



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی

مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد نوزدهم، شماره چهارم، ۱۳۹۱

<http://jwfst.gau.ac.ir>

## ارزیابی تأثیر زمان شناورسازی بر ویژگی‌های ظاهری خمیر کاغذ مرکب‌زدایی شده به روش شیمیایی و آنزیمی با استفاده از معادلات توانی معکوس

\*محمدهادی آریائی‌منفرد<sup>۱</sup>، حسین رسالتی<sup>۲</sup> و فرهاد زینلی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

<sup>۲</sup>دانشیار دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۸/۴/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۲۶

### چکیده

در این بررسی قابلیت مرکب‌زدایی به روش شناورسازی خمیر به‌دست آمده از کاغذهای باطله اداری تیمار شده با آنزیم سلولاز تجاری به‌دست آمده از قارچ *Aspergillus niger* و روش متداول شیمیایی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. روند تغییرات ویژگی‌های ظاهری کاغذهای به‌دست آمده از تیمارهای مختلف مرکب‌زدایی با استفاده از معادلات توانی معکوس مورد بررسی قرار گرفت. سطح توری و رویی کاغذهای دست‌ساز به‌دست آمده از خمیرهای مرکب‌زدایی شده اختلاف قابل توجهی از نظر تعداد و مساحت ذرات مرکب دارا بودند. نتایج نشان داد بیش‌ترین کاهش در تعداد ذرات مرکب و مقدار سطح پوشیده از مرکب در ۱۰ دقیقه ابتدایی شناورسازی اتفاق می‌افتد و با ادامه زمان شناورسازی از شدت زوده شدن مرکب به‌صورت توانی کاسته می‌شود. همچنین روشی کاغذهای دست‌ساز با ادامه روند شناورسازی ابتدا افزایش یافته و پس از رسیدن به مقدار حداکثر، کاهش نشان داد.

**واژه‌های کلیدی:** شناورسازی، مرکب‌زدایی شیمیایی، مرکب‌زدایی آنزیمی، سلولاز، بازیافت، معادلات توانی معکوس

\*مسئول مکاتبه: [hadiaryaie@gmail.com](mailto:hadiaryaie@gmail.com)

## مقدمه

امروزه اهداف کلی صنعت خمیر و کاغذ در جهت افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها، تکامل فرآیندهای دوست‌دار محیط زیست و بهبود کیفیت محصولات است. بیوتکنولوژی فرصت‌های جدیدی را برای بهبود فرآیندهای متداول تولید در صنایع خمیر و کاغذ ایجاد کرده است که دارای برتری‌های زیست‌محیطی و اجرایی می‌باشند (سازمان همکاری اروپا در زمینه علمی و تحقیقات فنی، ۲۰۰۴). بازیافت و استفاده از کاغذهای باطله در سراسر دنیا نیز در حال افزایش است (ویاس، ۲۰۰۴). بازیافت الیاف کاغذهای باطله می‌تواند مصرف مواد شیمیایی، آب و انرژی و همچنین مواد زاید تولید شده در ابعاد بزرگ را کاهش دهد (جفری و چارتمن، ۱۹۹۸؛ دینس و همکاران، ۲۰۰۲). یکی از مراحل مهم در فرآیند بازیافت کاغذ و استفاده دوباره از آن در فرآورده‌هایی چون روزنامه و چاپ و تحریر، مرکب‌زدایی است. در سال‌های اخیر توجه محققان در سطح بین‌المللی به‌سوی بهینه‌سازی و یافتن راه‌های جدید در زمینه زدودن آلاینده‌ها به‌ویژه مرکب از کاغذهای باطله معطوف شده است (باجپای، ۱۹۹۸).

سخت‌ترین ماده خام برای مرکب‌زدایی، مخلوط کاغذهای باطله اداری<sup>۱</sup> می‌باشد که بخش عمده این منبع فیبری توسط دستگاه‌های فتوکپی و پرینترهای لیزری که مرکب را به الیاف جوش می‌دهند چاپ شده، که باعث سختی زدودن آن‌ها با روش‌های شیمیایی متداول گردیده است. در واقع کاغذهای باطله اداری منبعی از الیاف با کیفیت هستند که فرآیند چاپ بر روی آن‌ها انجام شده است و اگر مرکب‌زدایی بر روی آن‌ها انجام شود می‌توان از آن‌ها برای تولید کاغذهای با ارزش و انواع مختلفی از محصولات فیبری استفاده نمود (باجپای، ۱۹۹۸). علاوه‌بر این، مرکب‌زدایی ذرات تونر به‌علت اتصال قوی آن‌ها که کاپلیمرهای استایرن و اکریلات هستند و طی فرآیند چاپ و تحت گرما ایجاد می‌شود حتی با به‌کارگیری مراحل شناورسازی و شستشوی اضافه در روش متداول شیمیایی نیز کارایی اندکی دارد (مارکوئیز و همکاران، ۲۰۰۳؛ ویاس، ۲۰۰۴).

شستشو و شناورسازی از معمول‌ترین روش‌های زدودن مرکب از الیاف بازیافتی هستند. این دو روش بیش‌تر در ترکیب با یکدیگر برای زدودن دامنه گسترده‌ای از انواع و ابعاد ذرات مورد استفاده قرار می‌گیرند. مرکب‌زدایی از طریق شستشو، شامل شستشوی خمیر بیش‌تر در حضور مواد شیمیایی مرکب‌زدایی و پس از آن آب‌گیری است. این روش برای زدودن ذرات بسیار ریز (زیر ۳۰ میکرومتر)، به‌ویژه اگر مانند نرمه‌ها، پرکننده‌ها و بعضی از مرکب‌ها و مواد چسبناک آب‌دوست باشند بسیار مفید است.

### 1- Mixed Office Waste

شناورسازی شامل عبور حباب‌های هوا از میان خمیر و در حضور مواد شیمیایی مرکب‌زدایی است. شناورسازی بهترین روش برای زدودن ذرات آب‌گریز است که ترجیحاً خود را به حباب‌های هوا می‌چسبانند. در روش شناورسازی ذرات بزرگ‌تری نسبت به روش شستشو جداسازی می‌شوند، که معمولاً دامنه ابعادی ۱۰-۲۵۰ میکرومتر را دارا می‌باشند. برخی از سیستم‌های شناورسازی حتی توانایی زدودن ذراتی با قطر بالای ۵۰۰ میکرومتر را نیز دارا می‌باشند (کارلتون، ۲۰۰۴).

زوو و همکاران (۱۹۹۸) با استفاده از یک روش ابداعی به‌جای افزودن ماده کف‌زا به‌صورت مستقیم به سوسپانسیون خمیر پیش از شناورسازی، از یک اسپری‌کننده تحت فشار برای اسپری محلول کف‌زا از بالای ستون شناورسازی طی عمل شناورسازی استفاده نمودند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد این روش می‌تواند حدود ۵۰ درصد از هدررفت الیاف، ۷۵ درصد در هدررفت آب و ۹۵ درصد مصرف کف را بدون تغییر در کارایی مرکب‌زدایی کاهش دهد.

مرکب‌زدایی خمیرهای بازیافتی معمولاً در یک سلول شناورسازی مجهز به هم‌زن انجام می‌شود. در یک پژوهش از سلول شناورسازی دارای یک ستون بدون هم‌زننده برای مرکب‌زدایی از پس‌زده‌های سلول شناورسازی متداول استفاده شد. نتایج آزمایش‌های نشان داد، امکان مرکب‌زدایی مخلوط از کاغذهای چاپ شده با دستگاه کپی و چاپگرهای لیزری در سلول شناورسازی ستونی وجود دارد. عملکرد سلول‌های ستونی آن‌چنان‌که از طریق اندازه‌گیری روشنی خمیرها و پراکنش ابعادی ذرات مرکب نتیجه‌گیری می‌شود، با نتایج به‌دست آمده از سلول آزمایشگاهی متداول که شامل اختلاط شدید می‌باشد، قابل مقایسه است. بنابراین مشخص شد که هم‌زن را می‌توان با استفاده از طراحی شناورسازی ستونی حذف نمود که خود می‌تواند باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی الکتریکی، علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه‌های سرمایه‌گذاری و سایر هزینه‌های عملیاتی و نگهداری شود (چی‌یارکی و همکاران، ۲۰۰۰).

ماکرینس و همکاران (۲۰۰۴) اثر تخلیه الکترویهیدرولیکی را بر روی کارایی مرکب‌زدایی بررسی نمودند. تخلیه جرقه پراثری در زیر آب، یک موج ناگهانی به‌وجود می‌آورد که در میدان صوتی ایجاد شده پراکنده می‌شود. رادیکال‌های هیدروکسیل ایجاد شده توسط این میدان قادرند تا به آرامی سطوح مرکب و ذرات تونر معلق در آب را اکسید کنند و از این طریق از پتانسیل آن‌ها بکاهند. که موجب کاهش تمایل ذرات برای اتصال به الیاف که دارای بار مخالف هستند می‌شود. مطالعات نیمه‌صنعتی نشان داد که ایجاد جرقه الکتریکی در خمیر به‌دست آمده از روزنامه و مجله باطله موجب کاهش مقدار مرکب باقی‌مانده بر روی الیاف به‌میزان ۲۱ درصد و افزایش روشنی در حدود ۱ درصد شده و از

اتلاف الباف در حدود ۱ درصد هنگامی که خمیر تیمار شده بلافاصله از طریق شناورسازی مرکب‌زدایی شود می‌کاهد. همچنین آن‌ها گزارش نموده‌اند اگر ایجاد جرقه طی شناورسازی انجام شود، به‌علت این که موج ناگهانی موجب تغییر پراکنش ابعاد حباب‌های هوا می‌شود هیچ برتری نخواهد داشت (ماکرینس و همکاران، ۲۰۰۴).

فائزی‌پور و همکاران (۲۰۰۶) مرکب‌زدایی روزنامه‌های باطله و کاغذهای باطله اداری را به روش آکواسول (تعلیق در محیط آبی) مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد بیش‌ترین روشنی در زمان ماندگاری ۴ ساعت، دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و سن چاپ ۶ ماه در هر دو نوع کاغذ روزنامه باطله و باطله اداری به‌دست می‌آید. آن‌ها زایلان را به‌عنوان بهترین حلال معرفی نمودند.

آریائی‌منفرد و همکاران (۲۰۱۰) مرکب‌زدایی آنزیمی از کاغذهای چاپ شده توسط دستگاه زیراکس را با استفاده از آنزیم سلولاز تجاری به‌دست آمده از قارچ *Aspergillus niger* مورد بررسی قرار دادند. تیمار آنزیمی در شرایط مقدار ثابت ۰/۱ درصد آنزیم براساس وزن خشک خمیر (۱۰۲ واحد به‌ازای ۱۰۰ گرم خمیر خشک) و زمان ثابت ۱۵ دقیقه، در ۴ سطح متفاوت pH ۴، ۵/۷، ۸ و ۹ انجام شد و تأثیر آن بر روی ویژگی‌های ظاهری و مقاومتی خمیر و کاغذ مرکب‌زدایی شده به روش شناورسازی با نمونه‌های شاهد و نمونه‌های به‌دست آمده از روش متداول شیمیایی مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد در بین تیمارهای آنزیمی تیمار در pH برابر ۸ از نظر ویژگی‌های ظاهری نتایج بهتری داشته و موجب بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای دست‌ساز به‌دست آمده نسبت به نمونه‌های به‌دست آمده از تیمار شیمیایی شد.

هدف از انجام این پژوهش مطالعه و مقایسه تغییرات در ویژگی‌های خمیر کاغذهای باطله اداری تیمار شده به کمک مواد شیمیایی و آنزیم سلولاز، طی فرآیند شناورسازی است تا بتوان مدت زمان کافی شناورسازی برای هر کدام از این تیمارها را به درستی مشخص نمود. به همین منظور مدل‌های توانی برای بیان ارتباط بین داده‌ها انتخاب گردید. استفاده از مدل‌های توانی برای توصیف روابط بین دو متغیر کمی روشی مناسب و توصیه شده در منابع معتبر آماری بوده و استفاده از آن برای بیان روابط آلومتریک در ایجاد مدل‌های آماری پیش‌تر نیز مورد استفاده قرار گرفته است (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶). استفاده از چنین مدل‌هایی در بررسی روند تغییرات ویژگی‌های خمیر بازیافتی طی فرآیند شناورسازی گامی نو در توصیف تیمارهای کمی و همچنین جلوگیری از انجام تیمارهای اضافی است که خود در صنعت نیازمند صرف هزینه و وقت زیادی است.

## مواد و روش‌ها

**مواد اولیه:** کاغذهای مورد استفاده در این پژوهش، کاغذهای چاپ شیمیایی معمول موجود در بازار با نام تجاری کپی‌لوکس<sup>۱</sup> بود. برای تهیه نمونه‌های آزمون‌ی توسط دستگاه کپی‌شارپ مدل SF-۲۰۳۰، بر روی کاغذهای سفید یک طرح شطرنجی مشخص چاپ شد که ۵۰ درصد از سطح کاغذ را از مرکب پوشاند.

آنزیم سلولاز نیز پودری تجاری با فعالیت ۱/۰۲ واحد به‌ازای هر میلی‌گرم IU بر میلی‌گرم محصول شرکت فلوکا، ژاپن و میکروارگانیزم تولیدکننده آن قارچ *Aspergillus niger* بود. یک واحد فعالیت آنزیم مقداری از آن است که در هر دقیقه موجب آزادسازی ۱ میکرومول قند کاهش یافته از ماده زمینه شود (پارک و همکاران، ۲۰۰۲). ماده فعال‌ساز سطحی نیز صابون اولئیک اسید با نام پلی‌سوربات ۸۰ محصول شرکت فلوکا ژاپن بود. مواد شیمیایی مورد استفاده نیز عبارت بودند از: سود سوزآور، پراکسید هیدروژن، کلرید کلسیم، سیلیکات سدیم و ماده کی‌لیت‌ساز<sup>۲</sup> EDTA<sup>۳</sup> که همگی ساخت شرکت مرک آلمان بودند.

**خمیرسازی مجدد:** نمونه‌های تهیه شده پس از توزین به همراه حجم مشخصی آب برای ایجاد خمیری با ۵ درصد خشکی<sup>۴</sup> به مدت ۱ ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا الیاف کاغذ کمی نرم شوند. بعد از این مدت کاغذها و آب همراه آنها به همراه مقدار ۰/۲ درصد براساس وزن خشک خمیر ماده فعال‌ساز سطحی (پلی‌سوربات ۸۰) به مدت ۱۰ دقیقه در داخل دستگاه الیاف بازکن قرار گرفتند. کاغذهای چاپ مورد استفاده در این پژوهش به دلیل داشتن پرکننده کربنات کلسیم به‌طور طبیعی pH حدود ۸ داشتند که تیمار آنزیمی نیز به دلیل فعالیت مناسب آنزیم در همین pH انجام شد (آریائی منفرد و همکاران، ۲۰۱۰). سپس از طریق آب‌گیری از خمیر به کمک الک ۳۰۰ مش درصد خشکی خمیر به ۸ درصد رسانده شد. آب زیر صافی نیز به منظور حفظ اولئیک اسید به سلول شناورسازی افزوده شد. در مرحله تیمار خمیرسازی، خمیر شامل ذرات مرکب و الیاف موجود ظروف پلاستیکی در داخل حمام آب گرم دارای دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت که در تیمارهای آنزیمی، مقادیر ۰/۰۵ و ۰/۲ درصد آنزیم سلولاز براساس وزن خشک خمیر (مقدار بهینه

- 1- Carylux
- 2- Chelating Agent
- 3- Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid
- 4- Consistency

آنزیم در آزمایش‌های اولیه تعیین شد) که معادل ۵۱ و ۲۰۴ واحد به‌ازای ۱۰۰ گرم خمیر خشک، افزوده شد و در مدت زمانی ۱۵ دقیقه به‌همراه عمل هم‌زدن تیمار انجام گرفت. در پایان این زمان برای غیرفعال نمودن آنزیم مقدار کمی پراکسید هیدروژن (حدود ۰/۱۶ درصد براساس وزن خشک خمیر) به آن افزوده شد. در تیمار شیمیایی نیز ۱ درصد (براساس وزن خشک خمیر) سود سوزآور، ۱ درصد پراکسید هیدروژن، ۰/۲ درصد سیلیکات سدیم، ۰/۳۳ درصد کلرید کلسیم، ۰/۳ درصد عامل کی‌لیت‌ساز (EDTA) به خمیر افزوده شد و در سه مدت زمانی ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه به‌همراه عمل هم‌زدن تیمار انجام شد. در تیمار شاهد همه مراحل بالا بدون حضور مواد شیمیایی و آنزیم انجام گرفت.

**شناورسازی:** خمیر با درصد خشکی ۰/۸ درصد در یک سلول شناورسازی ۲۰ لیتری ساخته شده در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان طی مراحل هم‌مین پژوهش، شناورسازی شد. طرز عمل این سلول شناورسازی براساس جداسازی ذرات مرکب در اثر اتصال به حباب‌های هوای در حال صعود در سوسپانسیون خمیر است. همه نمونه‌ها تحت جریان هوای حدود ۶ لیتر بر دقیقه، به مدت ۵۰ دقیقه شناورسازی شدند. در فاصله‌های زمانی ۵ دقیقه‌ای از سلول شناورسازی نمونه‌های مشابهی تهیه گردید که در مرحله بعد از آن‌ها طبق استاندارد (T۲۰۵om-۸۸) آیین‌نامه تاپی کاغذهای دست‌ساز استاندارد ۲±۶۰ گرم بر مترمربع تهیه گردید.

**ارزیابی مرکب‌زدایی:** ویژگی‌های نوری و ظاهری کاغذهای دست‌ساز طبق استانداردهای آیین‌نامه تاپی به شرح زیر اندازه‌گیری شد (استاندارد تاپی، ۲۰۰۶). تعداد لکه‌های مرکب (T۵۳۷om-۹۶) و سطح مرکب (T۴۳۷om-۹۶) موجود در سطح توری و رویی کاغذهای دست‌ساز و روشنی<sup>۱</sup> (T۴۵۲om-۹۸).

**روش آماری:** برای بررسی روند تغییرات هر یک از ویژگی‌های ظاهری کاغذهای دست‌ساز، اطلاعات موجود توسط نرم‌افزار اکسل<sup>۲</sup> و با استفاده از معادله توانی معکوس ( $Y=aX^{-b}$ ) رسم گردید. مقایسه بین اعداد به دست آمده از زمان‌های مختلف شناورسازی با استفاده از روش LSD<sup>۳</sup> در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد (که در نمودارها این فواصل اطمینان مشخص شده است).

1- Brightness

2- Excel

3- Least Significant Difference

## نتایج و بحث

برای توصیف رابطه بین تعداد ذرات مرکب باقی‌مانده در سطح کاغذ و زمان شناورسازی، دو سطح مقدار آنزیم و ۳ سطح زمان تیمارهای شیمیایی از یک معادله توانی معکوس ( $Y=aX^{-b}$ ) استفاده شد. ضرایب این معادله‌ها در جدول‌های مربوطه نشان داده شده است. برای بررسی مقایسه میانگین‌ها در بین زمان‌های ۵-۵۰ دقیقه بر روی نمودارها فاصله‌های اطمینان با علامت مشخص شده در جاهایی که هم‌پوشانی دیده نمی‌شود اختلاف‌های معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد اطمینان وجود ندارد. برای تشخیص این‌که آیا بین روند کاهشی جوهرزدایی در بین تیمارهای شیمیایی اختلافات معنی‌داری هست یا نه باید به سراغ جداول رفته و ضریب منفی  $b$  را با هم مقایسه کنید. به این صورت که اگر دو ضریب  $b$  با هم اختلاف معنی‌دار نداشته باشند، در فاصله‌های اطمینان‌شان هم‌پوشانی وجود دارد.

ضرایب موجود در جدول ۱ نشان‌دهنده معادلات رگرسیونی مربوط به منحنی‌های تغییرات تعداد مرکب موجود در سطح رویی کاغذهای دست‌ساز می‌باشد (شکل ۱). ضرایب همبستگی ارائه شده در این جدول نشان‌دهنده استفاده صحیح از معادله توانی معکوس ( $Y=aX^{-b}$ ) در بیان این رابطه‌ها می‌باشد. با استفاده از فاصله‌های اطمینان ۹۵ درصد مشخص می‌شود که بین دو تیمار شیمیایی ۱۵ و ۳۰ دقیقه از نظر روند کاهشی تعداد مرکب در برابر زمان اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ولی در تیمار ۴۵ دقیقه اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد با تیمار ۱۵ و ۳۰ دقیقه وجود دارد. همچنین استفاده از ۲ سطح تیمار آنزیمی در روند مرکب‌زدایی مشخص کرد که در فاصله‌های اطمینان ۹۵ درصد بین این ۲ سطح اختلاف معنی‌داری وجود دارد. شیب کاهشی این نمودارها در ۲ سطح تیمار آنزیمی ۰/۰۵ و ۰/۲ درصد در بین زمان‌های مختلف شناورسازی اختلاف معنی‌داری دارا می‌باشند.

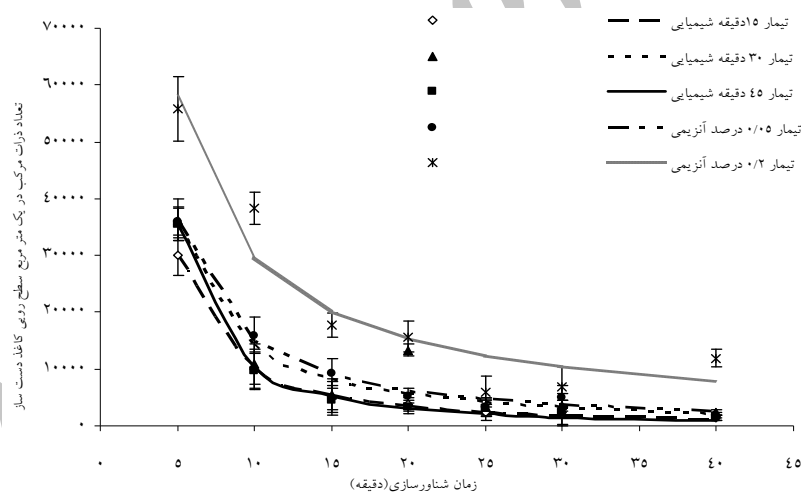
برای مقایسه بین نمونه‌های تهیه شده در فاصله‌های زمانی مشخص از مقایسه‌های میانگین با استفاده از روش LSD با سطح اطمینان ۹۵ درصد مشخص شد که در تمامی تیمارها در زمان ۵ دقیقه ابتدایی شناورسازی تعداد ذرات مرکب بیش‌ترین بوده و با افزایش زمان شناورسازی به ۱۰ دقیقه کاهش ناگهانی در تعداد ذرات مرکب دیده می‌شود و این اختلاف در تمامی تیمارها معنی‌دار بود. در تمامی تیمارهای مورد آزمایش بین زمان‌های ۵۰-۱۰ دقیقه شناورسازی اختلاف معنی‌داری در تعداد ذرات مرکب دیده نشد. با مقایسه تأثیر زمان شناورسازی بر تعداد ذرات مرکب موجود در دو سطح کاغذ به این نکته پی می‌بریم که پس از گذشت ۵ دقیقه روند کاهشی محسوس و معنی‌داری در روند مرکب‌زدایی دیده می‌شود ولی با افزایش زمان مرکب‌زدایی از ۱۰ دقیقه شیب منحنی کاهش می‌یابد و نمودار به‌سوی مماس شدن بر محور  $X$  میل خواهد نمود که نشان از حداقل کاهش تعداد ذرات

مرکب در سطح رویی کاغذ دارد. معنی‌دار نبودن اختلاف‌ها در تعداد مرکب بعد از اولین زمان نمونه‌گیری، نشان داد که ادامه زمان شناورسازی از دقیقه ۱۰ باعث ایجاد کاهش معنی‌داری در تعداد ذرات مرکب موجود در سطح رویی کاغذ نمی‌شود (شکل ۱).

جدول ۱- ضرایب (a و b) معادله توانی  $Y=aX^b$  بین تعداد مرکب و زمان شناورسازی در سطح رویی کاغذهای دست‌ساز به‌دست آمده از تیمارهای مختلف.

نام تیمار	n	a±Se	b±Se	R <sup>2</sup>
۱۵ دقیقه شیمیایی	۸	۳۶۶۶۱۶±۲۱۷۳۱	-۱/۵۶±۰/۰۳	۰/۹۹
۳۰ دقیقه شیمیایی	۸	۳۰۱۳۲۵±۱۳۳۳۸۰	-۱/۳۲±۰/۰۲۳	۰/۸۵
۴۵ دقیقه شیمیایی	۸	۶۰۴۳۸۲±۷۵۳۴۶	-۱/۷±۰/۰۷	۰/۹۸
۰/۰۵ درصد آنزیمی	۸	۲۸۰۴۸۳±۳۱۵۶۸	-۱/۲۷±۰/۰۸	۰/۹۹
۰/۲ درصد آنزیمی	۸	۲۷۱۱۶۵±۷۶۳۰۶	-۰/۹۸±۰/۱۳	۰/۷۸

n=تعداد نمونه و R<sup>2</sup>=ضریب همبستگی رگرسیون.



شکل ۱- تعداد ذرات مرکب در یک متر مربع سطح رویی کاغذ دست‌ساز.

در مورد تعداد ذرات مرکب موجود در سطح توری کاغذهای دست‌ساز نیز مشاهده گردید که در تمامی تیمارهای شیمیایی و همچنین تیمار ۰/۰۵ درصد آنزیمی با افزایش زمان شناورسازی از ۱۰ دقیقه، تعداد ذرات مرکب در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. اما در مورد تیمار آنزیمی ۰/۲ درصد

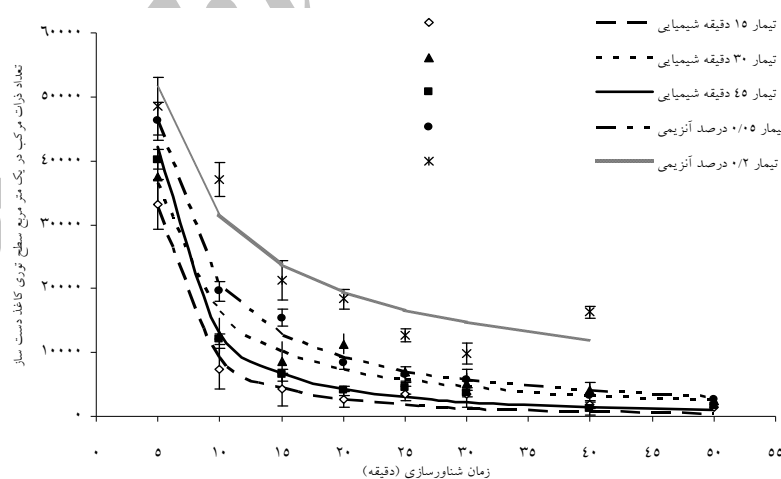


آنزیمی در زمان شناورسازی ۱۵ دقیقه، تعداد ذرات مرکب در سطح ۹۵ درصد کاهش معنی‌دار نشان نمی‌دهند. نمودار روند تغییرات تعداد ذرات مرکب در سطح توری نشان می‌دهد که تیمار آنزیمی ۰/۲ درصد به‌طور معنی‌داری دارای بیش‌ترین تعداد مرکب بوده، و پس از آن تیمار آنزیمی ۰/۰۵ درصد تعداد ذرات مرکب بیش‌تری نسبت به تیمارهای شیمیایی دارا می‌باشند (جدول ۲ و شکل ۲). از مقایسه مقادیر مربوط به تعداد ذرات مرکب در سطوح رویی و توری کاغذهای دست‌ساز همچنین مشخص می‌شود که در سطح رویی تعداد ذرات مرکب بیش‌تری وجود دارد که این پدیده به‌دلیل دورویی اتفاق افتاده طی تهیه کاغذهای دست‌ساز می‌باشد (فانزی‌پور و همکاران، ۲۰۰۶).

جدول ۲- ضرایب (a و b) معادله توانی  $Y=aX^{-b}$  بین تعداد مرکب و زمان شناورسازی در سطح توری کاغذهای دست‌ساز به‌دست آمده از تیمارهای مختلف.

نام تیمار	n	a±Se	b±Se	R <sup>2</sup>
۱۵ دقیقه شیمیایی	۸	۶۲۰۱۰۷±۱۷۷۱۵۱	-۱/۸±۰/۱۶	۰/۸۷
۳۰ دقیقه شیمیایی	۸	۲۳۲۵۹۹±۵۲۱۳۵	-۱/۱۵±۰/۱۱	۰/۹۳
۴۵ دقیقه شیمیایی	۸	۵۲۹۳۶۹±۶۶۹۳۲	-۱/۶±۰/۰۷	۰/۸۹
۰/۰۵ درصد آنزیمی	۸	۳۰۴۳۶۹±۲۸۴۸۱	-۱/۱۷±۰/۰۴	۰/۹۸
۰/۲ درصد آنزیمی	۸	۱۵۹۲۵۷±۴۵۷۶۴	-۰/۷±۰/۱۲	۰/۸۰

n=تعداد نمونه و R<sup>2</sup>=ضریب همبستگی رگرسیون.



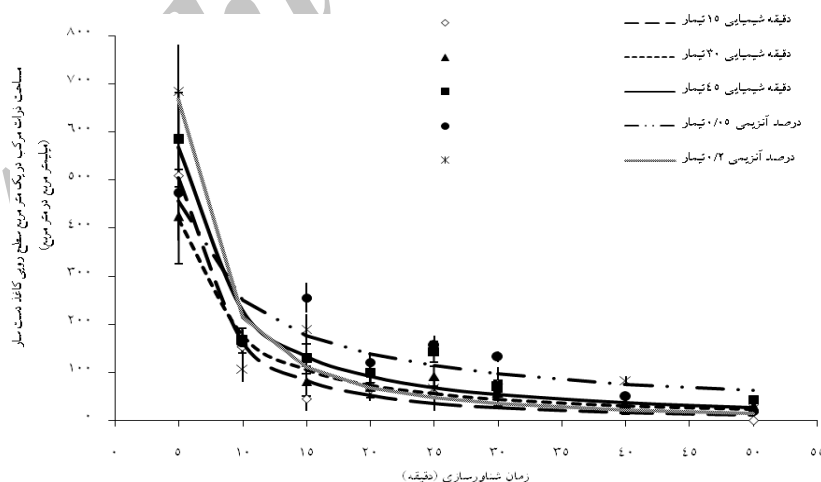
شکل ۲- تعداد ذرات مرکب در یک مترمربع سطح توری کاغذهای دست‌ساز.

شکل ۳ نشان می‌دهد که در سطح رویی کاغذهای دست‌ساز در تمامی تیمارها با افزایش زمان شناورسازی به بیش از ۱۰ دقیقه، کاهش در مساحت ذرات مرکب در سطح ۹۵ درصد اطمینان اتفاق نمی‌افتد. با مقایسه اعداد مربوط به شیب منحنی‌ها در جدول ۳ می‌توان دریافت که بیش‌ترین کاهش در مساحت ذرات مرکب در تیمار ۰/۲ درصد آنزیمی با شیب خط ۹۳۳۶/۸ و کم‌ترین تغییر در تیمار ۰/۰۵ درصد آنزیمی با شیب خط ۱۸۳۲/۹ اتفاق افتاده است. نتایج تغییرات مساحت ذرات مرکب در سطح رویی کاغذهای دست‌ساز نشان می‌دهد تیمار ۰/۲ درصد آنزیمی بهترین عملکرد را در مرحله شناورسازی داشته است.

جدول ۳- ضرایب (a و b) معادله توانی  $Y=aX^{-b}$  بین مساحت ذرات مرکب و زمان شناورسازی در سطح رویی کاغذهای دست‌ساز به دست آمده از تیمارهای مختلف.

نام تیمار	n	a±Se	b±Se	R <sup>2</sup>
۱۵ دقیقه شیمیایی	۸	۷۰۳۰/۲±۲۰۲۵/۶	-۱/۶۳±۰/۱۶	۰/۷۵
۳۰ دقیقه شیمیایی	۸	۳۱۳۹/۲±۵۲۲/۶	-۱/۲۵±۰/۰۸	۰/۹۳
۴۵ دقیقه شیمیایی	۸	۴۷۲۹/۲±۱۳۲۶/۲	-۱/۳۱±۰/۱۵	۰/۸۴
۰/۰۵ درصد آنزیمی	۸	۱۸۳۲/۹±۶۱۶/۴	-۰/۸۶±۰/۱۵	۰/۷۵
۰/۲ درصد آنزیمی	۸	۹۳۳۶/۸±۴۴۲۸/۶	-۱/۶۳±۱/۶۳	۰/۷۹

n = تعداد نمونه و R<sup>2</sup> = ضریب همبستگی رگرسیون.



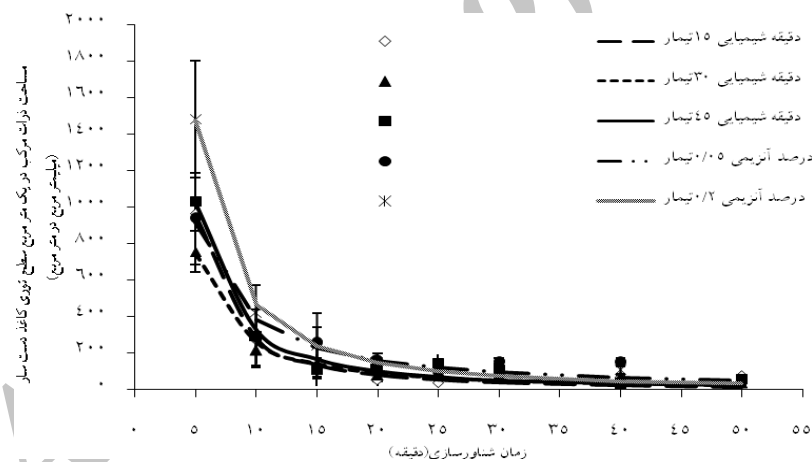
شکل ۳- روند تغییرات مساحت ذرات مرکب با افزایش زمان شناورسازی در سطح رویی کاغذهای دست‌ساز.

نمودار روند تغییرات مساحت ذرات مرکب در سطح توری نشان می‌دهد که تیمار آنزیمی ۰/۲ درصد به‌طور معنی‌داری دارای بیش‌ترین تعداد مرکب بوده و پس از آن تیمار آنزیمی ۰/۰۵ درصد تعداد مرکب بیش‌تری نسبت به تیمارهای شیمیایی دارا می‌باشند (جدول ۴ و شکل ۴).

جدول ۴- ضرایب (a و b) معادله توانی  $Y=aX^{-b}$  بین مساحت ذرات مرکب و زمان شناورسازی در سطح توری کاغذهای دست‌ساز به‌دست آمده از تیمارهای مختلف.

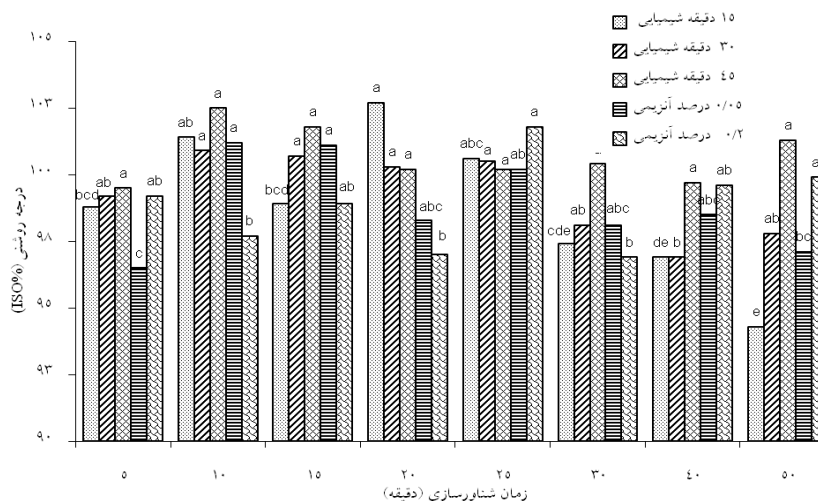
نام تیمار	n	a±Se	b±Se	R <sup>2</sup>
۱۵ دقیقه شیمیایی	۸	۱۶۵۱۲±۵۰۲۴	-۱/۷۶±۰/۱۷	۰/۶۴
۳۰ دقیقه شیمیایی	۸	۸۴۴۷/۳±۱۶۵۴	-۱/۵۰±۰/۱	۰/۹۳
۴۵ دقیقه شیمیایی	۸	۱۴۶۵۹±۳۶۹۹/۲	-۱/۶۵±۰/۱۴	۰/۸۵
۰/۰۵ درصد آنزیمی	۸	۶۹۴۹/۷±۱۶۴۸/۴	-۱/۲۵±۰/۱۲	۰/۸۵
۰/۲ درصد آنزیمی	۸	۲۱۲۸۲±۴۳۲۷/۱	-۱/۶۵±۰/۱۶	۰/۹۴

n=تعداد نمونه و R<sup>2</sup>=ضریب همبستگی رگرسیون.



شکل ۴- روند تغییرات مساحت ذرات مرکب با افزایش زمان شناورسازی در سطح توری کاغذهای دست‌ساز.

به‌دلیل نبود یک رابطه برازش‌یافته متناسب با ضریب رگرسیون بالا و معنی‌دار، در داده‌های مربوط به درجه روشنی بر خلاف سایر ویژگی‌های ظاهری ذکر شده در بالا در این مورد از یک معادله رگرسیونی برای توصیف روند روشنی استفاده نشد و به‌جای آن از روش مقایسه میانگین به روش LSD با سطح اطمینان ۵ درصد استفاده شد.



شکل ۵- روند تغییرات درجه روشنی با گذشت زمان شناورسازی.

بررسی میانگین مقادیر روشنی نشان می‌دهد به‌طور کلی روشنی در دقیقه ۵ کم و به تدریج در دقایق ۱۰ و ۱۵ افزایش می‌یابد و با ادامه شناورسازی دوباره از مقادیر روشنی کاسته می‌شود. افزایش اولیه روشنی را می‌توان به زدوده شدن مرکب‌های جدا شده از الیاف نسبت داد. با انجام شناورسازی بخش عمده کاهش روشنی به‌علت زدودن پرکننده‌ها و رنگ‌دانه‌های بهبوددهنده روشنی اتفاق می‌افتد. در مراحل بعد ممکن است به‌علت زدودن الیاف مکانیکی تیره، روشنی دوباره افزایش یافته و به سطح اولیه باز گردد (کارلتون، ۲۰۰۴).

مدل‌های توانی معکوس ارائه شده در این مقاله به‌عنوان روند تغییرات ویژگی‌های ظاهری کاغذهای دست‌ساز، در صورت تکرار بیش‌تر و گرفتن نتایج در زمان‌ها و شرایط مختلف و استفاده از تمامی این داده‌ها برای به‌دست آوردن مدل کلی و تصدیق مدل توانی معکوس، می‌تواند جایگزین انجام دوباره آزمایش‌ها در سایر زمان‌ها یا تیمارهای مشابه شود. استفاده از این مدل‌های رگرسیونی به‌جای روش‌های نامناسب و نادرست آماری پیشین مانند مقایسه میانگین‌ها، در صورت وجود تیمارهای کافی می‌تواند راه‌گشای مسیری نو در تجزیه و تحلیل داده‌ها باشد.

منابع

1. Aryaie Monfared, M.H., Resalati, H., Ghasemian, A. and Marandi, M. 2010. Effect of Medium pH Variations on Enzymatic Deinking Efficiency of Office Waste Papers with Cellulase from *Aspergillus niger*. JWFST, 2: 2. (In Persian)
2. Bajpai, P. 1998. Biotechnology for Environmental Protection in pulp and paper Industry. Germany. Springer, Pp: 91-107.
3. Carleton, J.R. 2004. The effect of electrohydraulic Discharge on Flotation Deinking Efficiency., M.Sc. Thesis. School of Chemical and Biomolecular Engineering, Georgia Institute of Technology, 57p.
4. Chairrekij, S., Dhingra, H. and Ramarao, B.V. 2000. Deinking of recycled pulps using column flotation: energy and environmental benefits. Resources, Conservation and Recycling, 28: 2. 219-226.
5. Dienes, D., Egyhazi, A., Sardi, Z. and Reczey, K. 2002. Treatment of recycled fiber with trichoderma cellulases. International Congress and Trade show Green-Tech. Netherland, 1p.
6. European cooperation in the field of Scientific and Technical Research-Cost. 2004. Memorandum of understanding for the implementation of a European Concerted Research Action designated as cost action E23. Biotechnology in the pulp and paper industry.
7. Faezipour, M., Khalafi, A., Mirshokraie, A., Lohrasebi, A. and Pirjani, A. 2006. A Study of the Possibility of Aquasol Process to Deink ONP and MOW. INRJ, 59: 2. 457-470. (In Persian)
8. Jeffries, T.W. and Schartman, R. 1998. Bioconversion of secondary fiber fines to ethanol using counter-current enzymatic saccharification and co-fermentation. Proceeding of the Twentieth Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals. Galtinburg, Tennessee, USA.
9. Makris, S.P., Tuan, L., Carleton, J., Kazi, F.K. and Banerjee, S. 2004. Effect of Electrohydraulic Discharge on the Flotation Deinking Efficiency. Ind. Eng. Chem. Res. 43: 7552-7556.
10. Marques, S., Pala, H., Alves, L., Amaral-Collaco, M.T., Gama, F.M. and Girio, F.M. 2003. Characterisation and application of glycanases secreted by *Aspergillus terreus* CCMI 498 and *Trichoderma viride* CCMI 84 for enzymatic deinking of mixed office wastepaper. J. Biotechnol. 100: 209-219.
11. Park, K., Park, J., Song, H., Shin, H., Park, J. and Ahn, J.S. 2002. Biological reprocessing of mixed office waste (MOW) using modified cellulase by production of functional copolymer. Korean J. Chem. Engin. 19: 2. 285-289.
12. Soltani, A., Robertson, M.J., Mohammad-Nejad, Y. and Rahemi-Karizaki, A. 2006. Modeling chickpea growth and development: leaf production and senescence. Field Crops Res. 99: 14-23.
13. TAPPI. 2006. Standard test methods, TAPPI Press, Atlanta, GA (On CD).
14. Vyas, S. 2004. Characterization of alkali stable fungal cellulases and their potential industrial application. Ph.D. Thesis. The University of Pune, 240p.
15. Zhu, J.Y., Wu, G.H. and Deng, Y. 1998. Flotation deinking of toner-printed papers using frother spray. J. Pulp and Paper Sci. 24: 9. 295.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 19 (4), 2013  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## **Assessment of Flotation Time Effects on Appearance Properties of Chemical and Enzymatic Deinked Pulp by Reverse Power Fit Equations**

**\*M.H. Aryaie Monfared<sup>1</sup>, H. Resalati<sup>2</sup> and F. Zeinaly<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Associate Prof., Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 07/07/2009; Accepted: 05/16/2011

### **Abstract**

In this paper deinkability of office waste deinked pulp by commercial cellulase from *Aspergillus niger* fungus and chemical method using flotation process was compared. Progress in appearance properties of deinked papers was studied by reverse power fit equations. The results showed that the top side and wire side of the deinked pulp handsheets had significant difference in dirt count and area of ink particles. Maximum decrease in ink count and ink area, occurred in the first 10 min of flotation, the rate of deinking was reduced by increasing flotation time. Handsheet brightness was initially increased by increasing flotation time and then reduced by further flotation.

**Keywords:** Flotation, Chemical deinking, Enzymatic deinking, Cellulase, Recycling, Reverse power fit equations

---

\* Corresponding Author; Email: [hadiaryaie@gmail.com](mailto:hadiaryaie@gmail.com)