

## بررسی قابلیت استفاده از فرایند الکتروکواگولاسیون با استفاده از الکترودهای آلومینیوم در کاهش TSS و COD پساب کارخانه بازیافت کاغذ

حجت همت آبادی<sup>۱</sup> و ربیع بهروز<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تربیت مدرس

<sup>۲</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تربیت مدرس

### چکیده

هدف از این بررسی ارزیابی بازده کاهش TSS و COD از پساب صنعتی بازیافت کاغذ توسط فرایند الکتروشیمیایی با استفاده از الکترودهای آلومینیوم است. عامل های زمان الکترولیز (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه)، pH نخستین پساب (۳، ۵، ۷/۵ و ۱۰) و ولتاژ (۹ و ۱۲ ولت) روی بازده فرایند الکتروکواگولاسیون برای تیمار این پساب مورد بررسی قرار گرفت. افزایش زمان الکترولیز سبب کاهش TSS و COD پساب شد. افزایش ولتاژ از ۹ به ۱۲ ولت به طور چشمگیری سبب کاهش TSS و COD پساب شد به طوری که میزان کاهش در ولتاژ ۱۲ برای TSS و COD به ترتیب ۹۹ و ۷۷ درصد بودند اما این میزان کاهش در ولتاژ ۹ به ترتیب ۹۷ و ۳۳ درصد بودند. همچنین نتایج نشان داد که pH نخستین پساب نقش مهمی را در کارایی فرایند ایفا می کند به گونه ای که در محدوده pH خنثی میزان TSS و COD کاهش بیشتری را در فرایند نشان داد. نتایج این تحقیق نشان داد که روش الکتروکواگولاسیون می تواند به عنوان یک روش ساده و موثر برای تیمار پساب کارخانه های بازیافت کاغذ و کاهش آلودگی از آنها مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: الکتروکواگولاسیون، پساب، صنایع بازیافت کاغذ، TSS، COD.

## مقدمه

صنایع تولید کننده خمیر کاغذ و بازیافت کاغذ به عنوان صنایع سلولزی یکی از پر مصرف ترین صنایع از لحاظ مصرف آب و در نتیجه یکی از بزرگترین تولید کنندگان پساب صنعتی به شمار می آیند. فاضلاب این صنایع به دلیل وجود مواد آلی دیر تجزیه پذیر و پیچیده مانند سلولز و لیگنین اثرگذاری های نامطلوبی مانند افزایش رنگ، بو و اکسیژن خواهی (BOD<sup>1</sup> و COD<sup>2</sup>) در آبهای پذیرنده دارند و حیات آبیان را به شدت به مخاطره انداخته و تاثیرگذاری های سوئی مانند جهش زایی و انتشار مواد سرطان زا را به همراه دارند [۱ و ۱۰]. اگر چه این صنعت به دلیل استفاده از کاغذهای باطله و گردآوری آنها به محیط زیست کمک می کند. منابع تولید پساب این صنعت بسته به منطقه جغرافیایی، نوع کاغذ گردآوری شده و مصرفی، سامانه درونی فراوری کاغذ باطله متفاوت می باشد. منشأ این آلاینده ها می تواند افزودنی های شیمیایی مورد استفاده در بخش ماشین کاغذ مانند پرکننده ها و انواع آهار و رنگ، افزودنی های تبدیلی کاغذ شامل مرکب چاپ، رنگدانه ها، چسب، افزودنی های شیمیایی جهت پرداخت سطح کاغذ و مقوا و گستره پرماده ای از مواد و ناخالصی ها که توسط مصرف کننده به کاغذ اضافه می شود، باشد.

در صنعت خمیر و کاغذ کاهش آلودگی محیط زیست یک مسئله مدیریتی و فنی است و به طور ریشه ای دو سازوکار برای رسیدن به این هدف دنبال می شود. یکی از آنها کاهش آلودگی از منبع است که با تغییر در فرایندها می توان به گونه موثری حجم پساب خروجی این صنایع را کاهش داد. سازوکار دیگر، استفاده از تیمارهای مختلف تصفیه پساب است. بر این پایه روش های مختلفی برای تیمار و تصفیه پساب مورد بررسی، آزمایش و اجرا شده اند.

در گزینش روش تصفیه فاضلاب های صنعتی باید نسبت به فرایندی که منجر به تولید فاضلاب می شود شناخت

کافی داشته و ویژگی های فاضلاب های بخش های مختلف فرایند را بررسی نمود و سپس در مورد روش مناسب تصفیه فاضلاب تصمیم گرفت. این مطلب در مورد صنایع تولید خمیر کاغذ و بازیافت کاغذ بسیار مشهود است. تنوع زیاد فرایندهای تولید و نوع ماده نخستین مصرفی در صنایع خمیر و کاغذ سبب وجود ترکیبات پیچیده و آلاینده های متنوع در پساب ایجاد شده می شود این امر سبب می شود که نتوان به آسانی پساب این صنایع را تصفیه کرد و خطرهای احتمالی آنها را برای محیط زیست کاهش داد [۸]. به منظور کاهش آلودگی پساب این صنایع طیف گسترده ای از فرایندهای تصفیه شامل تیمار فیزیکی، شیمیایی، زیستی (بیولوژیکی)، هوازی [۸]، ازون و فرایند اختلاط تیمارها [۷]، مورد استفاده قرار گرفته است. هر یک از این روش ها دارای برتری ها و عیب هایی هستند به عنوان مثال استفاده از روش زیستی برای تصفیه پساب کارخانه های خمیر کاغذ و کاغذسازی زیاد مناسب نیست زیرا مواد آلی با وزن مولکولی بالا مانند ترکیبات حلقوی لیگنین به آسانی توسط میکروارگانیسم های معمولی در فاضلاب تصفیه نمی شوند [۵]. عیب استفاده از روشهای شیمیایی برای تصفیه فاضلاب هزینه زیاد مواد شیمیایی مورد استفاده و همچنین وارد کردن مواد شیمیایی به طبیعت است که با محیط زیست سازگار نیست. در کل عیب عمده این روش ها هزینه اجرای به نسبت زیاد و کارایی نه چندان زیاد آنها در کاهش میزان آلودگی پساب است [۱۰ و ۱۳]. در سال های اخیر، فرایند الکتروکواگولاسیون<sup>۳</sup> که در آن از سازوکار لخته شدگی الکتریکی استفاده می شود، مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. این فرایند به عنوان یک روش اقتصادی، موثر و ساده که بدون عیب های ذکر شده در مقایسه با روش های معمول تصفیه می باشد؛ به طور موفقیت آمیزی برای تیمار انواع پساب های صنعتی به کار برده شده است [۴]. این فرایند به منظور حذف آلاینده ها از محلول استفاده می شود و تغییر و نوسان های شیمیایی در آن ناشی از واکنش انتقال الکترون از میان

<sup>3</sup> Electrocoagulation

<sup>1</sup> Biological Oxygen Demand

<sup>2</sup> Chemical Oxygen Demand

جدا سازی آنها را از فاز آبی آسان می‌کند [۳]. هدف اصلی این تحقیق ارزیابی کارایی فرایند الکتروشیمیایی با استفاده از الکتروکاتولیز آلومینیوم در تصفیه پساب کارخانه بازیافت کاغذ و استفاده بهینه از آب مصرفی تازه در کارخانه است، به طوری با توجه به بحران آب در ایران، استفاده از یک تیمار مناسب مانند الکتروکاتولیز آلومینیوم در پساب این صنایع بتواند علاوه بر کاهش آلودگی، سبب ایجاد یک منبع ذخیره آب شود که استفاده دوباره آب را برای تولید کاغذ در یک سامانه بسته فراهم کند.

### مواد و روش ها

#### محل تهیه نمونه پساب

نمونه برداری از بخش خروجی پساب کارخانه بازیافت کاغذ واقع در ۵ کیلومتری دریای خزر که از انواع کاغذهای باطله برای تولید کاغذ مقوا استفاده می‌کند، انجام شد. پس از نمونه برداری، نمونه ها به آزمایشگاه منتقل شدند و در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند. ویژگی های پساب مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. برای تنظیم pH های نخستین پساب در محدوده اسیدی از اسید سولفوریک و در محدوده قلیایی از محلول هیدروکسید سدیم رقیق استفاده شد.

سطح مشترک محلول و الکتروکاتولیز می‌باشد. جریان الکتریکی از میان دو الکتروکاتولیز صفحه‌ای موازی عبور کرده و سبب اکسیداسیون فلز به کاتیون آن می‌شود. در واقع، در این فرایند ولتاژ مورد استفاده بین دو الکتروکاتولیز در یک سلول واکنش را به پیش می‌برد. کاربرد روش الکتروشیمیایی برای کاهش مواد آلی آلوده‌کننده، برتری-هایی شامل: سازگاری با محیط زیست، استفاده کارآ از انرژی، نیاز به تجهیزات ساده، آسانی و دوره کوتاه انجام کار و کاهش میزان لجن را نسبت به روش‌های شیمیایی و زیستی و دیگر روش‌ها دارد [۶]. یک سامانه الکتروشیمیایی به طور ساده شامل یک جفت الکتروکاتولیز (یک آند و یک کاتد) است که به صورت موازی قرار گرفته و توسط یک منبع انرژی الکتریکی جریان مستقیم تغذیه می‌شود. الکتروکاتولیز مورد استفاده در این فرایند بیشتر آهن، آلومینیوم و گاهی فولاد هستند. عبور جریان از الکتروکاتولیز سبب اکسید شدن آن و تولید یون‌های هیدروکسید می‌کند که این یون‌ها قابلیت لخته‌کنندگی دارند. حرکت این یون‌ها در محلول سبب ایجاد جذب سطحی مواد آلی یا آلودگی می‌شود. گاز هیدروژن آزاد شده در کاتد و همچنین اکسیژن آزاد شده در آند سبب ایجاد یک جریان رو به بالا می‌شود که این سبب حرکت ذرات به روی سطح محلول می‌شود. ایجاد پیوند بین ذره ها سبب چسبیدن ذره های لخته شده به هم می‌شود که

جدول ۱- مشخصات پساب کارخانه قبل از تیمار

پارامترها	مقدار
pH	۷/۵۶
COD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	۲۲۸۶/۳
BOD <sub>5</sub> ( $\text{mg L}^{-1}$ )	۱۲۸۶
کدورت (NTU)	۲۴۵۶

بود. ابعاد هر یک از الکتروکاتولیزها به طول ۱۰ و عرض ۵ سانتیمتر بود که به فاصله ۱ سانتیمتر از هم و به صورت موازی قرار گرفتند. این الکتروکاتولیزها در هنگام انجام عملیات الکتروکاتولیز توسط سیم های گیره دار به دو قطب منبع انرژی متصل شدند. منبع انرژی الکتریکی مورد استفاده

#### ویژگی های کلی راکتور

راکتوری که در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفت راکتور استوانه ای از جنس پلکسی گلاس به ارتفاع ۱۵ و قطر ۸ سانتی متر بود. در درون این استوانه دستگاه الکتروکاتولیز قرار داشت که دارای چهار الکتروکاتولیز آلومینیوم

در این تحقیق از طرح آماری کاملاً تصادفی متعادل تحت آزمایش فاکتوریل (۲\*۴\*۴) با عامل‌های مدت زمان تیمار ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه، pH نخستین محلول ۳، ۵، ۷/۵ و ۱۰ و دو سطح ولتاژ ۹ و ۱۲ ولت استفاده شد و در صورت معنی‌دار شدن اثر عامل‌ها، از آزمون مقایسه میانگین دانکن برای گروه بندی تیمارها بهره گرفته شد.

### نتایج و بحث

اثرگذاری تیمار الکتروشیمیایی با استفاده از الکتروکود آلومینیوم روی میزان COD پساب

اثر مستقل ولتاژ مورد استفاده در تیمار الکتروشیمیایی پساب روی COD در شکل ۱ نشان داده شده است. این بررسی نشان داد که با افزایش ولتاژ از ۹ به ۱۲ ولت COD نمونه‌ها به طور قابل توجهی کاهش یافت. به طوری که میزان COD پساب از میزان ۱۴۰۰ mg/l با ولتاژ ۹ ولت به ۱۲۰۰ mg/l در ولتاژ ۱۲ ولت رسید.

در ارتباط با اثرگذاری مستقل زمان تیمار روی میزان COD پساب، شکل ۲ نشان می‌دهد که افزایش مدت زمان تیمار از ۱۰ تا ۶۰ دقیقه میزان COD به طور یکنواخت کاهش یافته است. به طوری که مدت زمان واکنش ۶۰ دقیقه بیشترین میزان کاهش COD را نشان داد. بررسی اثرگذاری مستقل میزان pH نخستین پساب روی کارایی فرایند الکتروشیمیایی در کاهش COD برابر شکل ۳ نشان می‌دهد که بیشترین کارایی در محدوده pH خنثی ۵ و ۷/۵ دیده می‌شود و این فرایند در محدوده اسیدی و قلیایی کارایی کمتری دارد. بررسی اثرگذاری متقابل ولتاژ و زمان واکنش نشان داد که اثر گذاری ولتاژ روی کارایی کاهش میزان COD در ۱۰ و ۶۰ دقیقه نزدیک به یکسان است اما در ۲۰ و ۳۰ دقیقه زمان تیمار، ولتاژ ۱۲ کارایی بیشتری داشت (شکل ۴).

یک ترانسفورماتور کاهنده ولتاژ بود که ولتاژ برق شهر (۲۲۰ ولت) را به دو ولتاژ مورد استفاده در این تحقیق (۹ و ۱۲ ولت) تبدیل می‌کرد. هم چنین از یک همزن مغناطیسی با دور ثابت ۲۰۰ rpm برای هم زدن آرام و دائم مخلوط استفاده شد. دمای محلول الکتروولیت در درون راکتور دمای محیط (حدود  $24 \pm 2$  درجه سلسیوس) برای همه آزمایش‌ها یکسان بود.

### اندازه‌گیری ویژگی‌های پساب

میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) پساب

اندازه‌گیری COD به روش رفلکس کالری متریک انجام شد [۲]. میزان ۲۰ میلی لیتر از نمونه مورد آزمایش (در صورت لزوم باید آن را رقیق کرد) در یک بالن ۲۵۰ میلی لیتری ریخته شد. ۲/۵ میلی لیتر از نمونه با ۳ میلی لیتر از محلول a و ۱/۵ میلی لیتر از محلول b مخلوط شدند (محلول a و b برابر استاندارد تهیه شدند) و پس از هم زدن به مدت ۱۲۰ دقیقه در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس در درون دستگاه ترموراکتور مدل Velp Scientifica Eco 16 قرار داده شد تا هضم شود. پس از خنک شدن میزان ضریب جذب محلول در طول موج ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه فتومتر مدل Palintest 8000 قرائت شد. میزان عدد خوانده شده روی منحنی واسنجی (کالیبراسیون) تطبیق داده شد و میزان COD نمونه مشخص شد و ضریب رقت در صورت لزوم اعمال شد. میزان کاهش COD از رابطه ۱ محاسبه شد.

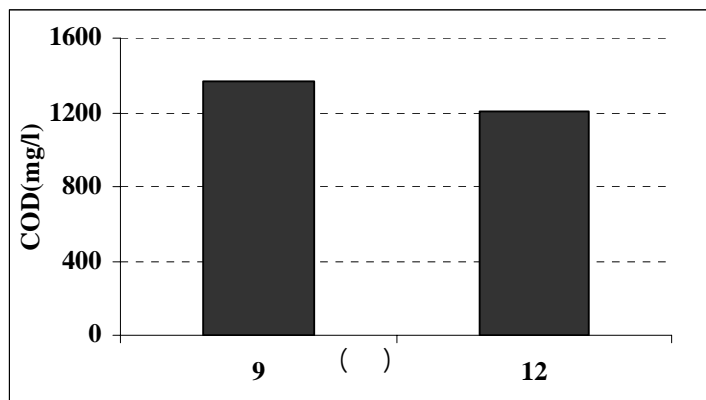
رابطه ۱:

$$COD \times 100 = \frac{COD \text{ ثانویه} - COD \text{ اولیه}}{COD \text{ اولیه}} \times 100 = \text{درصد کاهش COD}$$

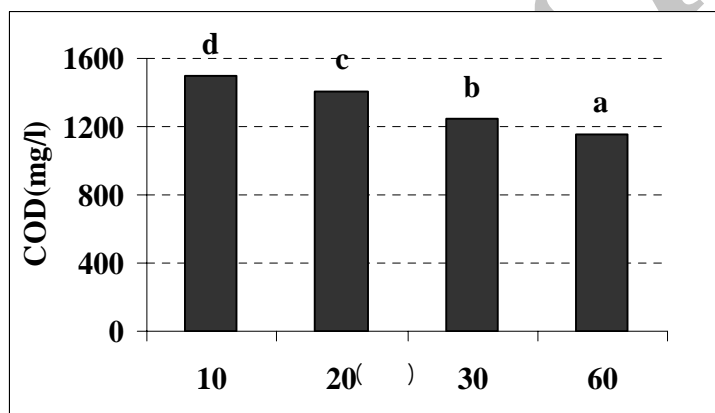
### میزان TSS<sup>۱</sup> پساب

TSS نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی پشم شیشه (فایبر گلاس) مدل Macherey-nagel, Grade GF-3 و بر پایه روش بیان شده در آزمایش‌های آب و فاضلاب [۲] اندازه‌گیری شد.

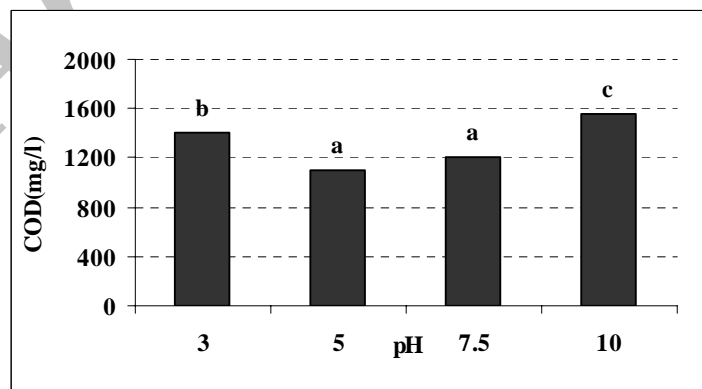
<sup>۱</sup>Total Suspended Solids



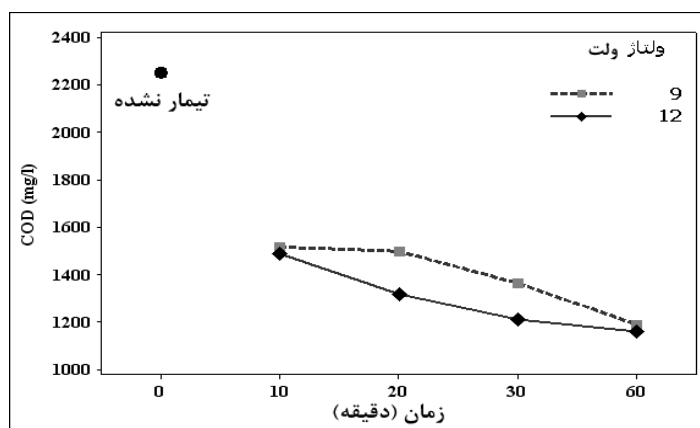
شکل ۱- اثر مستقل ولتاژ روی کاهش COD پساب



شکل ۲- اثر مستقل زمان واکنش روی کاهش COD پساب



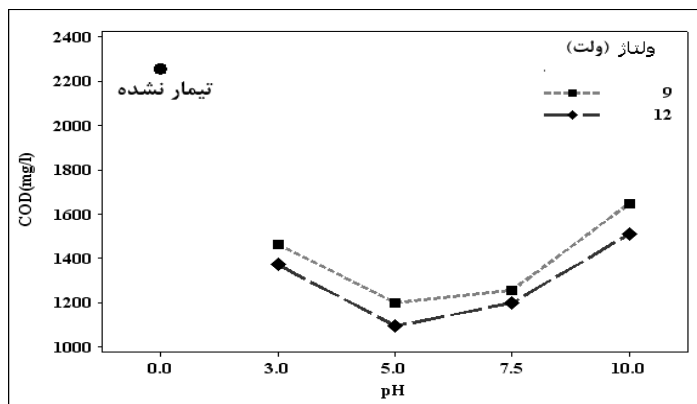
شکل ۳- اثر مستقل pH روی کاهش COD پساب



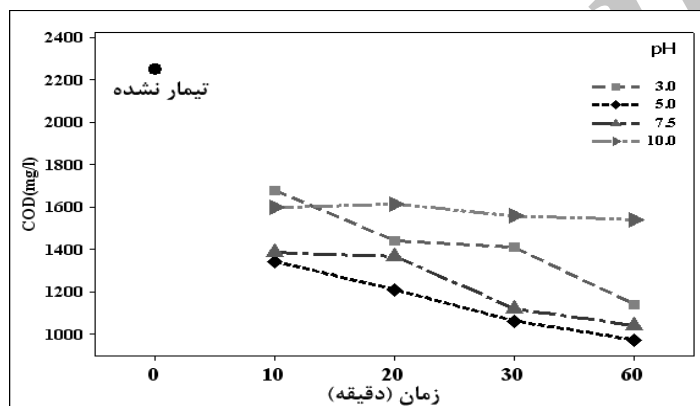
شکل ۴- اثر متقابل ولتاژ و زمان واکنش روی کاهش COD پساب

لجن شناور سازی شده روی سطح مایع و کاهش میزان آلودگی می‌شود [۱۲]. کاهش بیشتر COD در طی pH های در محدوده ۵ و ۷/۵ را نیز می‌توان به وجود ترکیبات هیدروکسید آلومینیوم متفاوت مربوط دانست که در محدوده خنثی کارایی جذب بیشتری دارند [۱۴ و ۱۲]. کاهش COD پساب های مختلف در طی فرایند الکتروشیمیایی با استفاده از الکتروکواگولاسیون در چندین بررسی گزارش شده است. در طی تحقیقی از Wang et al. (2009)، روی پساب تولید شده از یک کارگاه لباسشویی، آنان دریافتند که COD این پساب در شرایط استفاده از ولتاژ ۵ حدود ۶۶ درصد کاهش داشت. در تحقیق دیگر Bellakhal و Zaied (2009)، تاثیرگذاری های مدت زمان تیمار الکتروشیمیایی، pH واکنش و شدت جریان را بررسی کردند و شرایط تیمار با زمان ۵۰ دقیقه، pH نخستین ۷ را بهترین شرایط برای کاهش COD بیان کردند. دلیل کاهش بیشتر COD با استفاده از ولتاژ ۱۲ نسبت به ولتاژ ۹ را می‌توان به انحلال بیشتر الکتروکواگولاسیون و افزایش بیشتر تولید هیدروکسیدهای آلومینیوم در فرایند دانست. همچنین، دیدن این روند در طی افزایش زمان واکنش نیز می‌تواند به همین دلیل باشد.

اثرگذاری متقابل ولتاژ و pH نخستین پساب روی COD نشان داد که افزایش ولتاژ در همه pH های واکنش تاثیر معنی داری را بر روی کاهش COD نشان داد (شکل ۵) هم چنین pH نخستین ۵ کارایی بهتری را نسبت به pH های دیگر در هر دو ولتاژ ۹ و ۱۲ ولت در کاهش COD نشان داد. شکل ۶ اثرگذاری متقابل pH و زمان تیمار را روی کاهش COD نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل دیده می‌شود در هر چهار سطح pH، زمان واکنش اثر معنی داری را در کاهش COD داشت به طوری که این کاهش در pH های محدوده ۵ و ۷/۵ بیشتر دیده شد. نکته جالب توجه اینکه در زمان تیمار ۱۰ دقیقه بیشترین کاهش COD در پساب تیمار نشده ایجاد شده است که بیانگر شتاب سازوکار لخته شونده ذره ها و رفتار به تدریج کم شونده آن به مرور زمان است. معنی دار بودن اثر ولتاژ به کار برده شده روی کاهش COD در فرایند الکتروشیمیایی با استفاده از الکتروکواگولاسیون به این علت است که در ولتاژ بالاتر میزان انحلال الکتروکواگولاسیون بیشتر می‌شود و این خود باعث افزایش ترکیبات کاتیونیک هیدروکسی آلومینیومی می‌شود این ترکیبات ویژگی لخته کنندگی دارند که وجود بیشتر آنها سبب افزایش بیشتر در کاهش COD پساب می‌شود. علاوه بر این افزایش ولتاژ با افزایش میزان و شتاب حبابها و کاهش اندازه آنها باعث شدت بخشیدن به جریان رو به بالا درون فرایند می‌شود که این خود باعث افزایش ایجاد



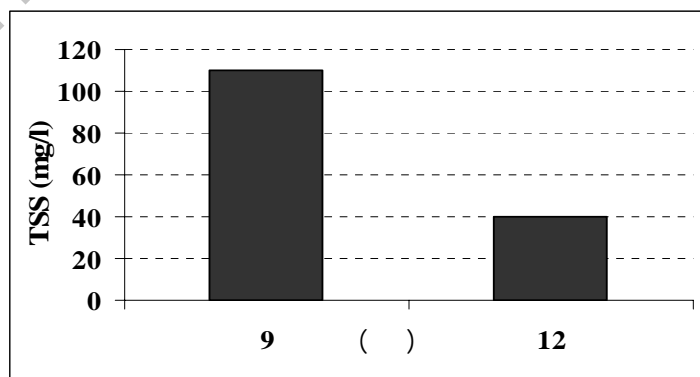
شکل ۵- اثر متقابل ولتاژ و pH روی کاهش COD پساب



شکل ۶- اثر متقابل pH و زمان واکنش روی کاهش COD پساب

الکتروشیمیایی با الکترو د آلومینیوم کاهش یافت (شکل ۷).

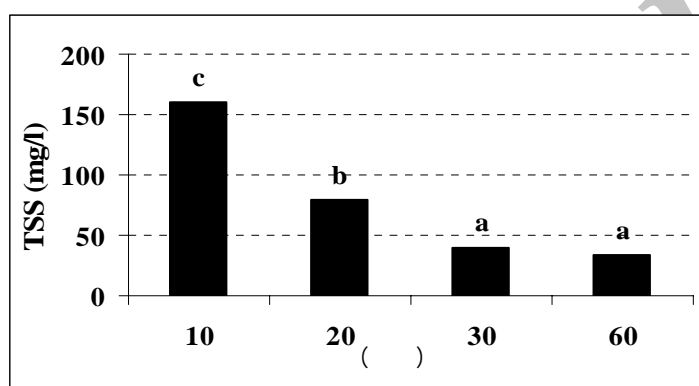
اثرگذاری تیمار الکتروشیمیایی با استفاده از الکترو د آلومینیوم روی میزان TSS پساب بررسی اثرگذاری مستقل ولتاژ نشان داد که با افزایش شدت ولتاژ TSS نمونه های تیمار شده با فرایند



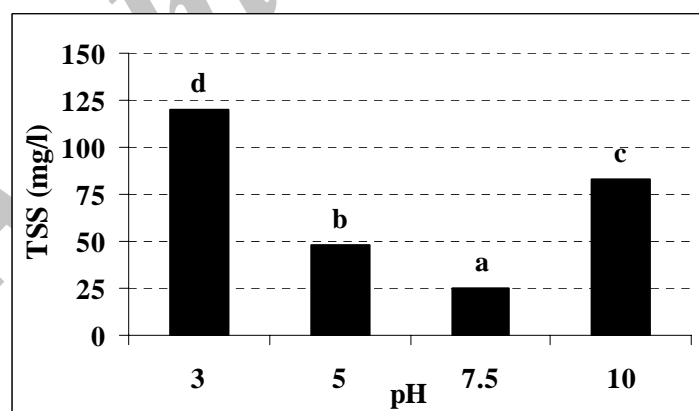
شکل ۷- اثر مستقل ولتاژ روی کاهش TSS پساب

pH از ۳ به ۷/۵ میزان TSS به طور قابل توجهی کاهش یافت و با افزایش دوباره pH از ۷/۵ به ۱۰ کارایی کاهش میزان TSS کاهش کم شد. (شکل ۹). بررسی اثرگذاری متقابل ولتاژ و زمان تیمار بر روی TSS نشان داد که ولتاژ ۱۲ ولت در مدت زمان‌های آغازین ۱۰، ۲۰ دقیقه اثر شدیدتری را کاهش TSS نشان می‌دهد اما با زمان پس از ۲۰ دقیقه، میزان کاهش TSS در هر دو ولتاژ نزدیک به یکسان بود (شکل ۱۰).

در ارتباط با اثرگذاری مستقل زمان روی کاهش TSS پس‌اب شکل ۸ نشان می‌دهد که افزایش زمان واکنش در کاهش TSS به طور قابل توجهی تاثیر داشت به طوری که کاهش TSS در مدت زمان ۱۰ تا ۳۰ دقیقه اول واکنش به طور پرشتاب تری کاهش داشت و پس از آن کمتر شد به گونه ای که اختلاف معنی داری بین میزان TSS پس‌اب تیمار شده در زمان ۳۰ و ۶۰ دیده نشد. اثرگذاری مستقل pH نخستین پس‌اب نیز در کاهش TSS به طور معنی داری تاثیر داشت به طوری که با افزایش

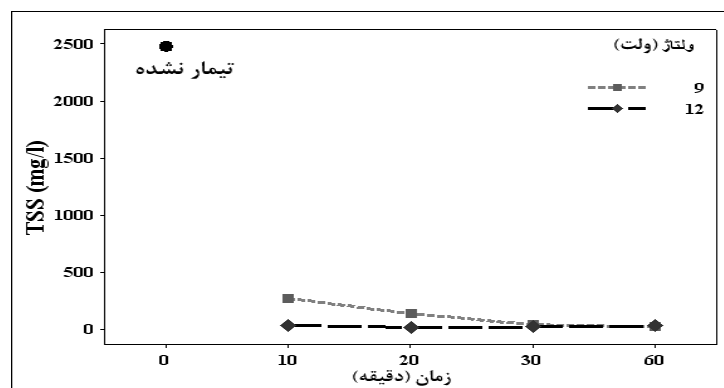


شکل ۸- اثر مستقل زمان واکنش روی کاهش TSS پس‌اب



شکل ۹- اثر مستقل pH روی کاهش TSS پس‌اب

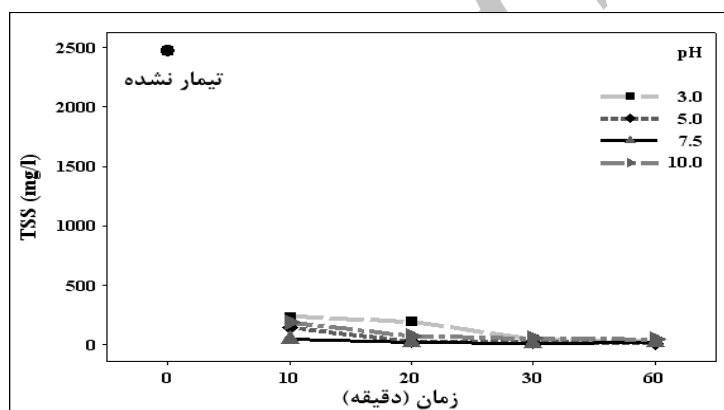




شکل ۱۰- اثر متقابل ولتاژ و زمان واکنش روی کاهش TSS پساب

یافته است. هم چنین کاهش TSS در هر چهار سطح زمان واکنش، در pH های ۵ و ۷/۵ نسبت به pH های اسیدی (۳) و قلیایی (۱۰) بیشتر بود.

در ارتباط با اثرگذاری متقابل pH و زمان تیمار روی TSS پساب، شکل ۱۱ نشان می‌دهد که با افزایش زمان تیمار در pH های مختلف، TSS به طور معنی داری کاهش



شکل ۱۱- اثر متقابل pH و زمان واکنش روی کاهش TSS پساب

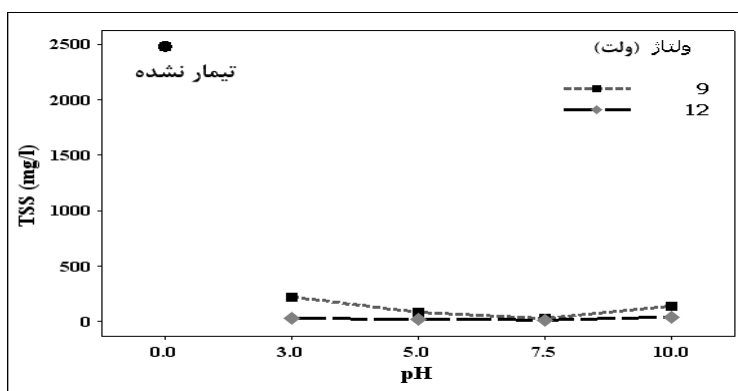
در نتیجه باعث افزایش لجن شناور شده روی سطح مایع و کاهش آلودگی درون مایع می‌شود. هم چنین انحلال الکتروالومینیوم در طی فرایند الکتروشیمیایی در ولتاژ ۱۲ ولت نسبت به ولتاژ ۹ ولت بیشتر است که این سبب بودن بیشتر یون‌های هیدروکسید فلزی که ویژگی لخته‌شدگی دارند در فرایند الکتروشیمیایی می‌شود، در نتیجه سبب کاهش بیشتر TSS پساب می‌شود [۹]. روند تاثیرگذاری افزایش مدت زمان واکنش در کاهش TSS با گزارش تحقیق Chen که در سال ۲۰۰۴ انجام شد همخوانی دارد، به طوری که افزایش مدت زمان الکترولیز

بررسی اثرگذاری متقابل pH و ولتاژ نشان داد که افزایش ولتاژ واکنش در هر چهار سطح pH، اثر معنی داری را در کاهش TSS داشت. بیشترین کاهش TSS در هر دو ولتاژ ۹ و ۱۲ ولت در pH ۷/۵ دیده شد. در ولتاژ ۱۲ ولت کاهش TSS نیز بیش از ولتاژ ۹ ولت بود (شکل ۱۲).

کاهش TSS پساب با بیشتر شدن ولتاژ در فرایند الکتروشیمیایی می‌تواند به علت افزایش شتاب لخته‌شدگی روی سطح مایع و تولید بیشتر حباب‌ها باشد زیرا استفاده از ولتاژ بالاتر باعث شتاب در تشکیل حباب‌های گاز درون مایع و کاهش بیشتر اندازه‌ی آنها می‌شود که

همانند به این در تحقیقی توسط Ugurlo و همکاران نیز بیان شد. آنان گزارش کردند که در pH های محدوده ۴/۵ تا ۸ وجود انواع ترکیبات کاتیونی آلومینیومی در پساب سبب کاهش بیشتر TSS پساب می شود.

تا چند دقیقه نخست واکنش شدت بیشتری نشان می دهد و با ادامه واکنش از این شدت کاهش کاسته می شود. هم چنین کاهش TSS در pH های ۷/۵ و ۵ بیشتر از pH های اسیدی (۳) و قلیایی (۱۰) بود. نتایجی



شکل ۱۲- اثر متقابل ولتاژ و pH روی کاهش TSS پساب

به طوری که توانست در بهترین شرایط بیش از ۹۹ درصد TSS پساب را کاهش دهد. در مجموع می توان نتیجه گرفت که تصفیه پساب کارخانه بازیافت کاغذ به روش الکتروشیمیایی با الکتروکواگولاسیون امکان پذیر است و این روش می تواند به عنوان یک روش مطمئن، ساده، پرشتاب و موثر بارآلودگی پساب کارخانه بازیافت کاغذ را به طور موفقیت آمیزی کاهش دهد.

### نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از آزمایشهای انجام شده نشان داد که افزایش زمان واکنش و ولتاژ در فرایند الکتروشیمیایی با استفاده از الکتروکواگولاسیون، کاهش چشمگیری را در کاهش COD پساب کارخانه بازیافت کاغذ دارد، به طوری که بیشترین میزان کاهش COD پساب در زمان ۶۰ دقیقه و ولتاژ ۱۲ رخ داد. همچنین اثر تیمار الکتروشیمیایی روی کاهش TSS پساب نیز معنی دار بود

### منابع

- 1- Ali, M., Sreekrishnan T.R., 2001. Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents: a review. *Advances in Environmental Research*. 5, 175-196.
- 2- APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1989) 17th edn, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.
- 3- Chen, G., 2004. Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*. 38, 11-41.
- 4- Daneshvar, N., Khataee, A.R., Amani Ghadim A.R., Rasoulifard, M.H., 2007. Decolorization of C.I. Acid Yellow 23 solution by electrocoagulation process: Investigation of operational parameters and evaluation of specific electrical energy consumption (SEEC). *Hazardous Materials*. 148, 566-572.
- 5- Khansorthong, S., Hunsom, M., 2009. Remediation of wastewater from pulp and paper mill industry by the electrochemical technique. *Chemical Engineering Journal*. 151, 228-234.
- 6- Mollah, M.Y.A., Schennach, R., Parga, J.R., Cocke, D.L., 2001. Electrocoagulation (EC)—science and application. *Hazardous Materials*. 84, 29-41.

- 7- Pokhrel, D., Viraraghavan, T., 2004. Treatment of pulp and paper mill wastewater-a review. *Science of the Total Environment*. 333, 37-58.
- 8- Ragnathan, R., Swaminathan, K., 2004. Biological treatment of a pulp and paper industry effluent by *Pleurotus*. *W. J. Microbiology and Biotechnology*. 20, 389–393.
- 9- Sivakumar, M., Emamjomeh, M.M., Chen, M. (2009). Use of electrocoagulation (EC) as an alternative method to chemical coagulation in water treatment. In: Eighth Annual Environmental Engineering Research Event (EERE) Conference, 6th–9th.
- 10- Ugurlua M., Gurses A., Dogar C., Yalcin M., 2008. The removal of lignin and phenol from paper mill effluents by electrocoagulation. *Journal of Environmental Management*, 87(3), 420–428.
- 11- Zaid, M., Bellakhal, N., 2009. Electrocoagulation treatment of black liquor from paper industry, *Journal of Hazardous Materials*, 163, 995–1000.
- 12- Daneshvar Nezam, Oladegaragoze Ali and N. Djafarzadeh, 2006, *Journal of Hazardous Materials*, 129, 116-122.
- 13- Cecen, F., Urban, W., Haberl, R., 1992, *Water Sci. Technol.*, 26, 435–444.
- 14- Kalyani, K.S.P., Balasubramanian, N., Srinivasakannan, C., 2003, Decolorization and COD Reduction of Paper Industrial Effluent Using Electro-coagulation, *Chem. Eng. J.*, 151, 97-104.

Archive of SID

## Investigation of Electro coagulation Process on TSS and COD Removal from Effluent of the Paper Recycling Mill Using Al Electrodes

H. Hematabadi<sup>1</sup> and R. Behrooz<sup>\*2</sup>

### Abstract

The aim of this research was investigation on the performance of an electrocoagulation process with aluminum sacrificial anode for removal of TSS and COD from effluent of a paper recycling mill. The effect of electrolysis time (10, 20, 30 and 60 min), initial electrolyte pH (3, 5, 7.5 and 10), and voltage (9 and 12V) were studied on the electrocoagulation efficiency. Increase of voltage from 9 to 12 V caused significantly removal of TSS and COD which the highest removal rate at 12 voltages for TSS and COD were 99%, and 77%, respectively, while the values for the same parameters at voltage 9 were 97% and 33%. The results also show that the initial pH of effluent has a key role in process efficiency so that in neutral limit the TSS and COD removal was more than the other pHs. It can be concluded that EC technique can be used as a simple and efficient method for treatment of paper recycling mill effluent and thereby pollution reduction.

**Keywords:** Electrocoagulation, Paper recycling, Effluent, TSS, COD.

---

\* Corresponding author: Email: Rabi.behrooz@modares.ac.ir