الیاف و گروه‌های آلدهیدی رزین از نوع اشتراکی. ب) برقراری پیوند همسان بین گروه‌های آمیدی و گروه‌های آلدهیدی موجود در رزین
۶۲	شکل ۱-۴- تغییرات دانسیته ظاهری کاغذهای تیمار شده با PAE و گلائیوکسال به همراه PVA
۶۴	شکل ۲-۴- تغییرات حجمی کاغذهای تیمار شده با PAE و گلائیوکسال به همراه PVA
۶۶	شکل ۳-۴- تغییرات ضخامت کاغذهای تیمار شده با PAE و گلائیوکسال به همراه PVA
۶۸	شکل ۴-۴- تغییرات جذب آب کاغذهای تیمار شده با PAE و گلائیوکسال به همراه PVA
۷۰	شکل ۵-۴- تغییرات مقاومت به عبور هوا کاغذهای تیمار شده با PAE و گلائیوکسال به همراه PVA
۷۴	شکل ۶-۴- تغییرات شاخص مقاومت کششی تر کاغذهای تیمار شده با PAE و گلائیوکسال به همراه PVA
۷۵	شکل ۷-۴- نسبت شاخص مقاومت کششی تر به خشک در کاغذهای تیمار شده با PAE

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۴-۸- نسبت شاخص مقاومت کششی تر به خشک در کاغذهای تیمار شده با گلايوكسال و PVA	۷۶
شکل ۴-۹- تغییرات شاخص مقاومت کششی خشک کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوكسال به-همراه PVA	۷۸
شکل ۴-۱۰- تغییرات جذب انرژی کششی کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوكسال به-همراه PVA	۸۰
شکل ۴-۱۱- تغییرات کشش کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوكسال به-همراه PVA	۸۳
شکل ۴-۱۲- تغییرات شاخص مقامت به ترکیدن کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوكسال به-همراه PVA	۸۵
شکل ۴-۱۳- تغییرات شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوكسال به-همراه PVA	۸۸
شکل ۴-۱۴- تغییرات طول پارگی کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوكسال به-همراه PVA	۹۰
شکل ۴-۱۵- تغییرات سفتی کاغذهای تیمار شده با PAE و گلايوكسال به-همراه PVA	۹۲
شکل ۴-۱۶- قابلیت خمیرسازی مجدد کاغذهای تیمار شده با PAE	۹۴
شکل ۴-۱۷- قابلیت خمیرسازی مجدد کاغذهای تیمار شده با گلايوكسال و PVA	۹۴

فصل اول

مقدمه و کلیات



## ۱- مقدمه

بازیافت کاغذ و مقوا یکی از روش‌های تأمین مواد اولیه سلولزی مناسب برای صنایع خمیر و کاغذسازی می‌باشد (قاسمیان و خلیلی، ۱۳۹۰). مقوله بازیافت، امروزه در دنیا به دلیل مسائلی مانند مشکلات اقتصادی، کمبود منابع طبیعی و افزایش جمعیت، روند قابل توجهی به خود گرفته و پیشرفت‌های زیادی در این زمینه حاصل شده است. در این میان بازیافت کاغذ و محصولات کاغذی نیز از جایگاه خوبی برخوردار می‌باشد. به طوری که بسیاری از کشورهای تولیدکننده کاغذ که قبلاً از منابع چوبی و یا سایر منابع لیگنوسلولزی برای تولید خمیرکاغذ دست اول استفاده کرده‌اند، امروزه به جمع‌آوری و بازیافت کاغذ و حتی واردات کاغذهای باطله از سایر کشورها، اقدام نموده‌اند و در این میان ایران با تولید ۴۲۱۰۰۰ تن انواع کاغذ و مقوا در سال ۲۰۱۰ میلادی، در مقوله بازیافت تنها موفق به تولید انواع کاغذ بازیافتی به میزان ۸۰۰۰۰ تن بوده لذا توجه به بازیافت کاغذ به‌ویژه کارتن‌های کنگره-ای کهنه در داخل کشور امری ضروری به نظر می‌رسد. البته در این راستا یکسری معایبی وجود دارند که از جمله مهمترین آنها می‌توان به کیفیت کم کاغذهای بازیافتی تولید شده (به خصوص کاغذ تست لاینر<sup>۱</sup>) از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی اشاره کرد (عندلیبیان و همکاران، ۱۳۹۲).

به‌طورکلی مقاومت‌های خمیرکاغذ بازیافتی کم است و دلایل مختلفی برای کاهش مقاومت‌های این خمیر ذکر شده است. از جمله این عوامل، می‌توان به کاهش انعطاف پذیری الیاف به‌علت خشک شدن الیاف در مرحله اول کاغذسازی اشاره کرد (عندلیبیان و همکاران، ۱۳۹۲).

با توجه به اینکه در اثر فرآیند بازیافت ویژگی‌های مقاومتی کاغذ کاهش می‌یابد، معمولاً کاغذ در تماس با آب مقاومت‌های خود را از دست می‌دهد. این ویژگی یک نقطه ضعف برای بسیاری از کاربردهای کاغذ است. مقاومت تر بسته به نوع محصول به‌عنوان مثال در کاغذهای بسته‌بندی، کاغذ-های بهداشتی<sup>۲</sup> و غیره حائز اهمیت است. برای جبران افت ویژگی‌های کیفی کاغذ بازیافتی می‌توان از روش‌های مختلفی مثل پالایش<sup>۳</sup> و به‌کارگیری عوامل ایجاد مقاومت تر در خمیر کاغذ استفاده نمود (همزه و رستم‌پور هفتخوانی، ۱۳۸۷).

<sup>1</sup> Testliner

<sup>2</sup> Tissue

<sup>3</sup> Refining

افزودنی‌های مقاومت تر<sup>۱</sup> در شرایط اسیدی و خنثی یا قلیایی استفاده می‌شوند. اوره فرمالدهید و ملامین فرمالدهید از جمله افزودنی‌هایی هستند که تحت شرایط اسیدی استفاده می‌شوند. بدین منظور معمولاً مقداری آلوم یا سایر مواد اسیدی به محیط اضافه می‌شود. pH خمیر کاغذ در سرجه ماشینی که از رزین‌های اوره فرمالدهید استفاده می‌کند، باید بین ۴-۴/۵ باشد و pH خمیر کاغذ تولید شده نیز در همان حدود خواهد بود. در نتیجه کاغذ تولید شده به‌مرور زمان به‌علت داشتن خاصیت اسیدی شکننده بوده و کیفیت خوبی نخواهد داشت. با توجه به اینکه چنین رزین‌هایی در شرایط اسیدی استفاده می‌شوند و از طرفی با توجه به منسوخ شدن سیستم کاغذسازی اسیدی و اثرات زیست محیطی ترکیبات تشکیل دهنده این رزین‌ها، استفاده از دو رزین ذکر شده در اتصالات عرضی<sup>۲</sup> و ارتقا ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ (به‌ویژه مقاومت تر) کمتر شده است (یدالهی، ۱۳۹۱).

برخلاف رزین‌های فرمالدهیدی که عملکرد خوبی در شرایط اسیدی دارند، رزین‌های اپی-کلروهیدرین در شرایط pH خنثی عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهند. رزین‌های پلی آمید آمین اپی-کلروهیدرین<sup>۳</sup> با واکنش‌پذیری انتخابی مناسب برای تولید درجه‌هایی از کاغذهای با مقاومت تر زیاد بوده و امروزه بیش از ۹۰ درصد از بازار عوامل مقاومت تر را به‌خود اختصاص داده‌اند. این رزین در شرایط pH خنثی کاربرد داشته و این از مزایای خوب آن محسوب می‌شود. اما تشکیل محصولات جانبی مونومری دی‌کلروپروپانول<sup>۴</sup> و مونوکلروپروپان دیول در طول سنتز و ذخیره‌سازی از معایب آن می‌باشد. این ترکیبات به‌عنوان مواد خطرناک بوده و از شکل‌گیری آن‌ها نمی‌توان اجتناب کرد و به‌عنوان هالیدهای آلی قابل جذب<sup>۵</sup>، باعث ایجاد آلودگی در پساب می‌شوند. این موضوع به لحاظ زیست محیطی آثار زیان‌باری دارد. با توجه به تشکیل مواد آلی کلردار پژوهش‌های زیادی برای سنتز رزین‌های جدیدی از نوع PAE انجام شده است. این محصولات امروزه به‌نام رزین‌های مقاومت تر نسل سوم به‌طور قابل ملاحظه‌ای AOX کمتری ایجاد می‌کنند (براگا<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۵).

<sup>1</sup> Wet strength additives

<sup>2</sup> Cross linking

<sup>3</sup> Polyamideamin- epichlorhydrin (PAE)

<sup>4</sup> Dichloropropanol

<sup>5</sup> Adsorbable organic hylides

<sup>6</sup> Braga

پلی وینیل الکل<sup>۱</sup> یکی از پلیمرهای سازگار با طبیعت و محلول در آب بوده و دارای خواص بسیار عالی و همچنین خواص امولسیون کننده در محیط می باشد. ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی مطلوب رزین PVA موجب استفاده بسیار وسیع این رزین در صنعت شده است. ترکیبی از آلدهید و PVA به عنوان عامل اتصال عرضی در بهبود مقاومت تر کاغذ مطرح شده است. آلدهیدهای دو عاملی گلايوكسال و گلو تار آلدهید در مجاورت PVA کاملاً آب کافت شده به عنوان هم واکنشگر استفاده می شود. این دو آلدهید به تنهایی مقاومت تر را بهبود می بخشد، اما از مقاومت کششی کاغذ تاخوردگی<sup>۲</sup> می کاهند. در حالت استفاده از PVA به عنوان هم واکنشگر، نه تنها مقاومت تر بلکه مقاومت خشک<sup>۳</sup> و تحمل به تاخوردگی نیز افزایش می یابد. پیوندهای عرضی از نوع استال به طور هم جنس در شبکه رزین تشکیل می شود و پیوندهای مشترک از نوع همی استال بین گروه‌های آلدهیدی و هیدروکسیل سطح الیاف تشکیل می شود (یدالهی، ۱۳۹۱).

مقاومت تری که توسط رزین‌های فرمالدهیدی (ملامین فرمالدهید و اوره فرمالدهید) و PAE ایجاد می شود، مقاومت تر دائمی است. در نتیجه بازیافت مجدد آن مشکل تر می شود. اما مقاومت تر ایجاد شده توسط گلايوكسال به همراه PVA مقاومت تر موقت می باشد و به علت اینکه پیوند ایجاد شده از نوع همی استال است به آسانی توسط آب هیدرولیز و بازیافت مجدد به سهولت انجام می شود.

### ۱-۱- کلیات

#### ۱-۱-۲- انواع کاغذ

به طور تقریبی، فرآورده‌های کاغذی را به سه دسته‌ی بزرگ می توان تقسیم کرد:

۱- کاغذهای مورد استفاده برای چاپ، تحریر، امور اداری و تحصیلی.

۲- کاغذهای بسته بندی، صنعتی و ساختمانی.

۳- کاغذهای بهداشتی (محمدنژاد، ۱۳۹۲).

<sup>۱</sup>Poly vinyl alcohol

<sup>۲</sup>Folding endurance

<sup>۳</sup>Dry strength

۱-۱-۳- مقوا<sup>۱</sup> و انواع آن

مقوا به طور کلی، نوع سنگین تر و ضخیم تر صفحاتی است که به دو گروه کلی کاغذ و مقوا طبقه بندی شده‌اند (افرا، ۱۳۸۴). تفاوت مقوا با کاغذ را به وضوح نمی‌توان بیان کرد اما وزن پایه انواع مقوا، بیشتر از ۱۵۰ گرم بر متر مربع است. تفاوت بین کاغذ و مقوا در ضخامت فرآورده است (میرشکرایی، ۱۳۸۲). انواع بسیار مختلفی از مقوا در بازار موجود است. مقواها به سه دسته تقسیم می‌شوند. مقوای کارتنی<sup>۲</sup> (جعبه‌ای)، مقوای کنگره‌ای<sup>۳</sup> (کانتینری یا بشکه‌ای) و مقوای مخصوص<sup>۴</sup> (حمصی و همکاران، ۱۳۸۶).

مقوا، بیشترین ارزش افزوده در سیستم مواد تشکیل شده از کاغذ و مقواست و اغلب برای بسته بندی و کیفیت زیاد چاپ استفاده می‌شوند. این سیستم مواد شامل الیاف دست اول بر پایه مقوا یا مقوایی باشد که چندین مرتبه بار بازیافت شده‌اند.

به‌طور کلی از انواع مقوا غالباً به منظور بسته‌بندی استفاده می‌شود، اما در موارد استثنایی همچون مقوای پلاستر یا گچی<sup>۵</sup> (مقوای مورد استفاده در ساخت تخته‌های گچی)، مقوا ممکن است کاربرد دیگری داشته باشد. به دلیل کاربرد انواع مقوا در بسته‌بندی، ویژگی‌های مقاومتی برای مقوا بسیار مهم است.

در صنایع مقواسازی، مقوای کنگره‌ای، بازار بزرگی را به خود اختصاص داده‌اند. جعبه‌های کنگره‌دار از جعبه‌های حمل و نقل ساده گرفته تا جعبه‌های دارای چاپ چند رنگ موجود در مغازه‌ها، عمدتاً برای مقاصد بسته‌بندی استفاده می‌شوند. مقوا با سایر مواد بسته‌بندی همچون پلاستیک‌ها رقابت می‌کند. انواع متعدد مقوا برای اهداف بسته‌بندی با کیفیت بسیار خوب و با دوام، قابل استفاده بوده و در ضمن بازیافت پذیر نیز هستند. در حال حاضر مقوای کنگره‌دار کهنه<sup>۶</sup> به مقدار زیادی به‌عنوان ماده خام اولیه به‌منظور تولید انواع مقوای روکش و لایه میانی مقوای کنگره‌ای استفاده می‌شوند. این واقعیت که

<sup>1</sup> Paperboard

<sup>2</sup> Cartonboards

<sup>3</sup> Container boards

<sup>4</sup> Spcial boards

<sup>5</sup> Plasterboard

<sup>6</sup> Old Corrugated Container