

# مطالعه اثر مرکب‌زدایی آنزیمی بر ویژگی‌های نوری و فیزیکی خمیر کاغذ حاصل از روزنامه‌های به سرعت کهنه شده

علی قاسمیان<sup>۱</sup> و محمدهادی آریائی‌منفرد<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی دکترای صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

(تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۶، تاریخ تصویب: ۹۰/۸/۱۱)

## چکیده

در این تحقیق، قابلیت مرکب‌زدایی توسط آنزیم روزنامه‌های باطله تازه چاپ شده با نمونه‌های کاغذ کهنه شده به روش مصنوعی مقایسه شده است. مرکب‌زدایی توسط آنزیم سلولاز از قارچ *Aspergillus niger* و در محیط اندکی اسیدی انجام شد. نتایج نشان داد مرکب‌زدایی توسط آنزیم در هر دو گروه کاغذ مورد بررسی در مقایسه با نمونه شاهد (بدون مرکب‌زدایی) سبب تغییر معنی‌دار آماری در مقادیر درجه روانی و بازده خمیرهای کاغذ و مقادیر ضخامت، دانسیته، درجه روشنی و ماتی ورق‌های کاغذ دست‌ساز شد. همچنین، در مقایسه کاغذهای روزنامه‌های باطله تازه چاپ شده با نمونه‌های کاغذ کهنه شده به روش مصنوعی دیده شد که در کاغذهای روزنامه‌های باطله تازه چاپ شده، هر دو عامل مقدار آنزیم و زمان تیمار بر افزایش درجه روانی خمیر کاغذ موثر هستند ولی در کاغذهای کهنه شده به روش مصنوعی، فقط زمان تیمار عامل موثر بر افزایش درجه روانی خمیر کاغذ می‌باشد. از طرف دیگر، مشاهده شد که بین ویژگی‌های نوری و فیزیکی کاغذهای باطله تازه چاپ شده و کهنه شده به روش مصنوعی تفاوت معنی‌دار آماری وجود ندارد، یعنی این که آنزیم سلولاز عملکرد یکسانی در مرکب‌زدایی از هر دو نوع کاغذ داشته و کهنه سازی تسریع شده تاثیر منفی بر عملکرد آن ندارد.

**واژه‌های کلیدی:** روزنامه باطله، کهنه سازی تسریع شده، مرکب‌زدایی آنزیمی، سلولاز، ویژگی‌های نوری، ویژگی‌های فیزیکی

## مقدمه

در سال‌های اخیر، مرکب‌زدایی از روزنامه‌های باطله به دلیل مصرف در حال افزایش روزنامه‌های بازیافتی و قیمت رقابتی و برخی از مزایای دیگر آن از قبیل مصرف کمتر انرژی در فرآیند تولید کاغذ، آلودگی‌های زیست محیطی کمتر و غیره، نسبت به الیاف بکر توجه کاغذسازها را به خود جذب نموده است (Bajpai, 1998). طی فرآیند مرکب‌زدایی، کاغذسازها باید از عهده برخی از مشکلات به وجود آمده طی مراحل جمع‌آوری، انبار و جابجایی کاغذهای باطله، فرآیند چاپ و فرآیند تبدیل باطله‌های پس از مصرف برآیند. یکی از این مشکلات کاهش قابلیت مرکب‌زدایی طی زمان پیش از مرکب‌زدایی است که منجر به کاهش ویژگی‌های نوری به ویژه درجه روشنی خمیر کاغذ حاصل می‌شود. کهنه شدن مرکب-های چاپ، یک دلیل مهم کاهش قابلیت مرکب‌زدایی می‌باشد (Tam, 2001).

کهنه شدن مرکب در واقع ادامه فرآیند خشک شدن مرکب بر روی کاغذ می‌باشد. گزارش شده است که قابلیت مرکب‌زدایی از روزنامه‌های باطله در تابستان با سایر ایام سال متفاوت می‌باشد که این پدیده تحت عنوان «اثر تابستان»<sup>۱</sup> معرفی شده است. «اثر تابستان» یک دوره طی ماه‌های تابستان و هنگامی است که کارخانه، کاهش‌ی روشنی کاغذ تولیدی را تجربه می‌کند. تعریف کلی «اثر تابستان»، کاهش در روشنی خمیر کاغذ نهایی طی ماه-های تابستان می‌باشد. اثر تابستان را می‌توان به تغییر در نوع خمیر کاغذ/مرکب، تغییر ساختار خمیر کاغذ/مرکب یا تغییر در آب فرآیندی نسبت داد. مثالی از تغییر فصلی نوع خمیر کاغذ، افزایش مصرف کاغذهای فوق اتوزنی شده ورودی با مقدار کم مواد معدنی، از قبیل آگهی‌های تبلیغاتی می‌باشد. گرمای هوا در تابستان می‌تواند فرآیند خشک شدن مرکب یا تغییر نوع پیوندها بین مرکب و الیاف را تسریع کند. همچنین افزایش فعالیت بیولوژیکی در آب تازه یک کارخانه یا دمای بالاتر آب فرآیندی طی

ماه‌های تابستان، می‌تواند عملکرد مرکب‌زدایی را تغییر دهد (Haynes, 2008).

مشخص شده است که طی فرآیند کهنه شدن، برخی از ترکیبات مرکب از قبیل رزین می‌توانند در دماهای زیاد تحت واکنش‌های پلیمر شدن اکسایشی قرار گرفته و یک شبکه پلیمری سه بعدی را تشکیل دهند که منجر به تقویت پیوندهای بین مرکب و کاغذ زمینه می‌شود. همچنین در نتیجه تقویت پیوندها، مقادیر بیشتری از مرکب غیر قابل جدا شدن ایجاد می‌شود که علت اصلی افت قابلیت مرکب‌زدایی نیز می‌باشد (Haynes, 2008). تدابیر مختلفی برای مقابله با اثر کهنه شدن طی فصول گرم تابستان به کار گرفته می‌شوند. در فرآیندهای کارخانه‌ای، نشان داده شده است که کوتاه نمودن زمان خمیرسازی مجدد و افزایش دمای خمیرسازی از خرد شدن مرکب جلوگیری می‌کند. همچنین افزودن آنتی اکسیدان‌ها به مرکب‌های افسست به عنوان وسیله‌ای برای کنترل اکسایش خود به خودی حلال‌های روغنی مرکب و بهبود قابلیت مرکب‌زدایی از روزنامه‌های حاصل نیز گزارش شده است (Zhang et al., 2008; Pan & Nguyen, 2007).

از سوی دیگر، هنگام تیمار آنزیمی با سلولاز میکروفیبریل‌ها از سطح الیاف زدوده می‌شوند. پیش از این نیز این پدیده دلیل اصلی سست شدن اتصال بین الیاف بود. با این حال، برش الیاف بلند نیز ممکن است موجب ضعیف شدن شبکه الیاف شود که در مقادیر معمول درصد خشکی خمیر کاغذ برای تیمار مرکب‌زدایی احتمال وقوع این پدیده بسیار کم است (Welt, 1996).

در مورد اثر کهنه شدن بر قابلیت مرکب‌زدایی متداول شیمیایی و نیز آنزیمی کاغذهای چاپ، بررسی‌های مختلفی صورت گرفته است. رحمانی نیا و همکاران (۲۰۰۸) تاثیر کهنه شدن طبیعی ۰، ۴، ۸ و ۱۲ ماه و استفاده از مقادیر ۰، ۵/۰، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد هیدروکسید سدیم در مرکب‌زدایی از روزنامه‌های باطله بر ویژگی‌های نوری خمیر مرکب‌زدایی شده حاصل را مطالعه نموده‌اند. نتایج نشان داد تیمار روزنامه‌های باطله تازه چاپ شده با

<sup>۱</sup> Summer Effect

۱/۵ درصد هیدروکسید سدیم بهترین نتایج را ایجاد می-کند. کهنه شدن طبیعی روزنامه به مدت ۴ ماه و بیشتر موجب کاهش روشنی و افزایش ضریب جذب نور شده، در حالی که مقادیر هیدروکسید سدیم بیشتر از ۱/۵ درصد موجب افزایش روشنی و کاهش ضریب جذب نور گردید. همچنین کهنه شدن موجب کاهش و هیدروکسید سدیم سبب افزایش زردی خمیر کاغذ شده است (Rahmani nia et al., 2008).

ژانگ و همکاران (۲۰۰۸) تاثیر سه نوع آنزیم سلولاز تجاری را در مرکب‌زدایی از مخلوط روزنامه‌های باطله تازه چاپ شده و کهنه شده به روش مصنوعی و مجله‌های باطله تازه چاپ شده با نسبت ۳:۷ مورد مطالعه قرار دادند. آنزیم‌ها در ابتدای مرحله خمیرسازی مجدد به مخلوط روزنامه و مجله باطله افزوده شده و پس از آن به مدت بیش از ۳ ساعت نگهداری شدند. هر چند این آنزیم‌ها قادر به جدا نمودن مقادیر قابل توجهی از مرکب از مخلوط روزنامه و مجله باطله تازه چاپ شده بودند، ولی مرکب‌زدایی سلولاز کارآیی کمتری نسبت به مرکب‌زدایی شیمیایی به روش قلیایی یا سولفیت داشت. هیچکدام از سه نوع آنزیم سلولاز آزمایش شده قادر به مرکب‌زدایی از مخلوط روزنامه و مجله باطله کهنه شده نبودند. این پژوهشگران افزوده‌اند ترکیب آنزیم با سولفیت به‌طور قابل توجهی موجب بهبود قابلیت مرکب‌زدایی به روش سولفیت شده و فرصت‌های جدیدی را برای مرکب‌زدایی از روزنامه‌های کهنه شده در pH خنثی فراهم می‌آورد (Zhang et al., 2008).

ژوو و همکاران (۲۰۰۹) عملکرد و کارآیی روزنامه‌های کهنه مرکب‌زدایی شده با ترکیبی از سلولاز، همی سلولاز به وسیله سیستم لاکاز-ویولوریک اسید<sup>۱</sup> (LVS) را مطالعه کردند. نتایج نشان داد در مقایسه با خمیر مرکب-زدایی شده با آنزیم‌های مختلف به صورت مجزا، ERIC<sup>۲</sup> حاصل از خمیر مرکب‌زدایی شده در اثر تیمار با سلولاز/همی سلولاز-LVS کمتر بود. به‌علاوه، رابطه تقویت

شونده موجود در مرکب‌زدایی روزنامه‌های باطله با استفاده از ترکیب این آنزیم‌ها حاصل می‌شود. پس از رنگ‌بری با پراکسید هیدروژن خمیر حاصل از تیمار با ترکیب آنزیم‌ها مقادیر روشنی و مقاومت بیشتری را نشان داد. آنالیزهای UV ثابت کرد که لیگنین بیشتری طی فرآیندهای مرکب‌زدایی ترکیبی آزاد شده است. تصاویر ESEM<sup>۳</sup>، فبریل‌ها شدن بیشتری را به دلیل تیمار آنزیمی تقویت شده نشان داد (Xu et al., 2009).

در پژوهش حاضر، تاثیر مرکب‌زدایی آنزیمی روزنامه‌های باطله تازه چاپ شده با نمونه‌های کاغذ روزنامه کهنه شده به روش تسریع شده مقایسه گردیده است. هدف از انجام این تحقیق، شناسایی میزان تاثیر فرآیند کهنه شدن کاغذ روزنامه بر قابلیت مرکب‌زدایی آنزیمی آن است.

## مواد و روش‌ها

### تهیه و انتخاب روزنامه‌های باطله

روزنامه‌های باطله چاپ شده به روش افست سرد به صورت تصادفی از محل چاپخانه روزنامه قدس مشهد انجام شد.

### کهنه‌سازی نمونه‌ها

طبق استاندارد ۱ و ۲-۵۴۶۰۶ DIN، کهنه‌سازی تسریع شده<sup>۴</sup> نمونه‌ها در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی صفر درصد در یک آون خشک کننده با هوای در حال گردش به مدت ۱۴۴ ساعت انجام شد (Gullichsen & Paulapuro, 1998). مقدار تقریبی ۱ ساعت کهنه‌شدن تسریع شده تحت شرایط فوق برای روزنامه‌های چاپ شده با مرکب‌های پر پایه روغن تقریباً معادل یک روز کهنه‌شدن در شرایط طبیعی است (Tam, 2001).

### خمیرسازی مجدد

#### - خیساندن

نمونه‌های کاغذهای روزنامه‌های باطله تازه چاپ شده و کهنه‌شده مصنوعی به‌صورت جداگانه به مدت ۶۰ دقیقه

<sup>3</sup> Environmental Scanning Electronic Microscopy

<sup>4</sup> Accelerated Aging

<sup>1</sup> Laccase-violuric acid system

<sup>2</sup> Effective Residual Ink Concentration

هر یک از خمیرهای کاغذ مرکب‌زدایی شده آنزیمی بر روی الک ۲۰۰ مش به مدت ۱۰ دقیقه توسط آب شیر شسته شد.

### ساخت کاغذ دست‌ساز و تعیین ویژگی‌های فیزیکی و

#### نوری آنها

- تعیین درجه روانی (ml, CSF) خمیر کاغذ کلیه نمونه‌ها بعد از مرحله مرکب‌زدایی طبق دستورالعمل شماره ۴-۰۴ om-۲۲۲۷ آئین‌نامه تاپی<sup>۳</sup> انجام شد.

- تهیه کاغذ دست‌ساز استاندارد ۶۰ گرمی از کلیه نمونه‌ها طبق دستورالعمل شماره ۰۲-sp-۲۰۵ آئین‌نامه تاپی انجام گرفت. پیش از اندازه‌گیری ویژگی‌های نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در شرایط مشروط‌سازی (۲۳ °C و رطوبت نسبی ۵۰ درصد) طبق دستورالعمل شماره ۰۳-۰۴ sp-۲۴۰۲ آئین‌نامه تاپی قرار داده شدند. تعیین ویژگی‌های کاغذ شامل: گراماژ، ضخامت، روشنی و ماتی به ترتیب طبق دستورالعمل‌های شماره ۰۱-sp-۲۲۲۰، ۰۵-۰۴ om-۲۴۱۱، ۰۲-۰۴ om-۲۴۵۲ و ۰۱-۰۴ om-۲۴۲۵ آئین‌نامه تاپی انجام گرفت.

بازده خمیرهای مرکب‌زدایی شده طبق رابطه ۳-۱ محاسبه گردید (Welt, 1996).

$$(1) \quad 100 \times (\text{وزن خشک کاغذ روزنامه} / \text{وزن خشک خمیر مرکب‌زدایی شده}) = \text{بازده (درصد)}$$

**روش آماری تجزیه و تحلیل نتایج:** عوامل مورد نظر برای مرکب‌زدایی آنزیمی در سه سطح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ واحد آنزیمی و همچنین سه سطح زمانی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه بود. از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی برای تحلیل آماری داده‌های حاصل از تیمار روزنامه‌های تازه و کهنه شده به صورت مستقل استفاده شد. اثر عوامل مستقل روی خصوصیات خمیر کاغذ و

در حمام آب گرم با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خیسانده شده و سپس توسط دست به قطعات چند سانتیمتری تبدیل شدند.

### - جدا سازی الیاف

نمونه‌های کاغذهای باطله در دستگاه پراکنده ساز الیاف<sup>۱</sup> به مدت ۱۰ دقیقه (۱۲۵۰۰ دور) در درصد خشکی ۵ درصد همراه با ۰/۳ درصد ماده فعال ساز سطحی بر مبنای وزن خشک کاغذ قرار گرفته و الیاف آنها جداسازی شدند.

### مرکب‌زدایی آنزیمی

آنزیم سلولاز (β-D-Glucan 4-1, 4-(1, 3: 1, 4)-glucano- hydrolase) از قارچ *Aspergillus Niger* با مقدار فعالیت ۰/۳ واحد<sup>۲</sup> به ازاء یک میلی‌گرم، که بهترین فعالیت خود را در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و pH برابر ۵ نشان می‌دهد، به شکل پودر از شرکت سیگما-آلدریچ خریداری شد. پس از تنظیم درصد خشکی به ۸ درصد، pH خمیر توسط اسید سولفوریک ۱ نرمال به حدود ۵ رسانده شد، که برای فعالیت آنزیم مطلوب بود. سپس در درجه حرارت ۳۷ درجه سانتی‌گراد، خمیر کاغذ تهیه شده در سه سطح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ واحد و سه سطح زمانی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه توسط آنزیم تیمار گردید. در مجموع تعداد ۹ تیمار وجود داشت و هر تیمار در سه تکرار انجام شد. نمونه شاهد نیز از خمیر کاغذ روزنامه بدون مرکب‌زدایی و تنها طی مراحل فرآیندی تهیه شد.

### شستشوی خمیرهای کاغذ تیمار شده و نمونه‌های شاهد

<sup>۱</sup> Disintegrator

یک واحد فعالیت آنزیم (International Unit) مقداری از آن است که در هر دقیقه موجب آزادسازی ۱ میکرو مول قند کاهش یافته از ماده زمینه شود (پارک و همکاران، ۲۰۰۲).

<sup>۳</sup> TAPPI (Thechnical Association of Pulp and Paper Industry)

است. علامت E مقدار آنزیم و T زمان تیمار آنزیمی را نشان می‌دهد. اعداد ۱، ۲ و ۳ سطوح مختلف عوامل متغیر را به ترتیب از کم به زیاد نشان می‌دهند.

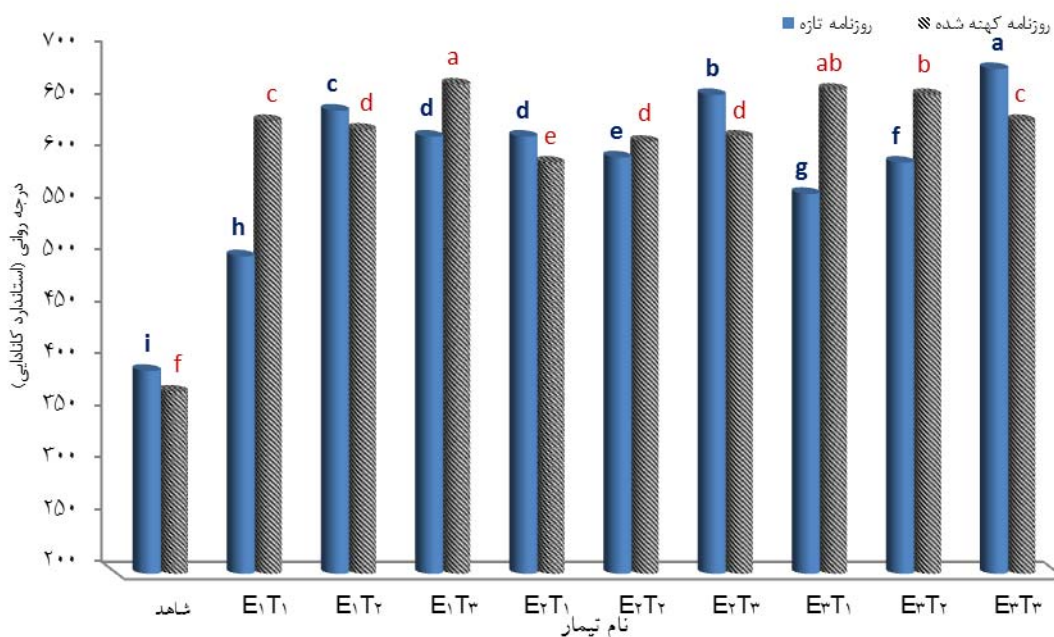
کاغذهای حاصل با استفاده از آزمون تجزیه واریانس تعیین و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن انجام شد. در تمام جداول و شکل‌ها، برای معرفی تیمارها از علامت‌های اختصاری به شرح جدول ۴-۱ استفاده شده

جدول ۱- تیمارهای آنزیمی روزنامه‌های تازه و کهنه شده

مقدار آنزیم (واحد)			زمان تیمار (دقیقه)
۷۵	۵۰	۲۵	
$E_3T_1$	$E_2T_1$	$E_1T_1$	۱۰
$E_3T_2$	$E_2T_2$	$E_1T_2$	۲۰
$E_3T_3$	$E_2T_3$	$E_1T_3$	۳۰

## نتایج

شکل ۱ تغییرات درجه روانی خمیر مرکب‌زدایی شده حاصل از تیمارهای آنزیمی و شاهد را نشان می‌دهد.



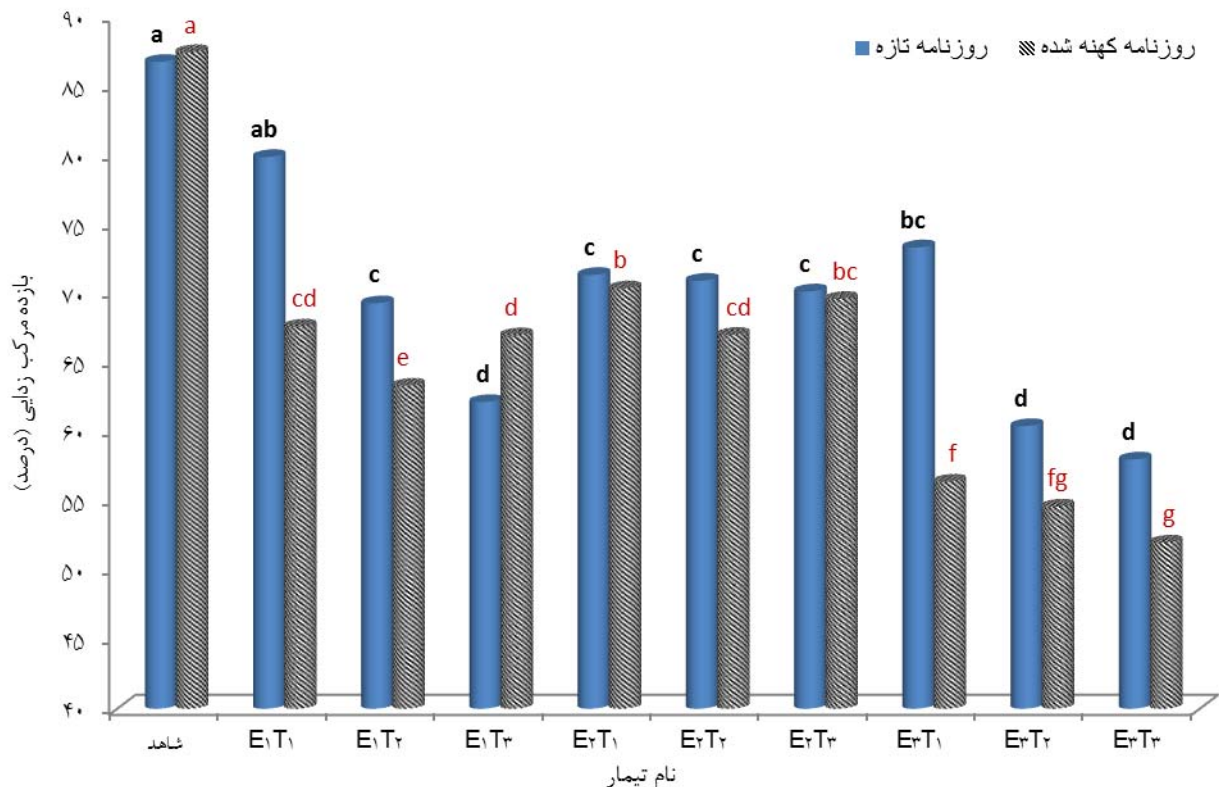
شکل ۱- تغییرات درجه روانی خمیرهای حاصل از تیمار روزنامه‌های باطله

لذا، هر عاملی (مانند آنزیم) که بتواند به این امر کمک نماید، مفید تلقی می‌گردد.

به طور کلی کاغذهای مرکب‌زدایی شده به روش آنزیمی در دو گروه تازه چاپ شده و کهنه شده مصنوعی افزایش معنی‌دار آماری در درجه روانی نسبت به نمونه شاهد نشان دادند و این امر در نمونه‌های کاغذ تازه چاپ شده بیشتر مشهود است، یعنی آنزیم سلولاز روی کاغذهای

همان گونه که دیده می‌شود، استفاده از آنزیم سبب افزایش درجه روانی خمیرهای کاغذ حاصل شده است. افزایش درجه روانی خمیر کاغذ طی مراحل تولید کاغذ همراه با حفظ ویژگی‌های کیفی کاغذ حاصل، سبب افزایش سرعت ماشین و بهبود در عملکرد آن و کاهش مصرف انرژی در خشک‌کن‌ها می‌شود (Bajpai, 1998).

می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که در کاغذهای تازه چاپ شده، مقدار آنزیم و زمان واکنش دو عامل اصلی موثر بر درجه روانی خمیر کاغذ هستند ولی در کاغذهای کهنه شده مصنوعی مقدار آنزیم عامل چندان موثری نبوده و عامل زمان واکنش نقش اصلی در افزایش درجه روانی را به عهده دارد. به نظر می‌رسد با افزایش زمان واکنش، به دلیل کنده شدن میکروفیبریل‌های سلولزی از سطح الیاف و خروج آنها از محیط واکنش، درجه روانی افزایش بیشتری می‌یابد. شکل ۲ تغییرات بازده خمیر مرکب-زدایی شده حاصل از تیمارهای آنزیمی و شاهد را نشان می‌دهد.



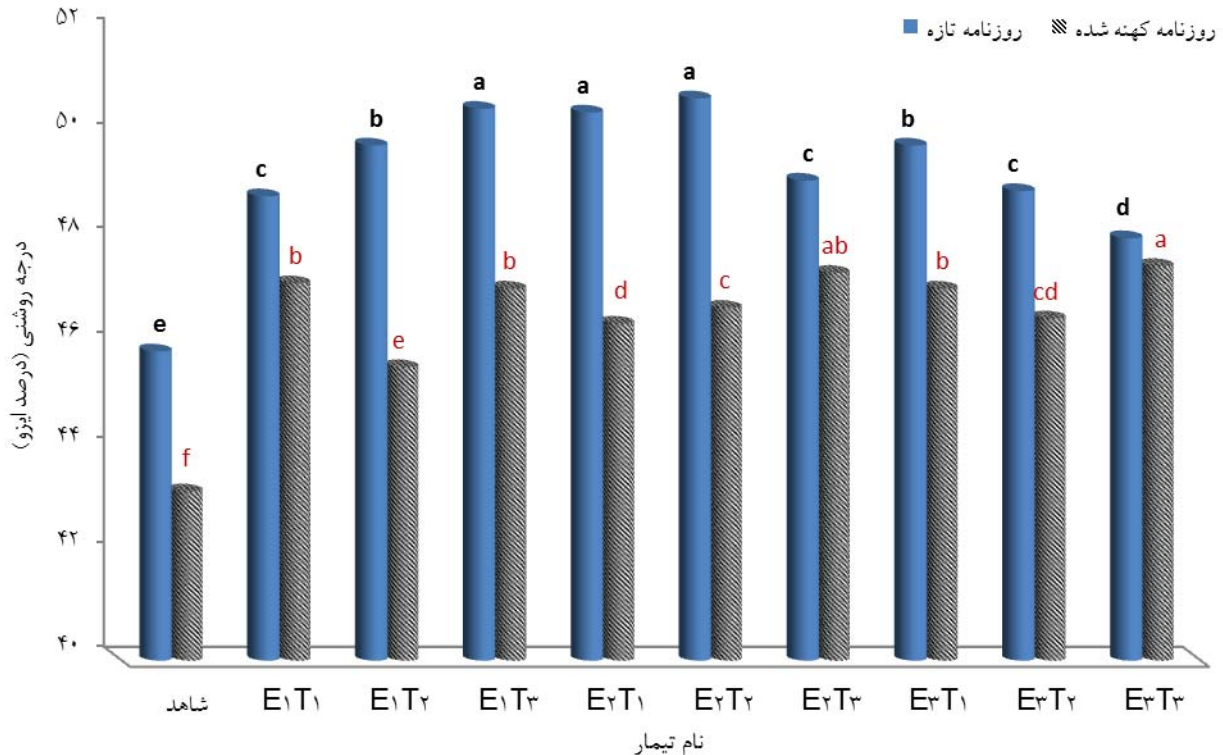
شکل ۲- تغییرات بازده خمیر مرکب‌زدایی شده حاصل از تیمار روزنامه‌های باطله

دست رفتن مواد فیبری طی مراحل شستشو اتفاق می‌افتد. روند کلی تغییرات نتایج نشان داد که با افزایش شدت تیمار آنزیمی (میزان مصرف آنزیم و زمان تیمار) بر شدت کاهش بازده افزوده می‌شود و شدت این کاهش در مجموع در روزنامه‌های کهنه شده در مقایسه با روزنامه‌های تازه چاپ شده بیشتر بوده است. علت اختلاف

تازه چاپ شده اثر بهتری دارد. از طرف دیگر، در مجموع درجه روانی کاغذهای کهنه شده مصنوعی از کاغذهای تازه چاپ شده اندکی بیشتر نشان می‌دهد که دلیل آنرا می‌توان کاهش قابلیت جذب آب الیاف روزنامه‌های کهنه شده مصنوعی دانست. در میان خمیرهای کاغذ حاصل از تیمار روزنامه‌های تازه چاپ شده، بیشترین مقدار درجه روانی در تیمار با بیشترین مقدار آنزیم و طولانی‌ترین مدت زمان واکنش (E<sub>3</sub>T<sub>3</sub>) دیده شد ولی در خمیرهای کاغذ حاصل از تیمار روزنامه‌های باطله کهنه شده مصنوعی، بیشترین مقدار درجه روانی مربوط به تیمار با کمترین مقدار آنزیم ولی بیشترین زمان واکنش (E<sub>1</sub>T<sub>3</sub>)

کاهش بازده خمیرکاغذ مرکب‌زدایی شده طی تیمار با آنزیم سلولاز پیش از این نیز توسط محققین گزارش شده است (Bajpai, 1998; Welt, 1996). به طور کلی بازده خمیرکاغذ به دست آمده از کاغذ روزنامه تازه چاپ شده نسبت به روزنامه کهنه شده بیشتر می‌باشد. این کاهش بازده تحت تاثیر عمل هیدرولیز آنزیمی و همچنین از

شکل ۳ میزان تغییرات درجه روشنی خمیر مرکب‌زدایی شده حاصل از تیمارهای آنزیمی و شاهد را نشان می‌دهد.



شکل ۳- تغییرات درجه روشنی کاغذهای دست ساز حاصل از تیمار روزنامه‌های باطله

ولی با افزایش زمان تیمار یعنی در زمان ۴۵ دقیقه (E<sub>2</sub>T<sub>3</sub>) کاهش در روشنی اتفاق می‌افتد و این کاهش را می‌توان به رسوب مجدد ذرات مرکب نسبت داد. با افزایش شدت تیمار، هیدرولیز میکروفیبریل‌های سطح الیاف افزایش یافته و ذرات مرکب بیشتری رها می‌شوند. همچنین با تاثیر بیشتر آنزیم بر روی ذرات مرکب، اندازه ذرات کاهش می‌یابد و این ذرات بر روی الیاف و از طریق ورود به حفره سلولی رسوب مجدد می‌نمایند (Haynes, 2008; Bajpai, 1998). در مورد روزنامه‌های کهنه شده، به دلیل ایجاد اتصالات عرضی بیشتر در ساختار مرکب، امکان جداسازی آنها در مرحله تیمار آنزیمی کاهش یافته در نتیجه درجه روشنی خمیرهای حاصل نیز کمتر مشاهده شده است (Haynes, 2008).

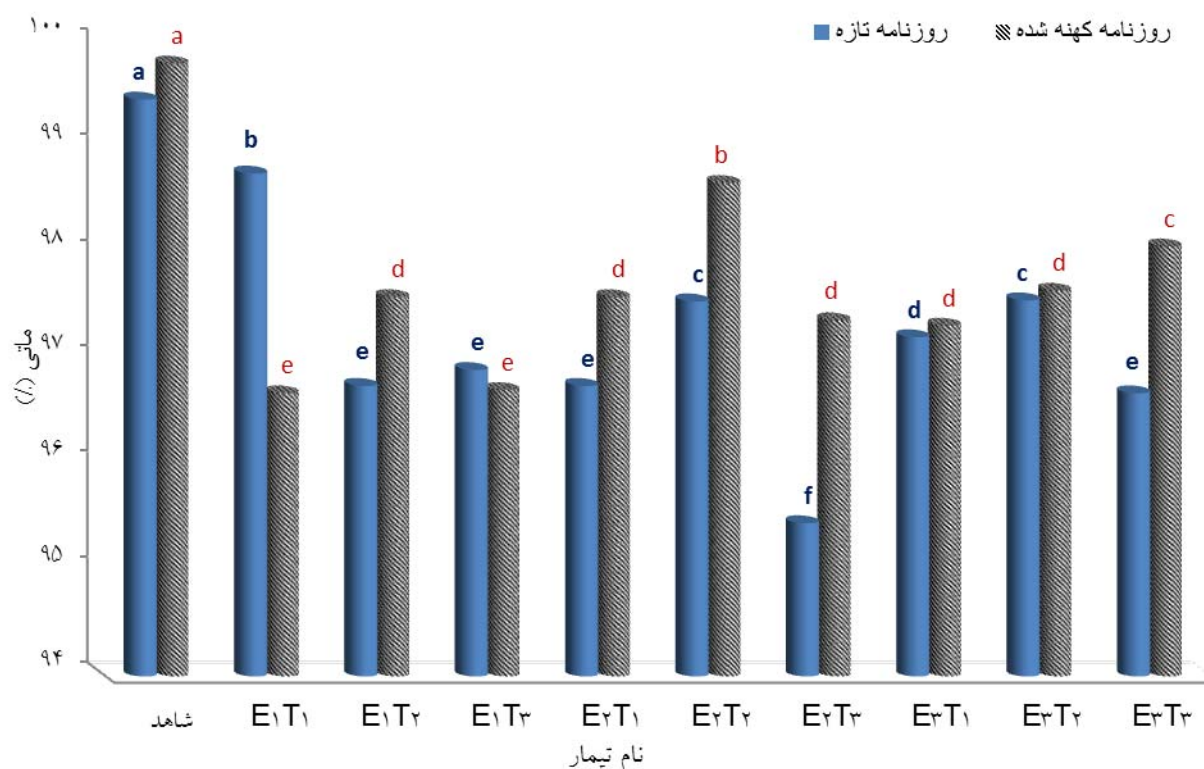
در بازده خمیر کاغذ حاصل از دو گروه کاغذ مذکور را می‌توان به مقادیر متفاوت هدررفت ماده سلولزی (به شکل الیاف نرمه) نسبت داد.

نتایج نشان می‌دهند کهنه‌شدن روزنامه‌ها باعث کاهش تا حدود ۲/۶۷ درجه ایزو در نمونه شاهد می‌گردد. این تفاوت در میزان روشنی کاغذهای دست‌ساز حاصل از روزنامه‌های تازه و کهنه شده در بین تیمارهای آنزیمی تا ۴/۲۷ واحد در تیمار E<sub>2</sub>T<sub>2</sub> نیز قابل مشاهده است. همچنین در هر دو گروه کاغذهای روزنامه تازه و کهنه شده، تیمار آنزیمی به طور معنی‌داری موجب بهبود درجه روشنی کاغذها شده است و این تاثیر در کاغذهای روزنامه تازه نسبت به تیمار شاهد بیشتر بوده است (حدود ۵ واحد).

در نتایج مربوط به روزنامه‌های باطله تازه چاپ شده در اولین سطح مقدار آنزیم (۲۵ واحد) با افزایش زمان تیمار مقدار روشنی افزایش می‌یابد. در دومین سطح مقدار تیمار آنزیمی نیز در دو سطح زمانی ابتدایی (۱۰ و ۲۰ دقیقه) درجه روشنی بیشترین مقدار خود را دارا می‌باشد



شکل ۴ تغییرات ماتی کاغذهای دست‌ساز حاصل از تیمارهای شاهد و آنزیمی روزنامه‌های باطله را نشان می‌دهد.



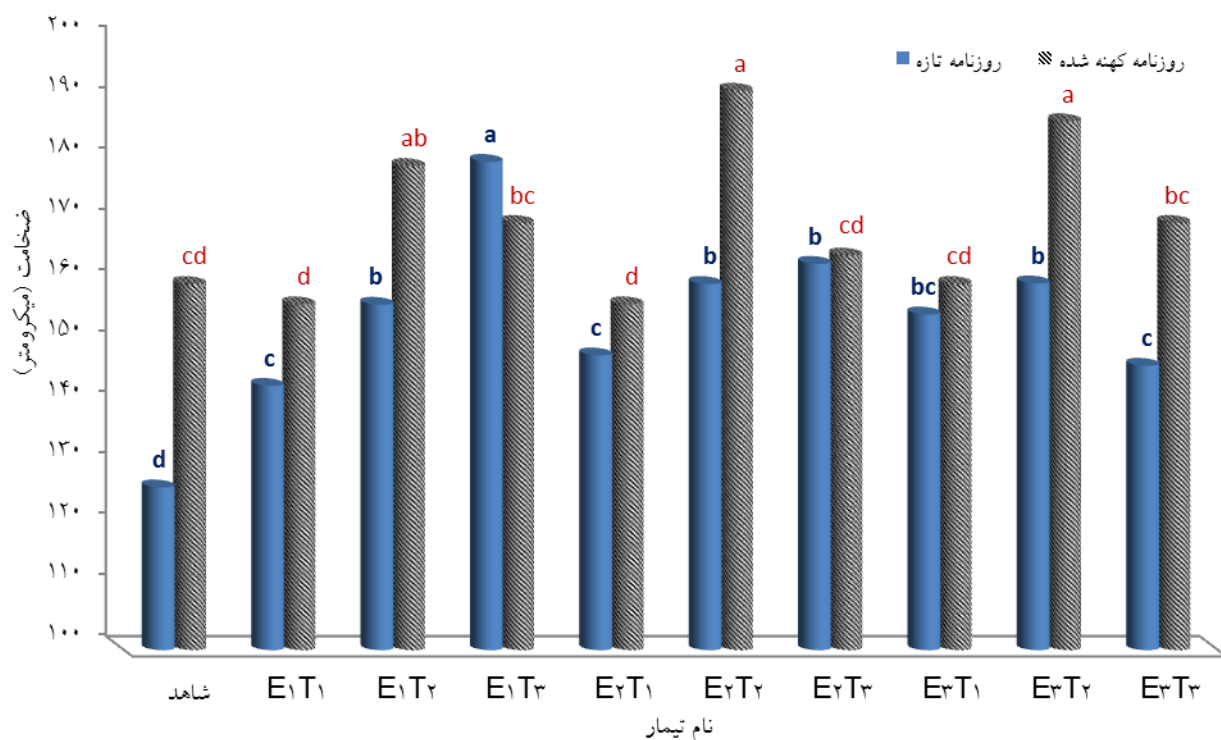
شکل ۴- تغییرات ماتی کاغذهای دست‌ساز حاصل از تیمار روزنامه‌های باطله

تیمار آنزیمی با زدودن میکرو فیبریل‌های سطح الیاف موجب کاهش اتصالات بین الیاف می‌شود کاهش ماتی در تیمارهای آنزیمی نسبت به نمونه شاهد، طبیعی به نظر می‌رسد (Bajpai, 1998). دلیل اصلی کاهش کمتر ماتی در روزنامه‌های کهنه شده، زدوده شدن کمتر مرکب‌ها نسبت به کاغذهای تازه می‌باشد که وجود لکه‌های مرکب موجب در این خمیرها ماتی بیشتر را سبب می‌شود.

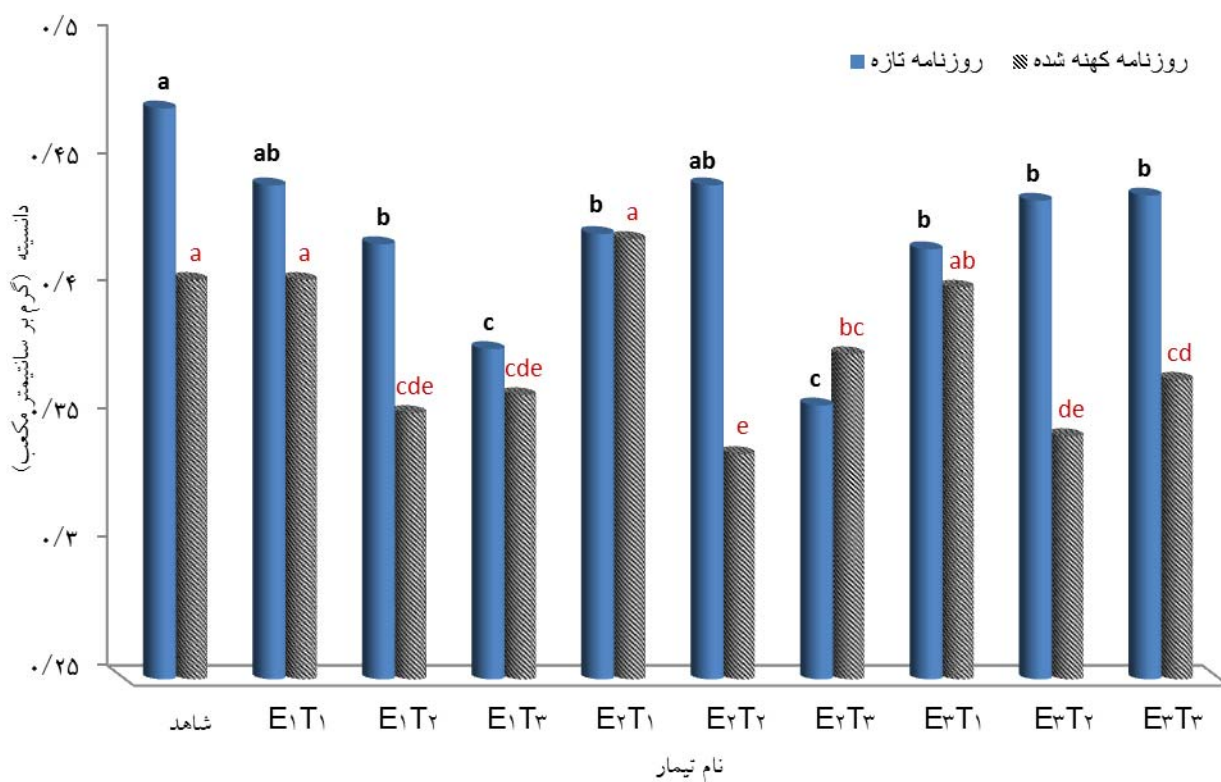
شکل ۵ تغییرات ضخامت کاغذهای دست‌ساز حاصل از تیمارهای شاهد و آنزیمی روزنامه‌های باطله را نشان می‌دهد.

در بیشتر منابع از ماتی به عنوان شاخص مهمی برای ارزیابی مرکب‌زدایی آنزیمی یاد شده است. با این حال نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد تیمار آنزیمی موجب کاهش معنی‌داری در مقدار ماتی می‌شود و این کاهش در کاغذهای کهنه شده به روشنی کمتر از کاغذهای تازه است. به طور کلی عواملی مانند پرکننده‌ها، مواد رنگی، مرکب‌های موجود در ترکیب خمیرهای بازیافتی و اتصالات و فضاهای خالی بین الیاف بر مقدار ماتی تاثیر دارند (Afra, 2002). با توجه به اینکه طی فرآیند مرکب‌زدایی مرکب، مواد پرکننده و مواد رنگی از ساختار خمیر کاغذ زدوده می‌شوند و همچنین با توجه به اینکه





شکل ۵- تغییرات ضخامت کاغذهای دست‌ساز حاصل از تیمار روزنامه‌های باطله



شکل ۶- تغییرات دانسیته کاغذهای دست‌ساز حاصل از تیمار روزنامه‌های باطله

می‌توان به کاهش اتصال بین الیاف در نتیجه زوده شدن میکرو فیبریل‌ها نسبت داد. از آنجا که کهنه شدن الیاف

نتایج نشان می‌دهد تیمار آنزیمی موجب افزایش ضخامت کاغذهای دست‌ساز گردیده که علت آنرا

میزان انعطاف‌پذیری و درهم ریختگی<sup>۱</sup> الیاف را کاهش می‌دهد، کاغذهای دست ساز حاصل از روزنامه‌های کهنه شده ضخامت بیشتری را نسبت به نمونه‌های تازه نشان می‌دهند. علاوه بر این به دلیل کمتر بودن میزان مرکب‌زدایی در کاغذهای کهنه شده نسبت به کاغذهای تازه، وجود لکه‌های مرکب بیشتر مانع اصلی ایجاد اتصالات بین الیاف شده، در نتیجه ضخامت و بالک کاغذها افزایش یافته است.

شکل ۶ تغییرات دانسیته کاغذهای دست ساز حاصل از تیمارهای شاهد و آنزیمی روزنامه‌های باطله را نشان می‌دهد.

اطلاعات حاصل از تغییرات دانسیته نیز نتایج ضخامت را تایید می‌نماید، به طوری که در کاغذهای تازه چاپ شده به دلیل بیشتر بودن میزان انعطاف‌پذیری الیاف در نمونه‌های تازه و همچنین اتصال بیشتر الیاف نسبت به نمونه‌های کهنه شده، کاغذهای به دست آمده دانسیته بیشتری را نشان دادند.

### بحث و نتیجه‌گیری

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت کهنه شدن روزنامه‌های باطله علاوه بر کاهش قابلیت مرکب‌زدایی از روزنامه‌های باطله اثرات منفی قابل توجهی بر روی ویژگی‌های نوری خمیر کاغذ حاصل دارد. نتایج نشان داد که در مقایسه با تیمار شاهد، تیمار آنزیمی بر روی کاغذهای کهنه شده نیز مانند روزنامه‌های تازه موثر است. همچنین به دلیل کاهش اتصالات بین الیاف کاغذ حاصل ضخامت بیشتر و دانسیته کمتری دارد که در روزنامه‌های کهنه کاهش بیشتری مشاهده گردید.

---

<sup>1</sup> Collapsability

---

## References

- Afra, E. 2002. Properties of Paper: an Introduction, 1<sup>th</sup> Ed, Agricultural Sciences Press, Translation, 392 pp. (Translated in Persian)
- Bajpai, P. 1999. Biotechnology for Environmental Protection in Pulp and Paper Industry. Springer Germany, 266 pp.
- Gullichsen, J. and Paulapuro, H. 1998. Recycled Fiber and Deinking, Book7, Papermaking Science and Technology, Fapet Oy, Helsinki, 649 pp.
- Haynes, R.D. 2000. The impact of the summer effect on ink detachment and removal. Tappi Journal 83. 56 pp.
- Haynes, D. 2008. A decade of deciphering the summer effect. Paper age magazine. May/june. 30-33.
- Pan, J. and Nguyen, K.L. 2007. Energy required for detachment of inks from printed newsprint in fiber slurries effects of vehicles and aging. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. Vol 3(2). 354 pp.
- Park, K. Park, J. Song, H. Shin, H. Park, J. and Ahn, J. 2002. Biological Reprocessing of Mixed Office Waste (MOW) Using Modified Cellulase by Production of Functional Copolymer. Korean Journal of Chemical Engineering. Vol 19. 285 pp.
- Rahmani nia, M. Jahan Latibari, A. Mirshokraei, S.A. and Azadfallah, M. 2008. The influence of newspaper aging on optical properties of its de-inked pulp. Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences. Vol 32. 35 pp.
- Tam, N. T., 2001. The effect of aging on deinking potential of old newspaper. MS thesis. Asian Institute of Technology. 52 pp.
- TAPPI. 2006. Standard test methods, TAPPI Press, Atlanta, GA.
- Welt, T., 1996. Enzymatic deinking effectiveness and mechanisms. Ph.D. thesis. The Institute of Paper Science and Technology. Atlanta, Georgia. 201 pp.
- Xu, Q. Fu, Y. Gao, Y. And Qin, M. 2009. Performance and efficiency of old newspaper deinking by combining cellulose/hemicellulase with laccase-violuric acid system. Waste management. Vol 29. 1486 pp.
- Zhang, X., Renaud, S., Paice, M. 2008. Cellulase deinking of fresh and aged recycled newsprint/magazine (ONP/OMG). Enzyme and microbial technology. Vol 43. 103 pp.



## Study of Enzymatic Deinking Effects on Optical and Physical Properties of Accelerated Aged Newspaper Pulp

A.Ghasemian<sup>1</sup> and M. H. Aryaie Monfared<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>Associate Prof., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran

<sup>2</sup>Ph.D Student of Pulp and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran

(Received: 26 January 2011, Accepted: 02 November 2011)

### Abstract

Enzymatic deinkability of the newly printed and accelerated aged newspapers is evaluated. Enzymatic deinking was carried out with cellulase prepared from *Aspergillus niger* in a slightly acidic medium. The results showed that in both groups of papers, enzymatic deinking led to significant changes in freeness and yield values of the pulps as well as thickness, density, brightness and opacity of the prepared handsheets as compared with those of the control sample (without deinking). In addition, comparison of the newly printed and accelerated aged newspapers showed that in the first group of papers, both enzyme value and reaction time significantly influenced pulp freeness whereas in the second group only reaction time was the influencing factor. On the other hand, no significant differences were observed between the optical and physical properties of both groups of deinked pulps, i.e., cellulase acted equivalently in deinking of both groups of papers and accelerated aging had no negative effect on its efficiency.

**Keywords:** Waste Newsprint, Accelerated aging, Enzymatic deinking, Cellulase, Optical properties, Physical properties