اثر روش خاکسترزدایی لجن کاغذ بازیافتی بر ترکیبات شیمیایی آن با نگرش پالایش زیستی

راضیه برزگر[۱]
اسماعیل رسولی گرمارودی[۲*]
سید رحمان جعفری پطرودی[۳]
سپیده حامدی[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی پالایش زیستی،پردیس ۱دانشگاه شهیدبهشتی، زیراب، سوادکوه، مازندران، ایران

[۲] استادیار گروه مهندسی فناوری پالایش زیستی، پردیس ۱ دانشگاه شهیدبهشتی، زیراب، سوادکوه، مازندران، ایران

[۳] استادیار گروه مهندسی فناوری پالایش زیستی، پردیس ۱ دانشگاه شهیدبهشتی، زیراب، سوادکوه، مازندران، ایران

[۴] استادیار گروه مهندسی فناوری پالایش زیستی، پردیس ۱ دانشگاه شهیدبهشتی، زیراب، سوادکوه، مازندران، ایران

مسئول مکاتبات:
e_rasooly@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۴

چکیده

لجن کارخانه کاغذ، پسماند جامد متشکل از باقیمانده‌های الیاف و خاکستر تولیدشده از فرایند کاغذسازی و خمیرسازی است که در این تحقیق از کارخانه پارس کاغذ نکا واقع در استان مازندران تهیه و به‌عنوان ماده اولیه مورداستفاده قرار گرفت تا پتانسیل آن به‌منظور تولید محصولات با ارزش‌افزوده بالاتر بر اساس مفهوم پالایش زیستی مورد ارزیابی قرار گیرد. لجن مذکور پس از تعیین ترکیبات شیمیایی موجود در آن به سه روش با استفاده از هوا، دی‌اکسید کربن و همزن مورد عملیات خاکسترزدائی قرار گرفت. سپس ترکیبات شیمیایی موجود در هر لجن خاکسترزدائی شده اندازه‌گیری و با داده‌های قبل از تیمار مذکور مقایسه شد. همچنین اکسیدهای معدنی موجود در خاکستر لجن بازیافتی با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی فلورانس اشعه ایکس (XRF) مورد ارزیابی قرار گرفت. روش‌های خاکسترزدائی با CO_2، با همزن و با هوا به ترتیب توانسته‌اند به میزان ۲۸/۴، ۶۱/۸۴ و ۷۰/۹۹درصد میزان خاکستر لجن را کاهش دهند و متناسب با آن میزان سلولز موجود در آن درروش خاکسترزدائی با هوا ۱۲۰ درصد در کنار روش همزن (۱۲۱٪) در مقایسه با روش حباب‌های CO_2 (۶۴٪) افزایش می‌یابد. همچنین روش‌های خاکسترزدائی در حذف اکسیدهای کلسیم تا ۱۳٪ موفق عمل نموده و اساساً کارایی این روش‌ها در کاهش اکسیدهای کم مقدار زیادتر است. قابل‌ذکر آنکه بخش عمده خاکستر لجن بازیافتی بیشتر به‌صورت اکسیدهای کلسیم، سیلیسیم، آلومینیوم و منیزیم است. نتایج بررسی ترکیبات آلی و معدنی موجود در لجن کاغذ بازیافتی نشان می‌دهد که روش خاکسترزدائی با هوا بیشترین کارایی را در حذف خاکستر دارد که می‌تواند به‌عنوان پیش‌تیمار قبل از انجام کلیه فراوری‌ها و به‌منظور دستیابی به محصولات با ارزش‌افزوده بالاتر در چهارچوب مفهوم پالایش زیستی مورداستفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: لجن کاغذ بازیافتی، خاکستر، خاکسترزدایی، پالایش زیستی.

مقدمه

در صنایع خمیر و کاغذ انواع مختلفی از پسماندهای جامد و لجن در فرایندهایی نظیر خمیرسازی، جوهرزدایی و تصفیه پساب تولید می‌شوند [۱]. میزان تولید پسماندهای جامد در صنایع کاغذسازی که از مواد اولیه دست‌اول استفاده می‌کنند حدود ۱۰ درصد مقدار محصول تخمین زده می‌شود و این در حالی است که نرخ تولید پسماند جامد در صنایع کاغذسازی با استفاده از کاغذهای بازیافتی حدود ۵۰-۱۰ درصد (با متوسط ۳۰ درصد) مقدار محصول است [۲].

بنابر پیش‌بینی‌های انجام‌شده، تولیدات جهانی در صنایع خمیر و کاغذ در سال ۲۰۲۰ تا ۷۷ درصد افزایش

می‌یابد و در همین زمان بیشتر از ۶۶ درصد کاغذ، بازیافت شود [۳]. هم چنان‌که روزبه‌روز بازیافت کاغذ بیشتر می‌شود الیاف سلولزی غیرقابل‌مصرف هم بیش‌ازپیش تولید گردیده بطوریکه نزدیک به ٪۲۰-۱۵ در فرایند بازیافت کاغذ در طی خمیرسازی مجدد الیاف کوتاه هستند و بخش‌های غیرقابل‌مصرف آن‌ها که پسماند جامد نامیده می‌شوند در برخی موارد بعد از آبگیری سوزانده می‌شوند. این الیاف کوتاه تولیدشده معمولاً به شکل متورم درآمده و ازنظر شیمیایی بسیار هیدراته می‌شوند که دلیل آن ظرفیت بسیار زیاد نگهداری آب توسط این پسماندهاست که درواقع به‌عنوان لجن کاغذ بازیافتی[1] (**RPS**) شناخته می‌شوند [۴]. RPS بزرگ‌ترین محصول جانبی صنایع خمیر و کاغذ است و دفع آن مشکل عمده پسماند جامد برای این صنایع است. کشورهای عضو درکنفدراسیون کاغذ اروپا[2]بیش از ۴/۷ میلیون تن لجن کاغذ در سال تولید می‌کنند. پیش‌بینی‌شده است که تولید جهانی آن در ۵۰ سال آینده بین ۴۸ تا ۸۶٪ نسبت به سطوح تولید فعلی افزایش می‌یابد [۵].

ترکیبات لجن به نوع ماده اولیه، فرایند تولید، مواد شیمیایی مورداستفاده، نوع محصول نهایی و تکنیک تصفیه پساب بستگی دارد. بخش عمده جامدات لجن شامل الیاف است و بخش‌های دیگر نیز بسته به کارخانه شامل شن و ماسه، سنگ و جامدات بیولوژیکی، پرکننده‌ها، خاکستر بویلر و ... را شامل می‌شود. به‌واسطه ترکیباتی که ممکن است به همراه قسمتی از آب وجود داشته باشد آنالیز لجن به‌طور گسترده خیلی متفاوت است. درهرصورت، مقدار خاکستر در لجن کاغذ می‌تواند بیشتر از ۵۰ درصد باشد [۶]. در یک تقسیم‌بندی کلی، لجن تولیدشده را می‌توان به دودسته اصلی طبقه‌بندی نمود:

لجن با خاکستر زیاد (وزن خشک خاکستر لجن بیشتر از ۳۰٪)

لجن با خاکستر کم (وزن خشک خاکستر لجن کمتر از۳۰٪)

- لجن‌های با خاکستر زیاد شامل لجن‌های دلمه شده شیمیایی (حاصل از کارخانه‌های خمیرکاغذ)، لجن‌های اولیه (حاصل از تولید کاغذ از الیاف بازیافتی) و لجن‌های جوهرزدایی شده (حاصل از کارخانه‌های کاغذ) هستند. لجن‌های با خاکستر کم نشان‌دهنده لجن‌های اولیه، ثانویه و بیولوژیکی تولیدشده به‌وسیله کارخانه‌های خمیر و کاغذ هستند [۷]. لجن کارخانه جوهرزدایی کاغذ و لجن اولیه عمدتاً شامل ترکیبی از الیاف کوتاه سلولزی و فیلرهای معدنی از قبیل کربنات کلسیم، خاک رس چینی و باقیمانده‌های مواد شیمیایی حل‌شده در آب هستند [۸]. لجن اولیه کارخانه خمیرکاغذ که از الیاف ویرجین به‌عنوان ماده اولیه استفاده می‌کند، شامل ۹۴/۳۱ درصد مواد آلی و ۵/۶۹ درصد خاکستر است. همچنین لجن اولیه کارخانه کاغذ که از الیاف بازیافتی به‌عنوان ماده اولیه استفاده می‌کند، شامل ۶۴/۷۲ درصد مواد آلی و ۳۵/۲۸ درصد خاکستر است [۳]. در مطالعه دیگری ترکیب اولیه لجن کاغذ بازیافتی (برحسب درصد توده لجن خشک‌شده در آون) شامل سلولز ۳۴٪، زایلان ۷/۹٪، لیگنین ۲۰/۴٪، پروتئین ۴/۸٪، چربی ۳/۵٪، خاکستر ۲۹/۳٪ تعیین شده است. ازآنجایی‌که لجن کاغذ حاوی مقادیر زیادی از پلی ساکاریدها (به‌طور عمده سلولز) است، می‌توان از قند تولیدشده ازآن‌جهت دستیابی به ترکیباتی با ارزش‌افزوده بالا استفاده نمود [۹]. پلی ساکاریدها در لجن کاغذ بازیافتی در مقایسه با چوب خام یا مواد گیاهی بیشتر مستعد هیدرولیز آنزیمی‌اند، زیرا لجن کاغذ از قبل به‌طور گسترده در معرض فرایندهای شیمیایی و مکانیکی قرار گرفته است. این فرایندها از هزینه پیش تیمار جهت آماده‌سازی لجن کاغذ برای فرایند هیدرولیز جلوگیری می‌کند و درنتیجه در مسیر تبدیل زیست‌توده لیگنوسلولزی به محصولات زیست‌پایه، انرژی کمتری نیاز است. در فرایند تبدیل لجن به قند از طریق هیدرولیز آنزیمی، مقادیر زیاد خاکستر، به‌عنوان عوامل بازدارنده عمل می‌کنند بطوریکه خاکستر قابل‌حل در اسید نظیر کربنات کلسیم، باعث افزایش pH گردیده و لذا برای تنظیم pH استفاده از اسید ضرورت می‌یابد. بعلاوه تمایل به جذب آنزیم سلولاز توسط این گروه از خاکستر نسبت به الیاف سلولزی بیشتر است. خاکستر غیرقابل‌حل در اسید، نظیر انواع رس‌ها، سبب کاهش هضم آنزیمی الیاف در لجن می‌شود؛ بنابراین به‌منظور دستیابی به بهره‌وری

[1] Recycled Paper Sludge(RPS)
[2] CEPI

بالاتر در هیدرولیز آنزیمی با مصرف آنزیم کمتر، محققان جزءجزءسازی لجن را قبل از هیدرولیز آنزیمی پیشنهاد نمودند [۱۰]. گزارش شده است که فیلرها و دیگر افزودنی‌ها در کاغذ به‌صورت یک چسب اطراف الیاف سلولزی را می‌پوشاند و مانع دسترسی آنزیم به سلولز می‌شود. خاکسترزدایی، قابلیت هضم آنزیمی را بهبود می‌بخشد و درنتیجه سبب کاهش مصرف آنزیم و افزایش بازده محصول می‌گردد [۱۱].

- در زمینه کاهش میزان خاکستر ماده اولیه مطالعات کمی انجام شده است. یک سری روش‌های بکار گرفته‌شده جهت کاهش خاکستر به‌منظور انجام هیدرولیز مؤثر در برخی مطالعات، به‌طور خلاصه به شرح ذیل است.
- ۱-خاکسترزدایی[1]
- ۲-جداسازی مواد معدنی[2]
- ۳-جزءجزءسازی[3]

در روش اول با عنوان خاکسترزدایی، لجن اولیه کارخانه کاغذ به‌عنوان ماده اولیه مورداستفاده قرار می‌گیرد و با تزریق جریان حباب دی‌اکسید کربن و سپس عبور از غربال، خاکستر از لجن جدا می‌شود [۱۱]. این موارد از طریق تزریق هوا در خاکستر نیز قابل‌پیگیری است؛ که در این تحقیق، جهت کاهش میزان خاکستر ماده اولیه از این روش (خاکسترزدایی) استفاده گردید. در مطالعه دیگر جهت کاهش میزان خاکستر کاغذ بازیافتی به‌عنوان ماده اولیه از روشی تحت عنوان جداسازی مواد معدنی، استفاده گردید. بطوریکه در مرحله اول با پراکنده‌سازی کاغذ بازیافتی در آب در دورهای حدود ۵۰۰۰ rpm و سپس غربال سوسپانسیون از طریق الک، جداسازی الیاف و فیلرهای معدنی صورت پذیرفت. سپس در مرحله بعدی خمیرکاغذ جهت حذف فیلرکربنات کلسیم باقیمانده در آن، با هیدروکلریک اسید ۱ درصد تا رسیدن به pH=6-6.5 اسیدی شد و سپس شستشوی الیاف و درنهایت آبگیری توسط پمپ خلأ تا رسیدن به مقدار جامد ۳۰ الی ۴۰ درصد انجام پذیرفت [۱۲]. درروش جزءجزءسازی، محققان دانشگاه ایالتی کارولینای شمالی قبل از انجام هیدرولیز آنزیمی لجن کاغذ را به دو جریان، ۱-جریان غنی از خاکستر و ۲- جریان غنی از الیاف تقسیم نمودند. این روش سبب کاهش اسید موردنیاز جهت تعدیل pH در فرایند هیدرولیز آنزیمی گردیده و همچنین جریان غنی از خاکستر را می‌توان جهت ترمیم خاک مورداستفاده قرار داد. بعلاوه انجام این روش جزءجزءسازی سبب کاهش هزینه تولید می‌گردد [۸]. هر سه روش تقریباً بر اساس شستشو و غربال به‌منظور کاهش خاکستر ماده اولیه صورت می‌پذیرد.

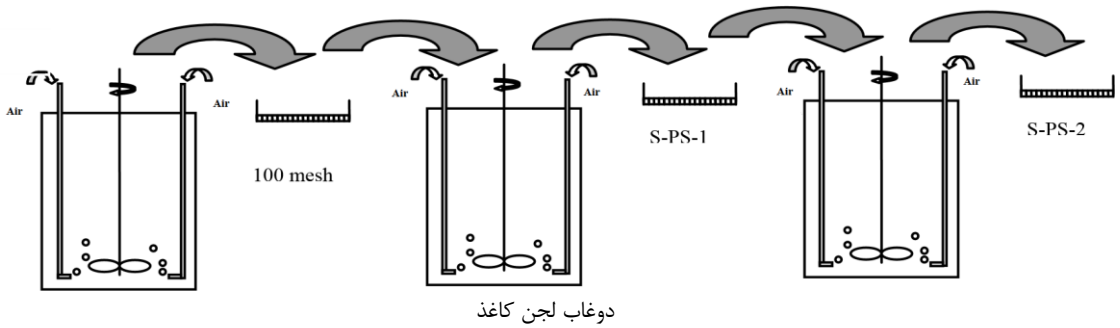
به‌طورکلی، سالیانه مقادیر زیادی پسماند جامد در کارخانه‌های خمیر و کاغذ تولید می‌شود. این مقدار در صنعت کاغذ آمریکا سالیانه معادل حدود ۱۵ میلیون تن است. اساساً، میزان تولید پسماندهای جامد در صنایع کاغذسازی که از مواد اولیه دست‌اول استفاده می‌کنند حدود ۱۰ درصد مقدار محصول تخمین زده می‌شود درحالی‌که نرخ تولید پسماند جامد صنایع کاغذسازی با استفاده از کاغذهای بازیافتی حدود ۵۰-۱۰ درصد (با متوسط ۳۰ درصد) مقدار محصول است [۲]. لجن کاغذ بازیافتی اغلب سوزانیده شده و یا دفن می‌شوند. ازلحاظ تیمار احتراق، بیش از ۶۰ درصد وزن لجن کاغذ را آب تشکیل می‌دهد و باید همراه با سوخت‌های کمکی در محفظه احتراق سوزانده شود. در مورد دفن کردن[4] نیز انتظار می‌رود که به دلایل محدودیت‌هایی از قبیل کم بودن ظرفیت‌های موجود، هزینه‌ها و نگرانی‌های زیست‌محیطی، به‌کارگیری آن کاهش یابد. همچنین، برای استفاده از لجن به‌عنوان کمپوست[5]نیز ابتدا باید مواد سمی آن حذف گردد [۱۳]؛ بنابراین دستیابی به راه‌حل‌های جایگزین دفع برای پسماندها ضروری به نظر می‌رسد [۹]. امروزه، مدیریت پسماند به‌ویژه پسماندهای صنعتی که باید ازلحاظ اقتصادی و سازگاری با محیط‌زیست به شیوه‌ای قابل‌قبول انطباق داشته باشد، یکی از مهم‌ترین مسائل پیش روی صنایع پیشرفته است. در سال‌های اخیر ضرورت دستیابی به استراتژی‌های پایدار، نگرانی را در این صنایع بیشتر کرده است. از طرف دیگر، از آنجائی که برخی عملیات سنتی تخلیه پسماند مانند دفن کردن، روزبه‌روز محدودتر شده و در برخی موارد به‌وسیله قانون نیز منع می‌گردد، بنابراین توسعه سیستم‌های نوآوری به شکلی پایدار از پسماندها، جهت به

[1] De-ashing
[2] Demineralization
[3] Fractionation
[4] landfilling
[5] Composting

حداکثر رساندن بازیابی مواد مفید و یا انرژی، لازم و ضروری به نظر می‌رسد [۳]. در این راستا، استفاده از پسماندهای صنعتی نظیر لجن کاغذ بازیافتی برای تولید محصولات زیست‌پایه بر اساس مفهوم پالایش زیستی یکی از راهکارهایی است که می‌تواند از یک ماده بی‌ارزش محصولاتی را ارائه دهد که علاوه بر رفع مشکلات زیست-محیطی آن، مزایای اقتصادی نیز برای صنعت به ارمغان بیاورد. طبق آمار وزارت صنعت، معدن و تجارت در حال حاضر، در کشور در حدود ۳۰۰ کارخانه کاغذسازی از الیاف بازیافتی درمجموع با ظرفیت تولید ۶۰۰ هزار تن در سال وجود دارد که با در نظر گرفتن نرخ متوسط ۳۰٪، میزان پسماند تولیدشده توسط واحدهای مذکور معادل ۱۸۰ هزار تن در سال خواهد بود. در این خصوص، یافتن روش‌های فراوری مناسب این حجم بالای پسماند تولیدشده، یکی از دغدغه‌هایی است که همواره جهت دستیابی به حداکثر بازده محصول برای صنایع کاغذ بازیافتی کشور مطرح است. لذا، در این تحقیق به یکی از روش‌های کاهش این دغدغه‌ها یعنی خاکسترزدائی پرداخته شده است تا بتوان زمینه لازم را برای تولید قند قابل تخمیر جهت تولید محصولات زیست‌پایه را فراهم نمود.

مواد و روش‌ها

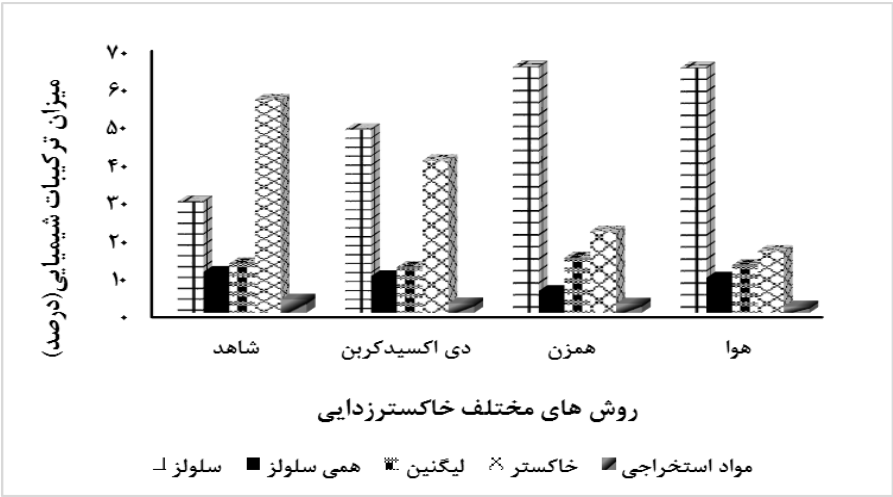
مواد اولیه موردمطالعه در این تحقیق، لجن کاغذ بازیافتی بوده که از کارخانه پارس کاغذ واقع در شهرستان نکا مازندران تهیه گردید و تا زمان انجام آزمون‌های مربوطه در دمای زیر صفر درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس، تعیین ترکیبات شیمیایی لجن کاغذ بازیافتی از قبیل سلولز بر اساس روش Kurschner-Hoffer، همی سلولز مطابق با استاندارد شماره ۲۴۰۳ آیین‌نامه DIN، لیگنین با استاندارد TAPPI آیین‌نامه T 222 om-06، مواد استخراجی طبق استاندارد شماره T 204 cm-07 و میزان خاکستر نمونه دریافتی و نمونه‌های خاکسترزدایی شده در هر سه روش نیز طبق استاندارد NREL/TP-510-42622 در دمای ۲۵±۵۷۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد میزان خاکستر ماده اولیه موردمطالعه بالاتر از ۳۰ درصد است (شکل ۱) که با توجه به این میزان خاکستر، ماده اولیه در رده لجن‌های با خاکستر زیاد قرار گرفت [۷]. در این بخش، به‌منظور کاهش خاکستر لجن کاغذ و نیز تسهیل دستیابی به قندهای قابل تخمیر بر اساس مفهوم پالایش زیستی، سه روش خاکسترزدایی با استفاده از همزن، خاکسترزدایی به‌وسیله هوا و خاکسترزدایی به‌وسیله دی‌اکسید کربن بر روی لجن بازیافتی فوق‌الذکر صورت پذیرفت. برای هر سه روش ابتدا یک شستشوی اولیه به‌منظور تمیزسازی اولیه لجن از آلودگی‌های احتمالی همراه صورت پذیرفت. در ادامه، درروش های خاکسترزدایی با استفاده از غربال و شستشو، یک لیتر از سوسپانسیون لجن کاغذ با غلظت ۳ درصد تهیه گردید و سپس با استفاده از یک همزن آزمایشگاهی با ۳۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه هم زده شد. روش خاکسترزدایی به‌وسیله هوا و دی‌اکسید کربن نیز با روش مشابهی انجام شد با این تفاوت که هم‌زمان با هم خوردن دو جریان حباب هوا (۲bar) / دی‌اکسید کربن (با فشار ۴ Mpa) به آن تزریق می‌شد. در کلیه روش‌ها، عملیات خاکسترزدائی سه بار تکرار گردیده و بعد از هر بار تکرار لجن حاصله از غربال از مش ۱۰۰ عبور داده شد [۱۱] (شکل ۱). بعد از انجام هرکدام از انواع خاکسترزدایی (کنترل (R)، با هوا (A)، با دی‌اکسید کربن (C) و با همزن (S))، میزان خاکستر، سلولز، همی سلولز، لیگنین و مواد استخراجی نمونه خاکسترزدایی شده طبق استانداردهای فوق‌الذکر تعیین گردید. همچنین آنالیز کمی و کیفی نمونه‌های خاکستر تولیدشده در هرکدام از روش‌ها با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی فلورانس پرتوایکس (XRF) صورت پذیرفت.



شکل ۱- فرایند خاکسترزدایی از لجن کاغذ به‌وسیله هوا [۱۱]

نتایج و بحث

اثر روش‌های مختلف خاکسترزدائی بر روی میزان ترکیبات شیمیایی موجود در لجن حاصله در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱- اثر روش خاکستر زدائی بر روی میزان ترکیبات شیمیایی لجن بازیافتی

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود اساساً خاکسترزدائی با همه روش‌ها باعث کاهش میزان خاکستر موجود در لجن می‌گردد، بطوریکه در بین سه روش، خاکسترزدائی با حباب‌های هوا کارایی بیشتری را نشان داده است. لازم به ذکر است که روش‌های خاکسترزدائی با CO_2، با همزن و با هوا به ترتیب توانسته‌اند به میزان ۲۸/۴، ۶۱/۸۴ و ۷۰/۹۹ درصد میزان خاکستر موجود در لجن را کاهش دهند. در این راستا مشاهده می‌شود که روش خاکسترزدائی تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش میزان سلولز موجود در لجن بازیافتی نشان می‌دهد که از این نظر نیز روش خاکسترزدائی با هوا با میزان افزایش ۱۲۰ درصد در کنار روش همزن (۱۲۱٪) در مقایسه با روش حباب‌های CO_2 (۶۴٪) کارایی بالاتری نشان داده‌اند.

در مورد سایر ترکیبات نیز، پس از خاکستر زدایی، به‌طورکلی روندی کاهشی مشاهده می‌گردد که در مورد همه ترکیبات به‌استثنای همی سلولز منطقی به نظر می‌رسد. دراین‌ارتباط، کاهش میزان همی سلولز بعد از خاکسترزدائی به‌ویژه با روش همزن با ماهیت این عملیات همخوانی ندارد که احتمالاً ناشی از انحلال همی سلولزهای سطحی الیاف سلولزی است. Kang et al (2011)، گزارش کرده‌اند که پس از خاکسترزدائی سه مرحله‌ای با CO_2 میزان سلولز گلوکان تا ۶۰ و همی سلولز زایلان به ۵۰ درصد افزایش و لیگنین و خاکستر به ترتیب تا ۲۳/۴ و ۸۳ درصد کاهش داشته است [۱۱].

لازم به ذکر است که ماده اولیه مورداستفاده در این تحقیق از لجن کاغذ بازیافتی مرحله اولیه بخش زلال‌ساز تصفیه پساب یک کارخانه کاغذ فلوتینگ تهیه شده است. عموماً استفاده از حباب‌های هوا یا دی‌اکسید کربن باعث افزایش جداسازی خاکستر از الیاف می‌شوند زیرا اندازه حباب‌های گازی به سمت سطح محلول بزرگ‌تر شده و

ذرات با دانسیته پائین را با خود حمل می‌کنند [۱۴]. نکته قابل‌ذکر آنکه در این تحقیق اثر حباب‌های هوا در مقایسه با حباب‌های دی‌اکسید کربن بیشتر بوده است.

بررسی روندها در منحنی‌های شکل ۱ نشان می‌دهد که روش خاکسترزدایی به‌وسیله هوا بهترین کارایی را ازلحاظ کاهش میزان خاکستر و افزایش میزان سلولز موجود در لجن کاغذ بازیافتی در بر دارد و لذا به‌منظور بهینه‌سازی شرایط لجن بازیافتی برای تولید قندهای قابل تخمیر در فرایندهای بعدی نظیر هیدرولیز آنزیمی، تخمیر و تولید محصولات با ارزش‌افزوده بالاتر بر اساس رویکرد پالایش زیستی می‌تواند قابل توصیه باشد.

همچنین نتایج اثر روش خاکسترزدائی بر روی ترکیبات شیمیایی خاکستر لجن کاغذ بازیافتی که به کمک دستگاه XRF اندازه‌گیری شده، در جدول شماره ۱ ارائه گردیده است. نکته قابل‌ذکر آنکه اساساً قابلیت روش‌های مختلف خاکسترزدائی در حذف اکسید کلسیم بیشتر بوده و در حذف یا کاهش سایر اکسیدها قابلیت چندانی نشان نمی‌دهند. این کاهش در مقدار اکسید کلسیم تقریباً در روش‌های خاکسترزدائی با هوا و دی‌اکسید کربن معادل حدود ۱۳٪ بوده است. بعلاوه روش‌های مختلف خاکسترزدائی اساساً در حذف اکسیدهای کم مقدار کارایی بیشتری داشته و در مورد کاهش سایر اکسیدها قابلیت مناسبی ندارند.

جدول ۱- نتایج اثر روش خاکستر زدایی بر میزان ترکیبات شیمیایی موجود در خاکستر لجن بازیافتی

ترکیب شیمیایی خاکستر	روش خاکستر زدایی			
	R	C	S	A
اکسید کلسیم (CaO)	۴۷/۵۱	۸/۴۴	۰۶/۴۷	۸۳/۴۴
اکسید روی (ZnO)	۲۱/۰	۲۲/۰	۲۲/۰	۲/۰
اکسید منیزیم (MgO)	۱۷/۲	۱/۲	۵/۲	۷۴/۲
اکسید گوگرد (SO_3)	۱/۴۴	۴۸/۱	۶۹/۱	۵۹/۲
دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2)	۶۹/۰	۷۲/۰	۷۷/۰	۷۶/۰
اکسید آلومینیم (Al_2O_3)	۴۶/۸	۸۶/۸	۶۲/۹	۵۵/۹
Cl	۳۹/۰	۲۳/۰	۳۳/۰	۴۶/۰
اکسید منگنز (MnO)	۱۱/۰	۰۸/۰	۰۸/۰	۰۹/۰
سیلیسیم (SiO_2)	۰۵/۱۶	۳۲/۱۷	۹/۱۸	۱/۲۱
اکسید پتاسیم (K2O)	۴۸/۰	۳۳/۰	۳۷/۰	۳۳/۰
اکسید آهن (Fe2O3)	۶۲/۱	۵۵/۱	۷۸/۱	۲۷/۲
اکسید سدیم (Na2O)	۳۷/۱	۳۸/۰	۴/۰	۴۶/۰
اکسید فسفر (P2O5)	۶۶/۰	۶۳/۰	۶۷/۰	۷۴/۰
SrOاکسید استرانسیوم	۰	۰۷/۰	۰	۰
جمع	۸۵/۱۲	۷۸/۷۷	۸۴/۳۹	۸۶/۱۲
* (وزن ازدست‌رفته).L.O.I	۱۴/۸۸	۲۱/۲۱	۱۵/۵۹	۱۳/۸۷

*: جهت اندازه‌گیری L.O.I (وزن ازدست‌رفته)، نمونه به مدت ۱/۵ ساعت در دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود عمده‌ترین ترکیبات موجود در این خاکستر به‌صورت اکسیدهای کلسیم، سیلیسیم، آلومینیوم و منیزیم است. مواد خام اولیه در تولید سیمان در درجه اول شامل آهک، خاک رس، شن و ماسه و سنگ‌آهن است. وقتی ترکیبات شیمیایی خاکستر لجن کاغذ جوهرزدایی شده با سیمان مقایسه گردید، دیده شد که بخش مواد غیرآلی لجن می‌تواند ترکیبات حاضر در سیمان را فراهم کند [۱۵]. احمد و همکاران در سال ۲۰۱۳ امکان استفاده از خاکستر لجن کاغذ بازیافتی، به‌عنوان جایگزین بخشی از سیمان در تولید بتن را ازنظر مقاومت‌ها (فشاری، کشش و جذب آب) بررسی نموده و گزارش کردند که خاکستر لجن کاغذ بازیافتی تا ۵ درصد وزنی می‌تواند جایگزین سیمان گردد [۱۶] بطوریکه لجن کاغذ و خاکستر لجن کاغذ دارای پتانسیل مناسبی جهت

تولید سیمان و سیمان مخلوط است[۱۷]. همچنین، وجود اکسیدهای پتاسیم، سدیم و فسفر در لجن کاغذ بازیافتی بر مزیت آن به‌منظور اضافه شدن به خاک به‌عنوان کود می‌افزاید [۱۸].

نتیجه‌گیری

این تحقیق به‌منظور بررسی اثر روش خاکستر زدایی بر روی ترکیبات شیمیایی لجن کاغذ بازیافتی در چهارچوب مفهوم پالایش زیستی موردبررسی قرار گرفت که به‌طور خلاصه نتایج زیر را در پی داشته است:

۱) روش خاکسترزدائی با هوا بیشترین کارایی (۷۰٪) را در خروج خاکستر دارد که متعاقب آن می‌تواند به افزایش دسترسی به میزان بالای سلولز ختم گردد.
۲) روش‌های مختلف خاکسترزدائی در مورد سایر ترکیبات موجود در لجن نظیر همی سلولز، لیگنین و مواد استخراجی نیز با شیبی بسیار اندک روندی کاهشی دارند.
۳) بخش عمده خاکستر لجن بازیافتی بیشتر به‌صورت اکسیدهای کلسیم، سیلیسیم، آلومینیوم و منیزیم است که می‌تواند قابلیت استفاده در تولید بتون‌های سبک را داشته باشد.
۴) روش‌های مختلف خاکسترزدائی اساساً در حذف اکسید کلسیم بیشترین کارایی را دارند.
۵) روش‌های خاکسترزدائی اساساً بر روی حذف اکسیدهای کم مقدار اثرگذاری بیشتری نشان می‌دهند.

بررسی ترکیبات آلی و معدنی موجود در لجن کاغذ بازیافتی خاکستر زدایی شده نشان می‌دهد که روش خاکستر زدایی با هوا بیشترین کارایی را در حذف خاکستر، به‌عنوان یک عامل بازدارنده در فعالیت آنزیم‌های فرایند تخمیر، دارد. لذا، این روش می‌تواند به‌منظور تولید قندهای قابل تخمیر قبل از انجام کلیه فراوری‌ها و به‌منظور دستیابی به محصولات با ارزش‌افزوده بالاتر در چهارچوب مفهوم پالایش زیستی پیشنهاد شود.

سپاسگزاری

نویسندگان بدین‌وسیله بر خود لازم می‌دانند از مدیریت شرکت پارس کاغذ نکا به خاطر همکاری‌های همه‌جانبه، صمیمانه سپاسگزاری نمایند.

منابع

[1] Monte, M.C., Fuente, E., Blanco, A. and Negro, C., 2009. Waste management from pulp and paper production in the European Union. Waste Management, 29(1):293–308.

[2] Lynd, L.R., Lyford, K., South C.R., Van Walsum, G.P. and Levenson, K. 2001. Evaluation of paper sludges for amenability to enzymatic hydrolysis and conversion to ethanol. Tappi Journal, 84(2):50–55.

[3] Show, K-Y. and Guo, X., 2012. Industrial waste, InTechOpen, 284p.

[4] Asadi khansari, R., Dehghani Firouzabadi, M.R. and Resalati, H., 2017. The effect of coatings and coating weight by two types of PCC on barrier and optical properties and roughness of paper. Iranian Journal of wood and paper industries, 8(2):283-295. (In Persian).

[5] Kulsuwan, N. and Kongkiattikajorn, J., 2012. Production of Fermentable Sugars from Recycled Paper Sludge for Alcohol Production. International Journal of the Computer, the Internet and Management, 20(3): 57-62.

[6] Scott GM. and Smith A., 1995. Sludge characteristics and disposal alternatives for recycled fibre plants. In: Proceedings of the TAPPI recycling symposium. TAPPI Press, Atlanta, 239–249 p.

[7] Méndez A., Fidalgo JM., Guerrero F. and Gascó G., 2009. Characterisation and pyrolysis behaviour of different paper. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 86:66–73.

[8] Bajpai, P., 2015. Management of Pulp and Paper Mill Waste, Springer International Publishing, Switzerland, 208p.

[9] Marques, S., Alves, L., Gírio, F.M., Santos, J. A.L. and Roseiro, J., 2009. Biological Upgrading of Wastes from the Pulp and Paper Industry, NWBC 2009, Helsinki, Finland, September 2–4.

[10] Gonzalez R., 2012. Ethanol production from paper industry sludge examined. Ethanol producer magazine, 5: 1-3.

[11] Kang, L., Wang, W., Pallapolu, R. and Lee,Y., 2011. Ethanol from paper sludge. BioResources, 6(4), 3791-3808.

[12] Ioelovich, M ., 2014. Waste Paper as Promising Feedstock for Production of Biofuel. Journal of Scientific Research & Reports, 3(7): 905-916.

[13] Lee, S. M., Koo, Y. M. and Lin, J., 2004. Production of lactic acid from paper sludge by simultaneous saccharification and fermentation. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, 87: 173-194.

[14] Bierman, C. J., 1996. Handbook of pulping and papermaking. 2nd ed, Academic Press, San Diego, 754p.

[15] Achternbosch, M., Bräutigam, K.R., Hartlieb, N., Kupsch, C., Richers, U. and Stemmerman. P., 2005. Impact of the use of waste on trace element concentrations in cement and concrete. Waste Management & Research, 23: 328–337.

[16] Ahmad, S., Iqbal Malik, M., Bashir Wani, M. and Ahmad, R., 2013. Study of concrete involving use of waste paper sludge ash as partial replacement of cement. IOSR Journal of Engineering, 3(11):6–15

[17] Dunster, A. M., 2007. Characterisation of Mineral Wastes, Resources and Processing technologies – Integrated waste management for the production of construction material, case study: Paper sludge and paper sludge ash in Portland cement manufacture, WRT 177 / WR0115: 1-8.

[18] Hamzeh, Y., Mirzaei, B., Ashori, A., Doosthoseini, K., Rashedi,K. and Olfat, A., 2011. Chemical composition of the paper making solid wastes. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 26 (2): 281-290. (In Persian).

Effect of de-ashing method of recycled paper sludge on its chemical compounds in a bio-refinery concept

Abstract

Paper mill sludge is a solid waste including residual fiber and ash produced in pulping and papermaking processes that, in this study, was supplied from Neka Pars Kaghaz Co. in Mazandaran provience and used as a raw material to evaluate its potantial for manufacturing high value-added products in a bio-refinery concept. After measuring its chemical compounds, above-mentioned sludge was de-ashed by 3 methods using air, CO_2 and stirrer. Then, chemical compounds in each de-ashed sludge was measured and compared with those before the treatments. Moreover, mineral oxide in recycled paper sludge was charecterized using XRF. Results show that de-ashing methods with CO_2, stirrer and air can decrease ash content of recycled paper sludge up to 28.4, 61.84 an 70.99 percent, respectively. Accordingly, cellulose content of it in the air de-ashing, stirrer and CO_2 bobles methods increased about 120, 121, and 64 percent, respectively. Also, de-ashing methods were succesfully act in the calcium oxide removal to 13 percent and basically effeciancy of this methods lies more in the removal of trace oxides. It is worth mentioning that the ash mainly includes of casium, silisium, aluminium and magnesium oxides. Investigation of mineral and organic compounds of recycled paper sludge showed that de-ashing with air is the most efficient in ash removal that can be used as pre-treatment before all processes to obtain high-value added products in a bio-refinery concept.

Keywords: recycled paper sludge, ash, de-ashing, bio-refinery.

R. Barzegar[1]
E. Rasooly Garmaroody[2*]
S.R. Jafari Petroudy[3]
S. Hamedi[4]

[1] M. Sc student, Department of cellulose and paper technology, Faculty of new technologies, Zirab campus, Shahid Beheshti university, Savadkooh, Iran

[2] Assistant Prof., Department of cellulose and paper technology, Faculty of new technologies, Zirab campus, Shahid Beheshti university, Savadkooh, Iran

[3] Assistant Prof., Department of cellulose and paper technology, Faculty of new technologies, Zirab campus, Shahid Beheshti university, Savadkooh, Iran

[4] Assistant Prof., Department of cellulose and paper technology, Faculty of new technologies, Zirab campus, Shahid Beheshti university, Savadkooh, Iran

Corresponding author:
e_rasooly@sbu.ac.ir

Received: 2017/01/04
Accepted: 2017/02/12