AMNC
available online @ amnc.aut.ac.ir
نشریه علمی پژوهشی مواد پیشرفته و پوشش‌های نوین- ۲۹ (۱۳۹۸) ۲۰۹۱-۲۰۸۲

بررسی چاپ پذیری کاغذهای چاپ شده به روش الکتروفوتوگرافی و مرکب زدایی شده به روش آنزیمی

بهاره قنبرزاده[۱]، مریم عطایی فرد[۲*]، سید مسعود اعتضاد[۳]، سعید مهدوی[۴]

۱ کارشناسی ارشد، گروه پژوهشی علوم و فناوری چاپ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران
۲ دانشیار، گروه پژوهشی علوم و فناوری چاپ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران
۳ استادیار گروه پژوهشی رنگ و محیط زیست ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران
۴ دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت:
۹۸/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش:
۹۸/۰۴/۰۴

چکیده

به دلیل افزایش روزافزون استفاده از چاپگرهای دیجیتال در مصارف خانگی و اداری، بازیافت کاغذهای چاپ شده به این روش با روشی سبز و سازگار با محیط زیست اهمیت بسیاری پیدا کرده است. مرکب‌زدایی آنزیمی به عنوان یک روش سازگار با محیط و مؤثر در جداسازی مرکب از کاغذ باطله مطرح می‌باشد. در این پژوهش از آنزیم تجاری Cellusoft CR تولید شده در شرکت Novozymes جهت مرکب‌زدایی کاغذهای چاپ شده به روش الکتروفوتوگرافی استفاده شده است. آنزیم سلولاز در سه سطح ۲/۵، ۰/۲۵ و ۰/۰۲۵ واحد به ازای ۱۵ گرم خمیرکاغذ خشک بازیافت شده از کاغذ چاپ شده و در زمان‌های ۱۵، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه و دمای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد در pH=۷ به کار گرفته شد ۱۵ تیمار برای این تحقیق تعیین شد. بعد از مرکب زدایی آنزیمی مراحل شستشو و شناورسازی انجام شده، و پس از تهیه کاغذ دست‌ساز، خواص نوری و چاپ‌پذیری مجدد نمونه‌ها بررسی شد. نتایج L* a* b*، انعکاس و دانسیته چاپ نشان داد که در کاغذهای مرکب‌زدایی شده، چاپ پذیری و کیفیت چاپ مجدد در محدوده قابل قبول می‌باشد.

واژگان کلیدی: مرکب زدایی، آنزیم، چاپ پذیری، دانسیته نوری، الکتروفوتوگرافی

عهده دار مکاتبات: ataeefard-m@icrc.ac.ir

www.SID.ir

AMNC

Investigating the Printability of Enzyme Deinking Electrophotographic Printed Paper

B. Ghanbarzadeh[1], M. Ataeefard[2*], S.M. Etezad[3], S. Mahdavi[4]

1. MSc. Student, Institute for color and Science and Technology (ICST), Tehran, Iran
2. Associate Professor, Department of Printing Science and Technology, Institute for Color Science and Technology, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor, department of environmental research, Institute for Color Science and Technology, Tehran, Iran
4. Associate Professor, Wood and Forest Product Division, Research Institute of Forest and Rangeland, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Abstract

Because of increasing in consumption of digital printers in home and office uses it is important to recycle these papers in a green and sustainable way. Enzyme deinking is an eco-friendly and effective deinking method. In this paper enzyme deinking of electrophotography papers done with commercial cellulose, cellusoft CR supplied from Novozymes Company. The enzyme was applied in three doses including 2.5, 0.25, and 0.025 U on 15 g recycled oven dry pulp prepared from printed paper. Reaction temperature and time were used at of 30, 45, 60 ˚C and 15, 60, 120 min, respectively.15 treatments were intended for this study. Washing and floatation of pulp carried out after enzyme treatment and then optical properties and reprinting of handsheet was evaluated. Measurement of CIE L*a*b*, reflection and optical density showed that printability and print quality after enzyme deinking is acceptable.

Keywords

Enzyme Deinking, Paper Recycling, Electrophotography Printing

www.SID.ir

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر مفهوم توسعه پایدار اهمیت بسیاری را از لحاظ سیاسی و اجتماعی پیدا کرده‌است. یکی از جنبه‌های مهم توسعه پایدار، صنعت سبز و استفاده از مواد زیست تخریب پذیر و بازیافتی است که تأثیرات منفی روی محیط زیست و مصرف آب و انرژی را کاهش می‌دهد [۱].

بازیافت کاغذ و سایر محصولات مرتبط کاغذی برای رشد اقتصادی پایدار بسیار مهم است. بازیافت کاغذ باعث کاهش هزینه‌ها و انرژی لازم برای تولید کاغذ شده و مصرف منابع طبیعی گرانبها (چوب، آب، مواد معدنی و سوخت‌های فسیلی) را کاهش می‌دهد. فناوری بازیافت در سال های اخیر بهبود یافته و پیشرفت‌هایی را در زمینه خمیر سازی، شناورسازی، تصفیه، غربال‌گری و مرکب‌زدایی داشته است و در نتیجه آن کیفیت کاغذ بازیافتی به کاغذ تهیه شده از الیاف بکر نزدیک‌تر شده است [۲و۳].

در واقع مرکب‌زدایی قلب فرآیند بازیافت کاغذ است که کیفیت محصولات نهایی به این مرحله بستگی دارد. بسیاری از روزنامه‌ها و دستمال کاغذی به طور صد در صد از خمیر مرکب‌زدایی شده تهیه می شوند و خمیر مرکب‌زدایی شده جایگزین مناسبی برای تولید کاغذهای با اندود کم (LWC) در چاپ افست و همچنین کاغذ چاپ برای مصارف اداری و خانگی است. به طور کلی فرآیند بازیافت کاغذ یکی از راه‌کارهای مهم حفاظت از محیط زیست قلمداد می‌شود [۴].

هر تن الیاف باز یافتی موجب صرفه‌جویی در مصرف حدود ۱۷ اصله درخت به اضافه انرژی مربوط به خمیرسازی از چوب می‌شود و آلودگی هوا و محیط زیست، ناشی از تولید زباله و سوزاندن آن را کاهش می‌دهد. در مقایسه با تولید خیر کاغذ بکر از چوب، به ازای هر تن کاغذی که بازیافت می‌شود در حدود ۳۰۰۰۰ لیتر آب و ۱۴۰۰–۱۲۰۰ کیلووات ساعت انرژی ذخیره شده و ۹۵ درصد آلودگی هوا کاهش می‌یابد [۴]. دی‌اکسیدکربن تولید شده در بازیافت کاغذ بین ۲۵ تا ۵۵ درصد نسبت به دی‌اکسیدکربن تولید شده در فرآیند تولید کاغذ از الیاف بکر کمتر است. از طرفی کاغذ بازیافتی نسبت به الیاف بکر نیاز به مراحل تصفیه کمتری دارد و کاغذ تهیه شده از الیاف بازیافتی خواص مناسبی را جهت مصرف به عنوان کاغذ چاپ دارد و کاغذهای با کیفیت مناسب را چندین مرتبه می توان بازیافت کرد [۲].

چاپ فرآیندی است که طی آن نوع خاصی از جوهر به یک سطح منتقل شده و یک متن و یا تصویر را روی آن ایجاد می‌کند. از قرون گذشته تا به امروز انواع مختلفی از چاپ با کاربردهای متفاوت مورد استفاده قرار گرفته‌اند که می توان آنها را به طور کلی به دو دسته چاپ‌های تماسی (ضربه‌ای) یا غیرتماسی (غیر ضربه‌ای)، تقسیم نمود. چاپ‌های تماسی انواعی از چاپ هستند که در آنها غلتک و یا صفحه حامل تصویری وجود دارد که نقاط تصویری و غیر تصویری بر روی آن با روش‌های فیزیکی یا شیمیایی از هم تفکیک می‌گردند [۵]. این حامل تصویر اغلب ساختار فیزیکی پایداری داشته و می‌توان به کمک آن، تعداد بسیار زیادی سطح چاپ شده را با کیفیت اولیه ایجاد نمود. در نیمه دوم قرن بیستم چاپ‌های غیر تماسی به دلیل کیفیت بالای تصاویر چاپی، سرعت بالا و مقرون به صرفه بودن به سرعت بخش وسیعی از صنعت چاپ را در انحصار خود درآوردند. در چاپ‌های غیرتماسی صفحه حامل تصویر به شکلی که در مورد چاپ‌های تماسی وجود دارد، دیده نمی‌شود [۶]. با توجه به افزایش مصرف کاغذهای چاپی به روش غیرتماسی، شامل روش‌های تصعیدی، جوهرافشان، مگنتوگرافی و یونوگرافی، در مصارف خانگی و اداری، مرکب‌زدایی از این کاغذها بسیار مورد توجه قرار گرفته‌است.

اصول مراحل چاپ در چاپگرهای دیجیتال یکسان بوده و تنها در نحوه ایجاد تصویر بر روی غلتک حامل تصویر تفاوت‌هایی وجود دارد [۵]. از آغاز فرآیند چاپ در یک چاپگر لیزری یا یک دستگاه فتوکپی، مراحلی شامل شارژ بار الکتریکی، آشکارسازی تصویر، ظهور، انتقال، تمیزکردن، تخلیه بار الکتریکی و تشکیل فیلم وجود دارد [۷]. فرآیند تشکیل فیلم به طور کلی شامل ذوب و نرم شدن ذرات تونر، چسبیدن ذرات به یکدیگر، پخش و نفوذ به داخل زیرآیند است [۸].

پرهزینه‌ترین و مشکل‌ترین بخش بازیافت کاغذهای باطله، حذف انواع مواد شیمیایی و مرکب می‌باشد [۹]. مرکب چاپ الکتروفوتوگرافی تونر نام دارد. تونری که امروزه در صنایع چاپ و فتوکپی مورد استفاده قرار می‌گیرد متشکل از رنگدانه، عامل کنترل بار الکتریکی و غالبا، بسته به نوع سامانه چاپگر و رنگ تونر مقادیر متغیر از یک ماده مغناطیسی نظیر اکسید آهن می‌باشد که این اجزاء در بستری از یک پلیمر با خواص حرارتی و شیمیایی خاص در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، مواد افزودنی جهت بهبود خواص جریان‌پذیری و تسهیل در جداسازی تونر از غلتک حامل تصویر به این مواد افزوده می‌شوند [۱۰].

با توجه به این‌که در چاپ الکتروفوتوگرافی تونر در اثر حرارت به الیاف کاغذ پیوند می‌خورد، جداسازی آن در مرحله مرکب زدایی بسیار مشکل بوده و مرکب‌زدایی از این کاغذها به روش‌های جدیدتری مانند روش آنزیمی انجام می‌شود [۷]. استفاده از آنزیم‌ها در بسیاری از صنایع نظیر تولید شوینده‌ها، صنایع لبنی، صنایع کاغذسازی و غیره اکنون به صورت تجاری معمول است. امروزه استفاده از آنزیم‌هایی مثل زایلاناز و سلولاز به دلیل کاهش مصرف آب، کاهش بار پساب، کاهش هزینه سرمایه‌گذاری اولیه تجهیزات و کاهش خطرات زیست محیطی ناشی از استفاده مواد شیمیایی مختلف برای جوهرزدایی حائز اهمیت است [۱۱].

تغییر خواص نوری و استحکامی کاغذ چاپ‌شده به روش الکتروفوتوگرافی پس از مرکب‌زدایی آنزیمی به نوع آنزیم، فعالیت و شرایط عملکرد آنزیم بستگی دارد. در مواردی دیده شده‌است که با انجام مرکب‌زدایی آنزیمی خواص استحکامی کاغذ مانند استحکام کششی، مقاومت پارگی و مقاومت ترکیدگی کاهش یافته و در مقابل روشنی کاغذ افزایش داشته است [۱۰]. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که مرکب زدایی آنزیمی کاغذهای الکتروفوتوگرافی به وسیله

www.SID.ir

یک نوع آنزیم در شرایط مناسب آنزیم و زمان تیمار روشنی کاغذ افزایش پیدا کند [۸]. همچنین دیده شده که استفاده از آنزیم سلولاز در شرایط تیمار متفاوت، نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد. به عنوان مثال مرکبزدایی با آنزیم سلولاز در pH های مختلف نتایج متفاوتی را در مورد سطح لکه و روشنی کاغذ نشان داد [۱۲].

با توجه به افزایش استفاده از کاغذهای چاپ شده به روش الکتروفوتوگرافی در مصارف خانگی و اداری و لزوم بازیافت این کاغذها، در پژوهش حاضر جهت بررسی چاپ‌پذیری تعداد ۱۵ مشخص شد و پس از مرکب زدایی کاغذهای چاپ شده به روش الکتروفوتوگرافی به وسیله آنزیم تجاری Cellusoft CR کاغذ دست‌ساز تهیه شده و خواص نوری کاغذ مرکب‌زدایی قبل و بعد از چاپ بررسی شد. همچنین برای اولین بار با اندازه‌گیری انعکاس و دانسیته چاپ، چاپ‌پذیری مجدد و کیفیت چاپ در کاغذهای مرکب‌زدایی شده به روش آنزیمی مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد، روش ها و آزمون‌ها

۲-۱- مواد

خصوصیات کاغذ: از کاغذ تحریر با جرم پایه ۸۰ g/m^2، ضخامت ۱۰۰میکرون، روشنی ۹۳% ایزو، سفیدی ۸۲% ایزو استفاده شد.

تونر: تونر مصرفی در این پژوهش تونر پودری تک جزئی مغناطیسی مشکی رنگ تهیه شده از شرکت hp می‌باشدکه تشکیل شده از ۵۰%> کوپلیمر استایرن اکریلیک، ۱۰%> پیگمنت کربن بلک، ۴۵%> عامل ایجاد بار الکتریکی اکسید آهن، ۱۵%> واکس و ۲%> سیلیکا [۱۴].

آنزیم: در این پژوهش از آنزیم سلولاز تجاری Cellusoft CR تولید شده در شرکت Novozymes، جهت مرکب‌زدایی استفاده شد.

فعال کننده سطح: فعال کننده سطح مصرفی در این پژوهش پلی سوربات ۸۰ با درصد خلوص ۹۹ درصد ساخت کشور هند می‌باشد.

۲-۲- روش‌ها

آماده سازی کاغذ: ابتدا ۵۰ درصد از مساحت کاغذ به وسیله چاپگر hp 1320 به صورت نواری چاپ شد [۱۳]. کاغذها به مدت ۲۴ ساعت در آب غوطه‌ور شدند تا الیاف کاغذ کاملا خیس شوند. سپس توسط دست به تکه‌های کوچک تبدیل شده و حدود ۲ دقیقه داخل همزن با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه هم زده شد. پس از جدا شدن الیاف، دوغاب تهیه شده را شستشو داده و بر روی الک با مش ۲۰۰ صاف کرده و خمیرکاغذ به صورت تکه‌های کوچک به مدت ۲۴ ساعت در معرض هوا خشک گردید [۱۶].

تعیین فعالیت آنزیم: با اثر آنزیم روی سوبسترا (ماده‌ای که آنزیم روی آن عمل می‌کند) سلولز هیدرولیز شده و قندهای کاهش یافته آن در دسترس قرار می‌گیرند که می‌توانند رنگ محلول DNS را تغییر دهد. رابطه‌ای خطی بین میزان قند تولید شده و شدت رنگ وجود دارد. بنابراین فعالیت آنزیم سلولاز را با سنجش میزان رنگ محلول به روش رنگ‌سنجی می‌توان تعیین نمود. فعالیت آنزیم مصرفی ۱۶/۶ FPU/ml می‌باشد که با توجه به فعالیت آنزیم، مقدار مورد نیاز از آنزیم در هر آزمایش شد [۱۷].

مرکب زدایی آنزیمی: پس از محاسبه فعالیت آنزیم و درصد رطوبت الیاف، دوغاب الیاف با درصد خشکی ۶ درصد تهیه و مرکب‌زدایی آنزیمی در محلول بافر فسفات بوسیله آنزیم سلولاز تجاری در pH خنثی، در دماهای مختلف با غلظت‌های مختلف آنزیم انجام شد. سپس، جهت خروج آنزیم شستشوی الیاف به مدت ۱۰ دقیقه روی صافی با مش ۲۰۰، با آب شهری انجام شده و در نهایت الیاف هوا خشک شدند [۱۱].

شناور سازی: شناورسازی مرکب کاغذ در سلول ۱/۵ لیتری با درصد خشکی ۰/۸ درصد و با اضافه کردن ۰/۵درصد وزنی پلی‌سوربات ۸۰ به عنوان سورفکتنت انجام شد. مدت زمان شناورسازی ۱۰ دقیقه و دور همزدن ۱۲۰۰ دور بر دقیقه تظیم گشت. ذرات مرکب با چسبیدن به کف ایجاد شده توسط حباب‌های هوا، به سطح سلول منتقل شده و به وسیله پارو از سلول شناورسازی خارج شدند. در نهایت خمیر کاغذ را روی صافی شستشو می‌دهیم و دوباره خمیر کاغذ را در معرض هوا خشک می‌کنیم [۱۰].

تهیه کاغذ دست ساز: پس از تعیین درصد رطوبت خمیرکاغذ، کاغذ دست ساز مطابق استاندارد تاپی آیین‌نامه T205 sp-02 با جرم پایه ۶۰ g/m^2 تهیه شده که پس از پرس در دستگاه خشک کن با دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت خشک شد [۱۸].

۲-۳- تعیین ویژگی‌های فیزیکی

جرم پایه: کاغذها با اندازه‌گیری جرم و سطح کاغذهای دست‌ساز طبق استاندارد تاپی آیین‌نامه T410 om-02 انجام شد [۱۹].

۲-۴- تعیین ویژگی‌های نوری

مؤلفه‌های نوری کاغذهای دست‌ساز شامل مقدار روشنی (L*)، مقدار (a*) مشخصه رنگ کاغذ از لحاظ قرمز (+) و سبز (−) بودن و مقدار (b*) مشخصه رنگ از لحاظ آبی (−) و زرد (+) بودن طبق آیین نامه T-524، و همچنین ماتی کاغذ طبق آیین‌نامه T-519 به وسیله دستگاه رنگ‌سنج 2B-A colorimeter قبل و بعد از چاپ اندازه‌گیری شد [۲۰و۲۱]. انعکاس کاغذ به وسیله دستگاه هانترلب ساخت کشور آمریکا قبل و بعد از چاپ اندازه‌گیری شد. دانسیته چاپ توسط دستگاه اندازه‌گیری دانسیته چاپ، Ihara p300 ساخت کشور آمریکا برای بررسی چاپ‌پذیری و کیفیت چاپ کاغذهای مرکب زدایی شده قبل و بعد از چاپ انجام شد.

۳-نتایج و بحث

نتایج به دست آمده در دو بخش بررسی شده است که شامل نتایج

www.SID.ir

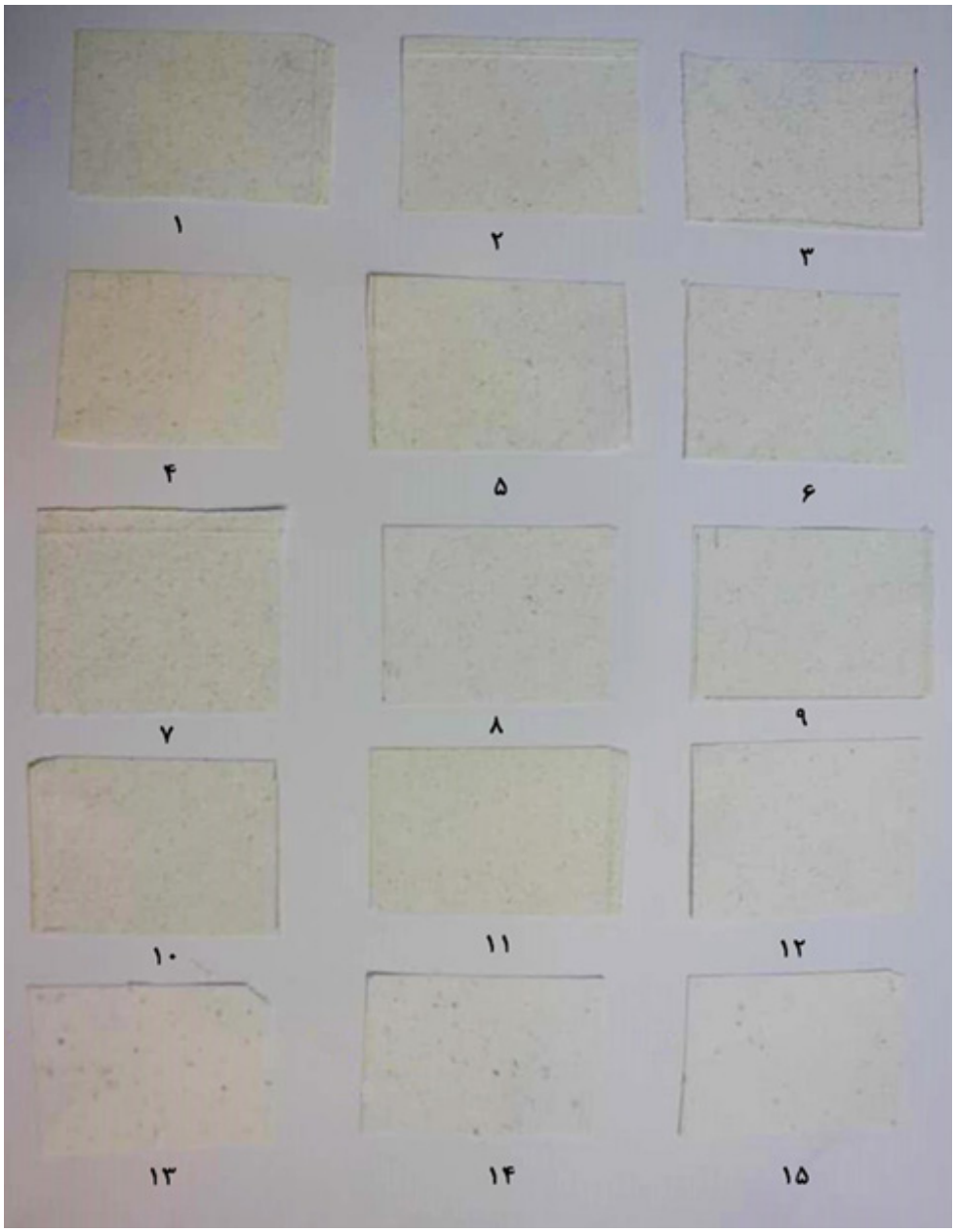
کاغذ مرکب‌زدایی شده پیش از چاپ و نتایج کاغذ مرکب زدایی شده پس از چاپ می‌باشد.

۳-۱- نتایج کاغذ مرکب زدایی شده قبل از چاپ

در ابتدا نور منعکس شده از سطح کاغذ مرکب‌زدایی شده و نمونه شاهد که هیچ تیماری روی آن انجام نشده‌است، قبل از چاپ، در طول موج‌های ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شده و نمودار آن رسم شد (شکل ۲). همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود در طول موج‌های ۴۲۰ تا ۵۰۰ نانومتر انعکاس نمونه شاهد از سایر نمونه‌ها بیشتر است و در طول موج های ۵۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر سایر منحنی ها با یکدیگر و با نمونه شاهد هم‌پوشانی خوبی دارند. نمودارهای زیر انعکاس نمونه شاهد و نمونه‌های آزمایش را نشان می‌دهد که در یک نمودار بازه انعکاس از صفر تا ۱۰۰ تغییر می‌کند و هم‌پوشانی نمودارها را نشان می‌دهد و در یک نمودار برای وضوح بیشتر بازه انعکاس ۳۰ تا ۱۱۵ در نظر گرفته شده‌است. با توجه به همپوشانی نمودارهای انعکاسی می‌توان نتیجه گرفت که در مرکب‌زدایی آنزیمی رنگ کاغذ تغییر چندانی را نداشته اشت.

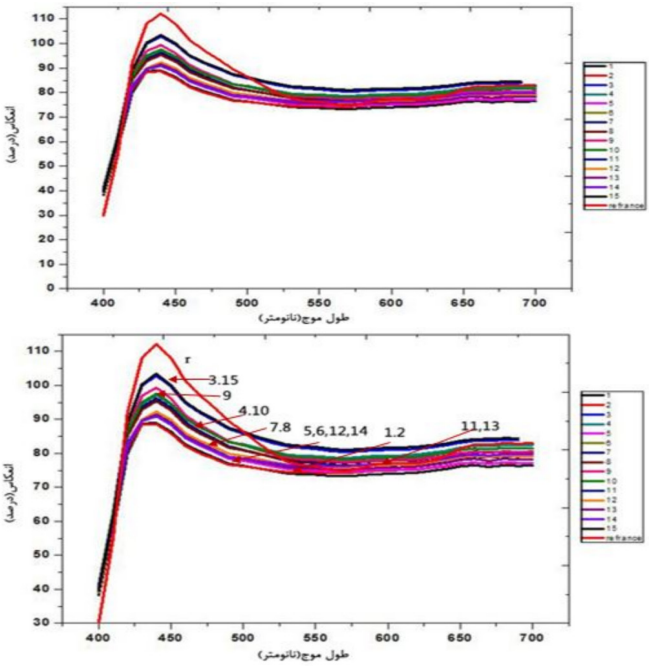
جدول ۱ مقادیر مؤلفه‌های نوری را برای کاغذ مرکب زدایی شده قبل از چاپ نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود مقدار روشنی برای کاغذ



شکل ۱: تصویر کاغذهای مرکب زدایی شده پیش از چاپ

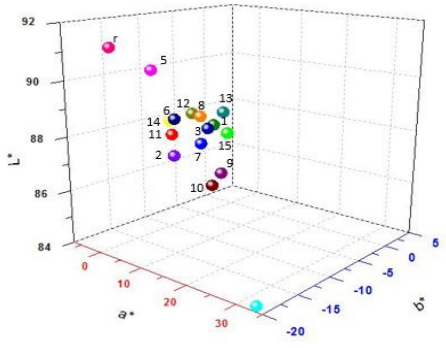
www.SID.ir



شکل ۲: نمودار انعکاس کاغذ مرکب زدایی شده پیش از چاپ

جدول ۱: مقادیر مؤلفه‌های نوری کاغذ مرکب زدایی شده

شماره آزمون	L*	a*	b*
۱	۸۸	۵/۰۷	-۱۲/۵۵
۲	۸۷/۸	۹	-۶/۸
۳	۸۸	۱۲/۷۷	-۱۳/۲۲
۴	۸۴/۲	۳۳/۸۸	-۲۰
۵	۸۹/۹	-۶	-۹
۶	۸۸/۴	۳/۴	-۱۱/۸
۷	۸۸	-۳/۵	-۴/۳
۸	۸۸/۵	۴/۳۹	-۱۱/۸
۹	۸۷	۱۵/۹	-۱۲/۴
۱۰	۸۶	۹/۳	-۹/۴
۱۱	۸۸	۵/۶	-۶/۷
۱۲	۸۹	۱۴	-۱۰/۸
۱۳	۸۸/۸۵	۱۷/۷	-۱۵/۴
۱۴	۸۹	۱۳/۳	-۱۳/۶
۱۵	۸۸	۱۴/۷	-۱۸
کاغذ سفید دست‌ساز	۹۱	-۵/۳۶	-۱۵



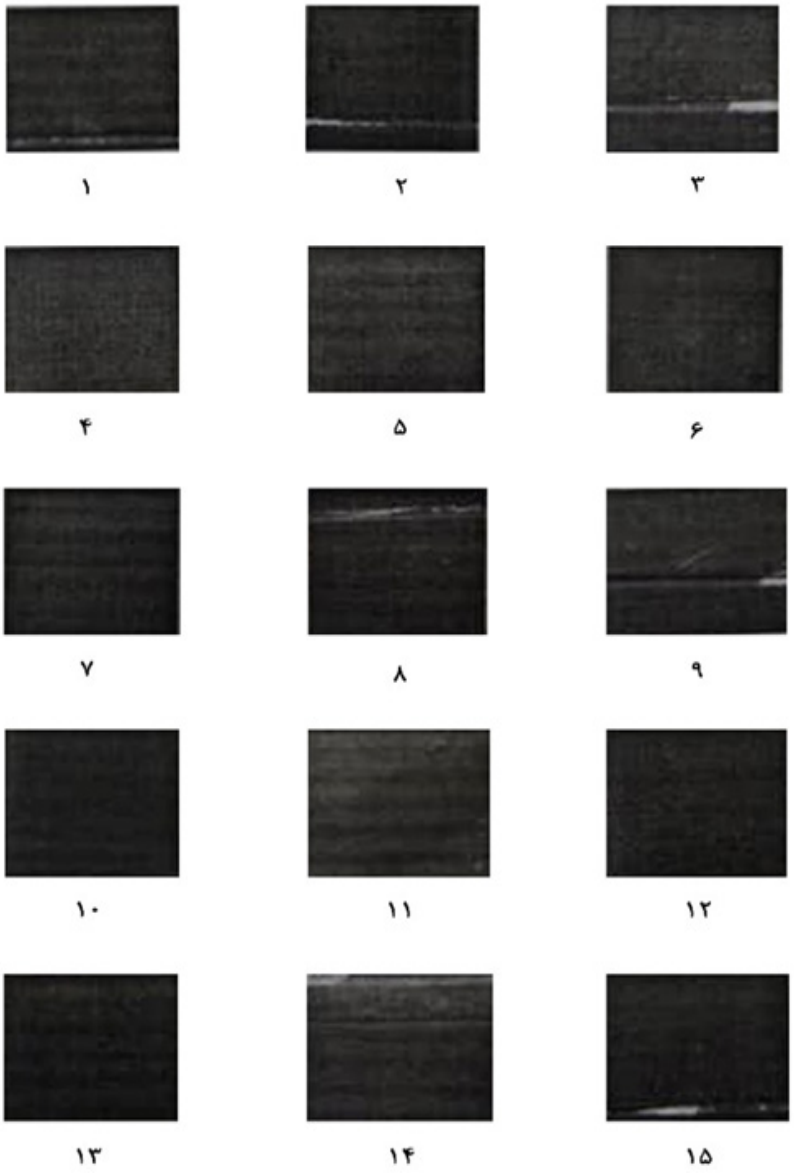
شکل ۳: نمودار سه بعدی مؤلفه‌های نوری کاغذ مرکب زدایی شده (اعداد داخل تصویر شماره نمونه‌ها می‌باشد)

www.SID.ir

سفید بدون چاپ ۹۱ می‌باشدکه مقدار روشنی آن نسبت به تمام نمونه‌های تیمار شده بیشتر است. از لحاظ رنگی کاغذ سفید در محدوده سبز و آبی است. تمام نمونه‌ها از لحاظ شاخص *b در محدوده آبی قرار دارند. نمونه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ از لحاظ شاخص *a در محدوده قرمز قرار داشته و نمونه‌های ۵ و ۷ در محدوده سبز قرار دارند که به طور کلی می‌توان گفت پس از مرکب‌زدایی رنگ کاغذ دچار تغییر شده است و طیف رنگی از آبی و سبز به آبی و قرمز تغییر یافته است. شاخص *L بین ۸۴ تا ۸۹ می‌باشد که در اکثر موارد در مقایسه با کاغذ سفید بدون چاپ تغییر چندانی نداشته است. نمونه ۱۲ با داشتن L*=۸۹ شبیه‌ترین نمونه مرکب‌زدایی شده به کاغذ سفید بدون چاپ از نظر شاخص *L می‌باشد. از لحاظ شاخص *b هر دو در محدوده آبی قرار دارند، اما از لحاظ شاخص *a، نمونه ۱۲ در محدوده قرمز و کاغذ سفید بدون چاپ در محدوده سبز قرار دارد. نمودار مقادیر L*a* b* کاغذ مرکب‌زدایی شده به صورت شکل ۳ رسم شده است.

۳-۲- نتایج کاغذ مرکب زدایی شده و چاپ شده

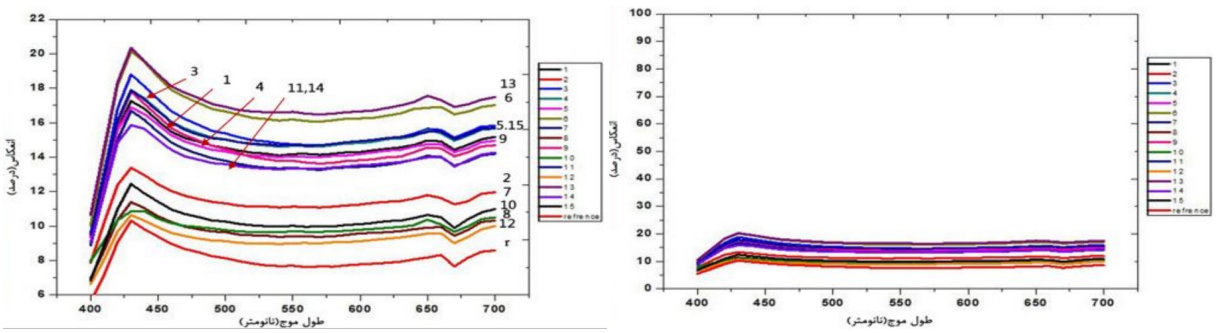
به‌وسیله چاپگر hp 1320 با تونر مشکی روی کاغذهای مرکب‌زدایی شده مجدداً چاپ و انعکاس نمونه‌ها اندازه گیری شد. منحنی انعکاسی برای جسم سیاه ایده آل یک منحنی تخت با انعکاس صفر می‌باشد، که چنین چیزی امکان پذیر نمی‌باشد. با



شکل ٤: شکل کاغذهای چاپ شده پس از تیمار آنزیمی

www.SID.ir

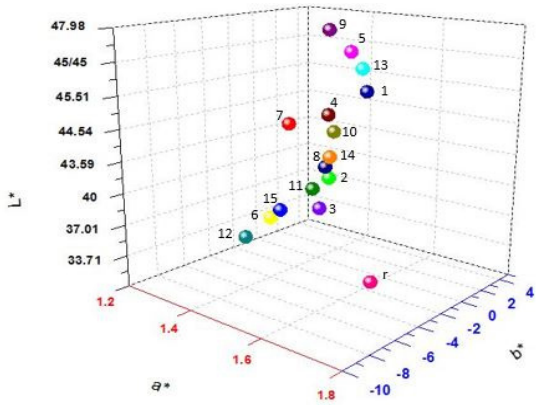
توجه به نمودار شکل ۵، تمام نمونه‌ها در محدوده آبی و قرمز جذب دارند و رنگ مشکی کمی قرمز شده است. انعکاس نمونه‌ها از نمونه شاهد بیشتر می‌باشد که نشان می‌دهد جذب مرکب روی سطح کاغذ کاهش یافته است. نمونه ۱۲ نزدیک‌ترین طیف انعکاسی را نسبت به نمونه شاهد داشته و بین کاغذهای مرکب‌زدایی شده بیشترین جذب مرکب را دارد. نمونه ۱۳ بیشترین انعکاس را در تمام طول موج‌ها داشته و کمترین جذب مرکب را دارد (شکل ۵). شرایط تیمار آنزیمی برای نمونه شماره ۱۲، ۱۲۰، ۳۰ و ۰/۱۵ به ترتیب برای زمان و دمای تیمار آنزیمی و مقدار آنزیم می‌باشد، و برای نمونه شماره ۱۳، ۱۵، ۳۰ و ۰/۱۵ می‌باشد. همان‌طور که دیده



شکل ۵: نمودار انعکاس کاغذ مرکب زدایی شده و چاپ شده

جدول ۲: مقادیر مؤلفه‌های نوری برای کاغذهای چاپ مجدد

شماره آزمون	L*	a*	b*
۱	۴۵/۵۱	۱/۶۴	-۹/۰۳
۲	۴۳/۵۱	۱/۵۳	-۲/۸۶
۳	۳۷/۰۱	۱/۳۸	-۲/۶۴
۴	۴۵/۴۵	۱/۶۳	-۳/۳۲
۵	۴۷/۴۸	۱/۶۲	-۳/۹۴
۶	۳۶/۱۹	۱/۳۳	-۲/۱۰
۷	۴۴/۵۴	۱/۵۵	-۳/۰۹
۸	۴۳/۵۹	۱/۵۵	-۳/۷۶
۹	۴۷/۹۸	۱/۵۵	-۳/۴۸
۱۰	۴۴/۷۶	۱/۵۴	-۳/۲۳
۱۱	۴۰	۱/۴۸	-۲/۷۴
۱۲	۳۳/۴۸	۱/۲۴	-۱/۹۳
۱۳	۴۵/۷	۱/۶۷	-۴/۲۷
۱۴	۴۴/۲۸	۱/۵۹	-۴/۶۰
۱۵	۳۸/۱	۱/۵۱	-۳/۰۵
کاغذ دست‌ساز چاپ شده	۳۳/۷۱	۱/۶۹	-۴/۳۷



شکل ٦: نمودار سه بعدی مؤلفه‌های نوری کاغذ مرکب زدایی شده و چاپ شده

www.SID.ir

می‌شود با ثابت بودن دما تیمار آنزیمی و مقدار آنزیم، با افزایش زمان تیمار آنزیمی از ۱۵ دقیقه به ۱۲۰ دقیقه، جذب مرکب و کیفیت چاپ کاهش می‌یابد، در واقع با افزایش زمان تیمار آنزیمی و سخت‌شدن شرایط از محدوده مناسب عملکرد آنزیم خارج شده و احتمال کاهش طول الیاف بیشتر می‌شود و همین موضوع روی سطح کاغذ تأثیر گذاشته و جذب مرکب کاهش می‌یابد.

از کاغذهای مرکب‌زدایی شده و چاپ شده مؤلفه‌های نوری گرفته‌شده و با نمونه چاپ شده روی کاغذ اصلی مورد مقایسه قرار گرفت. جدول ۲ مقادیر مؤلفه‌های نوری را برای کاغذهای چاپ مجدد نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۲ قسمت چاپ شده روی کاغذهای مرکب‌زدایی شده نسبت به چاپ روی کاغذ اصلی روشنی بیشتری دارد که نشان دهنده کاهش جذب مرکب مشکی روی کاغذهای مرکب‌زدایی شده است. همچنین تمام نمونه‌ها و نمونه اصلی از لحاظ طیف رنگی در محدوده قرمز و آبی قرار دارند که نتایج به دست آمده از طیف انعکاسی را تأیید می‌کند.

نسبت مقدار نور منعکس شده از سطح سفید کاغذ به نور منعکس شده از سطح چاپ شده (مشکی) کاغذ دانسیته چاپ می‌باشد[۲۱]. دانسیته چاپ کاغذ سفید مرجع و کاغذهای مرکب‌زدایی شده و چاپ اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۳ آمده است.

دانسیته چاپ نمونه شاهد ۱/۴ می‌باشد و نمونه ۱۲ بالاترین دانسیته چاپ را در بین نمونه‌ها دارد که نشان می‌دهد کیفیت چاپ آن در بین نمونه‌ها از همه بیشتر بوده‌است. این نمونه از لحاظ رنگی قبل از چاپ و بعد ازچاپ در محدوده رنگی آبی و سبز قرار دارد اما پس از چاپ درجه اشباعیت رنگ کاهش یافته‌است. از لحاظ طیف انعکاسی قبل ازچاپ نمونه ۱۲ انعکاسی پایین‌تر از نمونه شاهد دارد و درمورد طیف انعکاسی بعد از چاپ، نمونه شماره ۱۲شبیه‌ترین طیف انعکاسی را نسبت به نمونه شاهد دارد که نشان می‌دهد جذب مرکب در این نمونه بیشتر بوده و کیفیت چاپ بهتری دارد که نتایج دانسیته چاپ را تأیید می‌کند.

ماتی کاغذ معیاری است از پشت پوشی کاغذ، به این معنا که اگر ماتی کاغذ مناسب باشد، متن یا تصویر چاپ شده روی کاغذ از سمت مخالف دیده نخواهد شد. نتایج اندازه‌گیری ماتی کاغذهای مرکب‌زدایی شده در جدول ۴ نشان داده شده‌است. از آنجا که این پاسخ‌ها بسیار نزدیک به هم بوده و در محدوده مناسبی هم قرار دارند، الگوی به دست آمده در مورد این پاسخ معنی‌دار نبود. بدین معنا که متغیرهای تعریف شده تأثیری روی ماتی کاغذ نداشته‌است.

٤- نتیجه گیری

با توجه به نتایج مؤلفه‌های نوری برای کاغذ دست‌ساز بعد از مرکب‌زدایی و تغییر این شاخص‌ها، تنیجه می‌گیریم که پس از مرکب‌زدایی، رنگ کاغذ دستخوش تغییر می‌شود. شاخص روشنی

جدول ۳: دانسیته چاپ کاغذهای مرکب زدایی شده و چاپ شده

شماره نمونه	دانسیته چاپ	شماره نمونه	دانسیته چاپ	شماره نمونه	دانسیته چاپ
۱	۰/۷۶	۶	۰/۹۷	۱۱	۰/۸۷
۲	/۸۲	۷	۰/۷۸	۱۲	۱/۰۶
۳	۰/۹۵	۸	۰/۸۳	۱۳	۰/۷۶
۴	۰/۷۷	۹	۰/۹۹	۱۴	۰/۸۱
۵	۰/۷۶	۱۰	۰/۸۱	۱۵	۰/۹۶
نمونه مرجع(بدون تیمار)			۱/۴		

جدول ٤: آزمون ماتی کاغذهای مرکب زدایی شده و چاپ شده

شماره نمونه	ماتی	شماره نمونه	ماتی	شماره نمونه	ماتی
۱	۸۹/۸۵	۶	۹۷	۱۱	۹۵/۵
۲	۹۱	۷	۹۵	۱۲	۹۶
۳	۹۶/۵	۸	۹۴/۳	۱۳	۹۶/۵
۴	۹۳/۸	۹	۹۵	۱۴	۹۷/۳
۵	۹۶	۱۰	۹۴/۸	۱۵	۹۰/۷

www.SID.ir

برای کاغذ سفید مرجع ۹۱ می‌باشد، در بین نمونه‌های آزمایش نمونه شماره ۱۲ با شاخص روشنی ۸۹ نزدیک‌ترین نمونه به نمونه شاهد می‌باشد. پس از چاپ رنگ قسمت چاپ شده در تمام نمونه‌ها و نمونه شاهد یکسان بوده و در محدوده قرمز و آبی قرار دارد. شاخص روشنی نمونه ۱۲ بعد از چاپ ۳۳/۴۸ می‌باشد که نزدیک‌ترین نمونه به کاغذ شاهد با روشنی ۳۳/۷۱ می‌باشد و بین نمونه‌های آزمایش، دانسیته چاپ بیشتر (۱/۰۶) و انعکاس کمتری دارد، می‌توان گفت نمونه شماره ۱۲ که شرایط تیمار آن، زمان مرکب‌زدایی ۱۲۰ دقیقه، دمای تیمار ۳۰ درجه سانتی‌گراد و مقدار آنزیم ۰/۱۵میلی‌گرم به ازای ۱۵گرم الیاف خشک می‌باشد، از نظر خواص نوری و چاپ‌پذیری بعد از مرکب‌زدایی، بهترین شرایط را دارا می‌باشد.

۵- مراجع

[1] J. C. Cotrino, V. Ordonez,Green Technology, Lazer Developments in Enzymes for Paper Recycling.Vh Biotechnology, Page, 2011, 1630.

[2] P.Bajpai, Recycling and Deinking of Recovered Paper, Elsevier, USA, 2014.

[3] http://www.paperrecycles.org/statistics/recovery-of-printing-writing-papers.

[4] D. Kumar, R. K. Jain, N. Garge, Enzymatic deinking of ONP-an effective way of producing quality newsprint, Octa journal of environmental research. ISSN: 2321-3655, 2015.

[5] H. Kipphan, Handbook of print media: technologies and production methods, Springer Science & Business Media, 2001.

[6] Robert Leach, The Printing Ink Manual, 4th edition, 2012.

[7] H. AL-Rubaiey, Toner Transfer and Fusing in Electrophotography, Graphic Arts in Finland, 39(2011).

[8] B. Mirković ,I. Majnarić, S. Bolanča, Recycling Optimization of the electrophotography prints. 8th International DAAAM Baltic Conference Industrial Engineering 21 April 2012, Tallinn, Estonia.

[۹] ن. مایلی، م. طلایی پور،مرکب‌زدایی آنزیمی کاغذ روزنامه باطله با آنزیم سلولاز و لیپاز، مجله شیمی و مهندسی شیمی، شماره ۳۰ ۱۳۹۰.

[10] C. K. Lee, W. Y. Tong, D. Ebrahim, T. Arai, Y. Morata, Y, Mori. A. Kosugi, evaluation of enzymatic deinking of non-impact ink laser-printed paper using crude enzyme from penicillium rolfsii c3-2(1) IBRL, Appl Biochem Biotechnol, 2017,181(1), 451-463.

[11] A. Ragauskas, Biotechnology in the pulp and paper industry, Progress in Biotechnology, vol 21, 2002, 7-12.

[12] D.E. Tsatsis, D.K. Papachristos, K.A. Valta, A.G. Vlyssides, D.G. Economides, Enzymatic deinking for recycling of office waste paper, Journal of Environmental Chemical Engineering,vol 5,2017, 1744-1753.

[۱۳] الف. اکبرپور، ح. رسالتی، تأثیر غلظت‌های مختلف آنزیم سلولاز و لیپاز بر خواص مکانیکی و نوری خمیر مرکب‌زدایی شده کاغذ روزنامه باطله، انجمن چوب و کاغذ ایران، شماره ۱، ۱۳۹۰، ۱-۱۵

[14] SAFETY DATA SHEET, HP LaserJet CF287A-X-XC Print

[15] Cartridge ISO/TC 6/SC/WG 14, standard test method for deinkability for printed paper product, 2017.

[16] D. Olesen, L. Pedersen, H. Larsen, Suitability and limitations of methods for characterization of activity of malto-oligosaccharide-forming amylases. Carbohydr Res 2000(329), 109–119.

[17] M. M. Bradford, A rapid sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal Biochem 1976(72), 248–254.

[18] TAPPI 205 sp-02, forming hand sheet for physical tests of pulp, pulp properties, 2006.

[19] TAPPI T410 om-13, Grammage of Paper and Paperboard (Weight per Unit Area), 2013.

[20] TAPPI T 524, Color of paper and paperboard (d/0, C/2) Test Method TAPPI/ANSI T 527, 2013.

[21] TAPPI T 519, Diffuse opacity of paper (d/0 paper backing), 2006

[22] https://xritephoto.com/documents/literature/en/L7-093_Understand_Dens_en.pdf

www.SID.ir