

امکان سنجی کاربرد فرایند تصفیه الکتروشیمیایی در تجزیه پروپیلن گلیکول در آبهای آلوده

نعمت اله جعفرزاده حقیق فرد^۱ امیر رضا طلایی^۲ محمد رضا طلایی^۳ سهند جرفی^۴

خلاصه

زمینه و هدف: پروپیلن گلیکول ترکیبی است که در بسیاری از صنایع به کار می رود و در فاضلابهای آنها نیز با مقادیر زیاد مشاهده می گردد. تصفیه بیولوژیکی این ترکیب در غلظت های بالا سخت بوده و بعضاً با مشکلاتی همراه است. هدف از این مطالعه بررسی تجزیه الکتروشیمیایی پروپیلن گلیکول و برخی پارامترهای موثر در افزایش راندمان تصفیه به این روش بود.

روش و بررسی: در این مطالعه با عبور جریان برق از فاضلاب حاوی پروپیلن گلیکول تجزیه این ترکیب به روش الکتروشیمیایی انجام شد. جهت بررسی این روش تصفیه در این مطالعه از چند نوع الکتروود و ولتاژهای مختلف مابین ۵ الی ۵۰ ولت استفاده گردید. با توجه به گزارش تاثیر غلظت کلرید سدیم بر روی میزان حذف ترکیبات آلی در روش الکتروشیمیایی توسط برخی محققین، این آزمایش ها در غلظت های مختلف کلرید سدیم نیز انجام شد.

یافته ها و نتیجه گیری: در بهترین شرایط این روش قادر به حذف ۹۰ درصد اکسیدان خواهی شیمیایی (COD) فاضلاب ورودی بوده و نتایج بدست آمده نشان داد که افزایش میزان ولتاژ ورودی به الکتروودها و افزایش غلظت کلرید سدیم و همچنین افزایش زمان ماند منجر به افزایش راندمان حذف می گردد. زمان ماند بهینه در این مطالعه حدود ۵۰ دقیقه بدست آمد. از میان انواع الکتروودهای مورد آزمایش در این مطالعه الکتروود از جنس آلومینیوم بالاترین راندمان را ایجاد نمود که دلیل این امر نیز به تولید مواد منعقد کننده (کاتیون های سه ظرفیتی الومینیوم) مربوط می گردد. نتایج این مطالعه نشان داد استفاده از این روش در تصفیه پیشرفته چنین فاضلابهای صنعتی، می تواند بسیار مفید باشد

کلمات کلیدی: تصفیه، الکتروشیمیایی، فاضلاب صنعتی، پروپیلن گلیکول

-
- ۱ - دانشیار گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز
 - ۲ - کارشناس ارشد و عضو هیئت علمی گروه عمران و محیط زیست موسسه آموزش عالی جامی
 - ۳ - دانشیار گروه مهندسی شیمی دانشگاه اصفهان
 - ۴ - دانشجوی دکتری بهداشت محیط دانشگاه تربیت مدرس

Evaluation of electrochemical treatment in degradation of wastewater contaminated by propylene glycol

N.Jafaarzadeh A.R.Talaie M.R.Talaie S.Jorfi

Abstract

Introduction and aims: Propylene glycol is applied in many industries as raw material and can be released to the environment through wastewater of such industries. The biological treatment of solutions containing high concentration of propylene glycol is difficult and some problems can be observed during this process. The main objective of this study was the investigation of electrochemical degradation of propylene glycol and the parameters influencing on improving removal efficiency.

Material and methods: In this study the degradation of propylene glycol was made by passing an electrical current through the synthetic wastewater containing propylene glycol. In order to investigate this process several types of electrode with applied voltage ranging between 5 to 50 V was used. Due to the effect of NaCl concentration on removal efficiency which was mentioned in the literature, the experiment was performed for different NaCl concentrations.

Results and discussion: In optimum condition, the maximum removal efficiency of propylene glycol (based on COD) was obtained equal to 90%. The results showed that rising applied voltage, NaCl concentration and retention time increase the removal efficiency. The optimum retention time was obtained equal to 50 min. The maximum removal was attained when aluminum electrode was used. It can be attributed to the production of coagulant material such as Al^{+3} during this process. The results revealed that this process can be useful for treating the industrial wastewater containing propylene glycol.

Key words: electrochemical treatment, industrial waste water, propylene glycol.

پروپیلن گلیکول یک ترکیب شیمیایی آلی است که کاربردهای گسترده ای در صنایع بهداشتی و آرایشی، دارویی، مواد غذایی و صنایع شیمیایی دارد. تماس با این ترکیب می تواند منجر به بروز آثار پوستی نظیر اریتما، تحریک پذیری، تورم پوستی و آثار سیستمیک نظیر کاهش هموگلوبولین، کاهش هماتوکریت ها و اریتروسیت ها، کاهش گلوبولهای سفید خون و لنفوسیتها در زنان، کوچک شدن کلیه و افزایش و کاهش وزن بدن به خارج از محدوده طبیعی شود [۱،۲،۳].

پروپیلن گلیکول پس از ورود به محیط نهایتاً به آبهای زیر زمینی راه یافته و منجر به آلودگی آنها می شود و یا در صورت ورود به آبهای سطحی به شدت اکسیژن محلول در دسترس جانوران و گیاهان آبی را مصرف نموده و شرایط نامناسبی در اکوسیستم آبی ایجاد می کند. همچنین بخش قابل توجهی از آن وارد زمین شده و محیط زیست و به ویژه خاکهای محل را آلوده می کند [۴،۵]. محققین مختلفی به بررسی روشهای مختلف تجزیه و حذف پروپیلن گلیکول در محیط های آبی پرداخته اند. بسیاری از آنها از روشهای بیولوژیکی برای حذف پروپیلن گلیکول استفاده نموده و نشان داده اند که این روشها می توانند روشی مناسب و مفید در تجزیه این ماده در فاضلاب باشند [۱، ۳، ۵]. با وجود مناسب بودن روشهای بیولوژیکی، انجام مطالعات گوناگون درباره کاربرد سایر روشها خصوصاً روشهای الکتروشیمیایی به عنوان تصفیه ثانویه و یا تصفیه پیشرفته می تواند بسیار مفید باشد. مزایای استفاده از تکنیک الکتروشیمیایی در تصفیه فاضلاب شامل سازگاری با محیط زیست، ساخت راکتورهای چند منظوره، بازدهی بالا، ایمن بودن، انتخاب گری، سازگار با مکانیزه شدن، سادگی طراحی و ساخت و ساخت ارزاتر نسبت به راکتورهای بیولوژیکی متداول است. مکانیسم تجزیه مواد آلی در روش الکتروشیمیایی، تغییرات شیمیایی ناشی از انتقال الکترون بین ماده آلی و الکترودهای به کار رفته می باشد [۶].

برخی محققین به بررسی روش های مختلف تصفیه الکترو شیمیایی پرداخته اند که از آن جمله می توان به کار رحمانی و همکاران اشاره نمود. نامبردگان در مطالعه خود به بررسی تصفیه پذیری پسابهای شهری پرداختند و موفق به کاهش ۷۴ درصدی COD فاضلاب در مدت زمان ۶۰ دقیقه شدند [۸]. ربانی نیز در مطالعه خود به بررسی بازدهی کاهش آلودگی در تصفیه پیشرفته با کمک کاربرد همزمان نور خورشید و روش الکتروشیمیایی پرداخت و موفق به کاهش آلودگی در حدی مطلوب گردید [۹]. دانشور و همکارانش نیز به بررسی کاهش رنگ موجود در آب به کمک این روش پرداختند و نهایتاً موفق به کاهش رنگهای خاص (نارنجی ۱۱ و قرمز ۱۴) اضافه شده به آب گردیدند [۱۰، ۱۱]. همچنین پانیزا^۱ و همکارانش به بررسی تصفیه پذیری مواد آلی پلی آروماتیک موجود در فاضلاب در یک سیستم پیوسته پرداختند. آنها موفقیت این روش را در تجزیه ایت ترکیبات تایید و تاثیر الکترودهای با جنس های مختلف را همچون دی اکسید تیتانیوم بررسی نمودند. آنها همچنین دریافتند غلظت کلرید سدیم در تجزیه اینگونه ترکیبات بسیار حیاتی است [۱۲]. محوی و همکاران نیز به بررسی حذف فسفر توسط روش الکتروشیمیایی پرداختند. آنها موفق به حذف ۹۰ درصد فسفر موجود در فاضلاب ورودی به کمک الکترودی از جنس آلومینیوم شدند. آنها متوجه شدند که

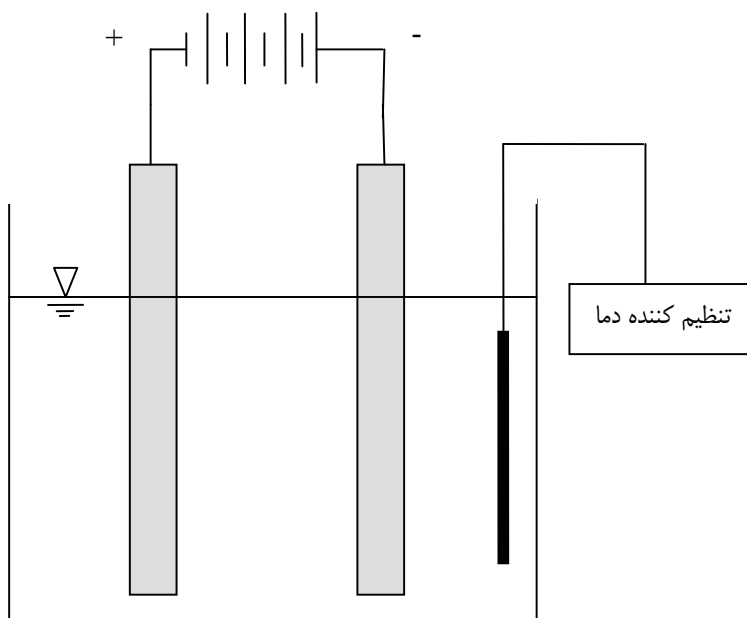
^۱ - Panizza

این نوع الکتروود به دلیل تولید عوامل فلوکه کننده (کاتیونهای سه ظرفیتی آلومینیوم) از سایر الکتروودهای بکارگرفته شده موثرتر می باشد [۶].

۲- مواد و روشها

۱-۲- کلیات آزمایش

در این مطالعه برای بررسی میزان کارایی فرایند الکتروشیمیایی در تصفیه فاضلابهای حاوی پروپیلن گلیکول از سیستم نمایش داده شده در شکل ۱ که در مقیاس آزمایشگاهی تهیه شده بود استفاده گردید. برای ایجاد سیستم نمایش داده شده در این شکل از یک بشر شیشه ای ۱۰۰۰ میلی لیتری استفاده شد.



شکل ۱: نمایی از الکتروودها و سیستم بررسی تصفیه پذیری پروپیلن گلیکول به روش الکتروشیمیایی

در این آزمایش از یک مبدل الکتریکی که توانایی تبدیل ولتاژ ۲۲۰ را به ولتاژهای ۵ الی ۵۰ ولت داشت استفاده شد. مشخصات مبدل الکتریکی فوق که بصورت سفارشی برای این مطالعه طراحی و ساخته شد به شرح جدول ۱ می باشد. ورودی مبدل الکتریکی برق متناوب شهری و خروجی آن به واسطه یک برد الکتریکی خاص برق مستقیم بود. با قطع اتصال برد الکتریکی مذکور محققین می توانستند از برق متناوب نیز در مطالعه خود استفاده نمایند. با توجه به اهمیت دما بر تغییر میزان تجزیه پروپیلن گلیکول، در این آزمایش از یک تنظیم کننده دما که قادر به ثابت نگهداشتن آن در محدوده ۲۰ الی ۴۰ درجه سانتیگراد بود استفاده گردید. این تنظیم کننده دما برای ثابت نگهداشتن دما بر روی ۲۵ درجه سانتیگراد تنظیم گشت.

سطح هر یک از الکترودهای مختلفی که در این مطالعه مورد استفاده قرار می گرفت همگی یکسان و در حدود ۳ سانتیمتر مربع انتخاب گردید که با فاصله ای ۲ سانتیمتری از یکدیگر قرار می گرفتند.

جدول ۱: مشخصات مبدل برق به کار گرفته شده در مطالعه

ولتاژهای قابل تولید بر حسب ولت	۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵ و ۵۰
ورودی	AC (برق شهری ۲۲۰ ولت)
خروجی	DC
آمپراژ خروجی	۱۰۰۰ میلی آمپر
فرکانس ورودی	۵۰ الی ۶۰ هرتز

در این مطالعه از الکترودهای آهن، مس، روی، آلومینیوم و برخی آلیاژها همچون برنج و صفحات حلبی و گالوانیزه جهت تعیین بهترین و کارآمدترین الکترودها در ولتاژهای مختلف استفاده گشت. کلیه مراحل آزمایش در مقیاس آزمایشگاهی و در بشری با حجم ۱۰۰۰ میلی لیتر انجام پذیرفت. در این مطالعه از روش بررسی تغییرات یک عامل در زمان^۱ برای تعیین بهترین الکترودها استفاده گردید و هیچ روش آماری مورد استفاده قرار نگرفت.

به منظور شروع کار ابتدا آزمایش ها با کمک الکترودهای مختلف با فاصله ۲ سانتیمتر از یکدیگر و دقیقاً مطابق شرایط فوق الذکر و سیستم نمایش داده شده در شکل ۱ انجام شد. سپس بهترین الکترودها که بالاترین کارایی را ارائه نموده بود در ادامه آزمایش ها مورد استفاده قرار گرفت. در بخش بعدی این مطالعه اختلاف پتانسیل های مختلف بین ۵ الی ۵۰ ولت به سیستم اعمال گردید تا بهترین اختلاف پتانسیل ممکن مشخص گردد. پس از انجام آزمایش ها با کمک برق مستقیم از برق متناوب نیز برای انجام آزمایش ها استفاده شد.

برای تعیین زمان ماند مطلوب پس از تعیین شرایط بهینه (تعیین جنس الکترودها مناسب و اختلاف پتانسیل مناسب، آزمایش در زمان های ماند مختلف ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ دقیقه تکرار گردید. پس از تعیین زمان ماند بهینه، تاثیر غلظت یون کلر ناشی از اضافه نمودن کلرید سدیم به محیط نیز بررسی گردیدند. در این بخش از بررسی از غلظتهای مختلف کلرید سدیم جهت تعیین غلظت مناسب آن در روش الکتروشیمیایی استفاده شد.

۲-۲- تهیه فاضلاب مصنوعی

برای تولید نمونه مورد نیاز از آب آشامیدنی همراه با مقدار مشخصی پروپیلن گلیکول جهت دستیابی به COD برابر با ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر استفاده گشت. مشخصات آب مورد استفاده در تهیه فاضلاب مصنوعی در جدول ۲ نمایش داده شده است.

¹ - One factor at the time

جدول ۲: کیفیت شیمیایی آب مورد استفاده در تهیه فاضلاب مصنوعی

کل جامدات محلول	۳۴۵ میلی گرم بر لیتر
کل نیتروژن آمونیاکی	تقریباً صفر
فسفات	تقریباً صفر
سختی بر حسب میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم	۳۳۲
pH	۷
هدایت الکتریکی	۱۸۵ میکرو موس بر سانتیمتر

۲-۲- روشهای آزمایش

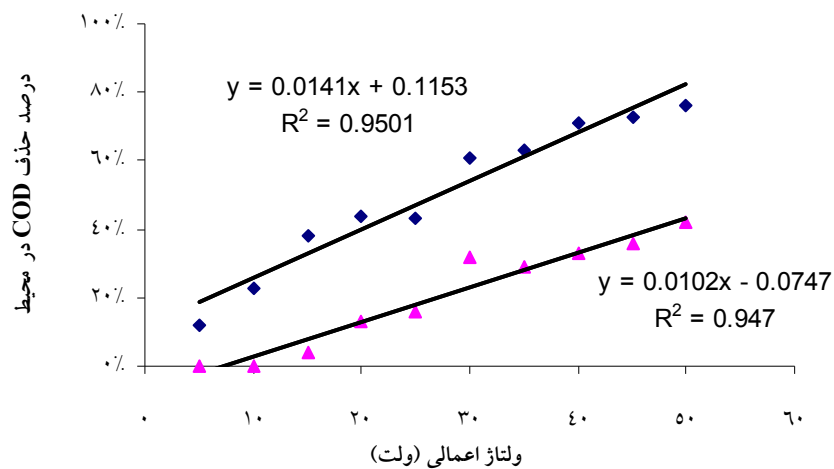
از روش تعیین میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) جهت تعیین مقدار حذف پروپیلن گلیکول استفاده شده و تعیین COD نیز به روش تقطیر باز انجام گرفت [۱۳]. سنجش مشخصات جریان به کمک یک مولتی متر دیجیتال ساخت شرکت ژینوس انجام شد. برای تعیین هدایت الکتریکی و pH از یک دستگاه EC متر و pH متر دیجیتال استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی اثر افزایش اختلاف پتانسیل بر بازدهی حذف آلودگی

در این مطالعه افزایش جریان الکتریسته از ۵ الی ۵۰ ولت منجر به افزایش شدید میزان تجزیه در محیط می گشت. با توجه به ایجاد بیشترین راندمان حذف در اختلاف پتانسیل ۵۰ ولت، این اختلاف پتانسیل در ادامه آزمایش ها مورد استفاده قرار گرفت. تاثیر افزایش اختلاف پتانسیل بر افزایش حذف ترکیبات آلی توسط سایر محققین نیز گزارش گردیده است [۶، ۷].

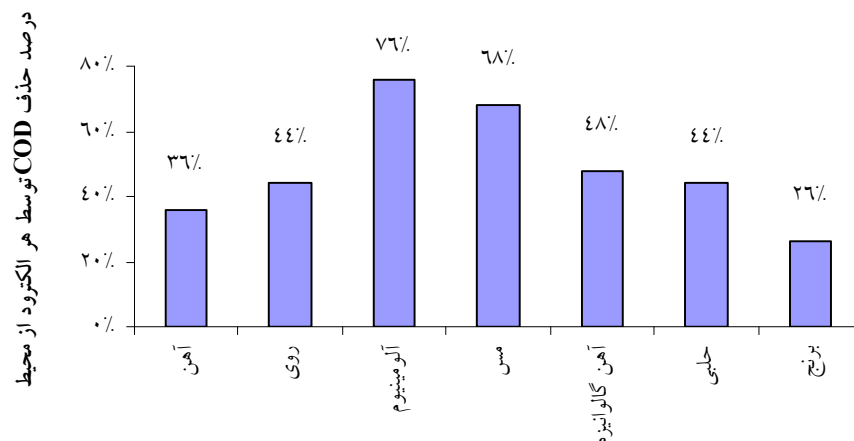
در این مطالعه علاوه بر استفاده از جریان برق مستقیم از جریان برق متناوب نیز استفاده گردید. نتایج راندمان استفاده از جریان برق متناوب بسیار کمتر از جریان برق مستقیم بود که این امر احتمالاً به تغییر مداوم قطب مثبت و منفی جریان الکتریکی برق متناوب مربوط می گردید. در نمودار نمایش داده شده در شکل ۲ تغییرات میزان برق در دو حالت استفاده از برق مستقیم و متناوب نمایش داده شده است. در شکل ۱ نمودارهای برازش دو حالت استفاده از جریان برق مستقیم ($y = 0.0141x + 0.1153$) و جریان برق متناوب ($y = 0.0102x - 0.0747$) نیز نمایش داده شده است. در شکل ۲ علامت های مربع نشان دهنده استفاده از جریان متناوب و علامت های مثلث نشان دهنده استفاده از جریان برق مستقیم است. با توجه به بالاتر بودن راندمان حذف COD در کاربرد جریان برق مستقیم در ادامه آزمایش ها از این جریان استفاده گردید.



شکل ۲: مقایسه مقادیر مختلف برق مستقیم و برق متناوب در حذف COD از فاضلاب
 مثلث ها نشان دهنده استفاده از جریان متناوب و مربع ها نشان دهنده استفاده از جریان مستقیم است

۳-۲- بررسی الکترودهای مختلف

الکترودهای مختلفی جهت تصفیه الکتروشیمیایی به کار گرفته شد. از میان این الکترودها، الکترودی با جنس آلومینیوم بهترین پاسخ را در حذف COD ایجاد نمود. نمودار شکل ۳ بازده حذف هر الکتروود را در زمان ماند ۶۰ دقیقه نمایش می دهد. نتایج نشان داد که راندمان حذف پروپیلن گلیکول توسط الکتروود آلومینیومی حداکثر بوده و برابر با ۷۶ درصد می باشد. در مطالعه محوی و همکارانش نیز بر روی روش الکتروشیمیایی، الکتروود آلومینیومی در میان سایر الکترودهای بکار رفته در مطالعه آنها به عنوان بهترین الکتروود شناخته شد [۶]. با توجه به ایجاد کاتیون سه ظرفیتی آلومینیوم که یک منعقد کننده پر قدرت است می توان به دلیل افزایش راندمان توسط این الکتروود پی برد. با توجه به اینکه راندمان حذف آلودگی توسط الکتروود آلومینیومی حداکثر بود ادامه آزمایش ها به کمک این الکتروود انجام پذیرفت.

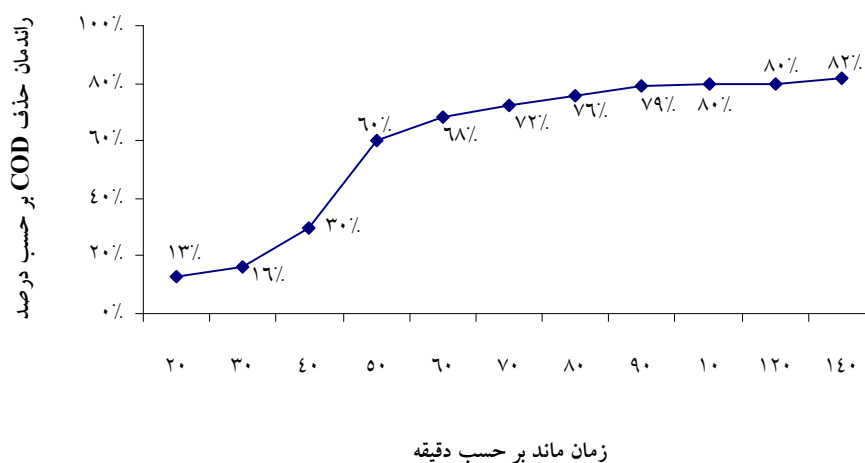


انواع الکترود بکار رفته در تصفیه فاضلابهای حاوی پروپیلن گلیکول

شکل ۳: راندمان حذف آلودگی توسط انواع الکترودهایی با جنس مختلف در زمان ماند ۱۰۰ دقیقه

۳-۳- بررسی تاثیر زمان ماند بر راندمان فرایند تصفیه الکتروشیمیایی

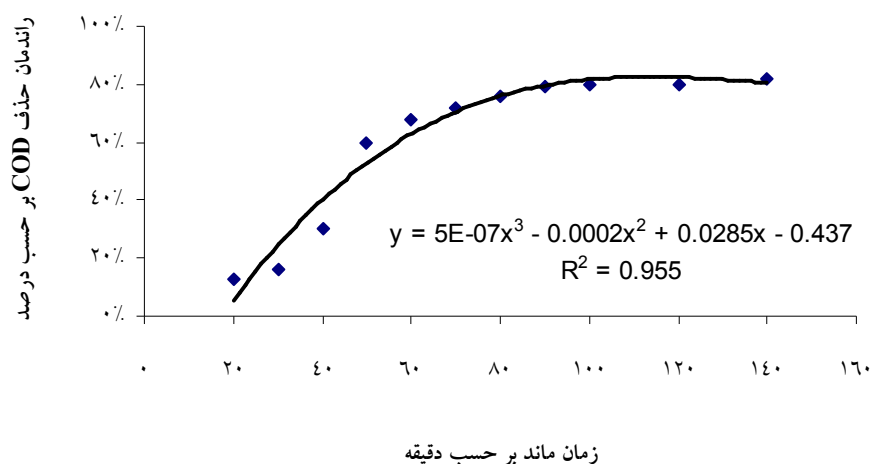
نمودار شکل ۴ وابستگی راندمان تصفیه الکتروشیمیایی به زمان واکنش را نشان می دهد. افزایش زمان ماند در بسیاری از روشهای تصفیه می تواند منجر به تماس بیشتر بین ماده آلاینده و عامل تصفیه کننده شده و راندمان نهایی را افزایش دهد، لیکن معمولاً افزایش راندمان تصفیه در اثر افزایش زمان ماند نسبت خطی نداشته و این میزان پس از طی زمانی مشخص (که این زمان بستگی به نوع فرایند تصفیه دارد)، دیگر منجر به افزایش قابل توجهی در راندمان تصفیه نمی گردد. همان طور که مشخص است در این مطالعه گرچه با افزایش زمان ماند تا حدودی راندمان حذف پروپیلن گلیکول از محیط افزایش می یابد، اما افزایش زیاد این زمان ماند منجر به افزایش چشمگیری در راندمان نمی گردد.



شکل ۴: راندمان حذف COD در زمان های ماند مختلف

در شکل ۴ افزایش زمان ماند از ۲۰ دقیقه به ۳۰ دقیقه منجر به افزایش ۳ درصدی راندمان شده است اما افزایش زمان در محدوده ۴۰ الی ۵۰ دقیقه منجر به افزایش چشم گیر در راندمان حذف COD به میزان ۳۰ درصد گردیده و با افزایش زمان ماند از ۶۰ دقیقه تا ۱۴۰ دقیقه تنها افزایش ۱۴ درصدی راندمان حذف مشاهده می گردد. با توجه به نتایج بدست آمده در این مطالعه زمان ماند مناسب در حدود ۵۰ دقیقه پیشنهاد می شود.

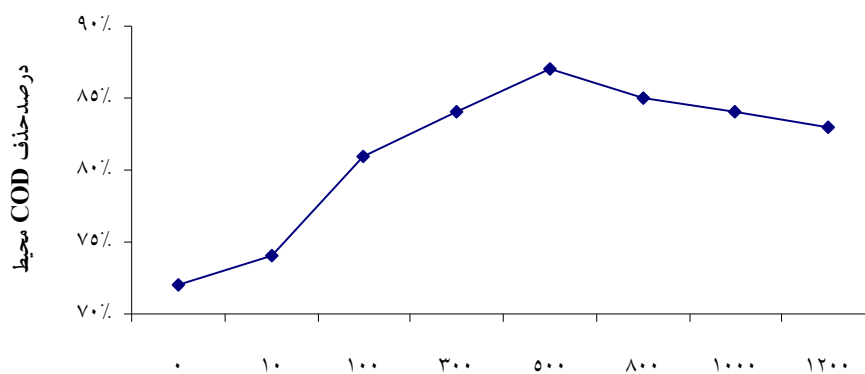
در شکل ۵ نیز نمودار برازش وابستگی بازدهی حذف به زمان ماند نمایش داده شده است. در این برازش معادله $y = 5 \times 10^{-7} x^3 - 0.0002x^2 + 0.0285x - 0.437$ با ضریب همبستگی ۰/۹۵ جهت محاسبه راندمان حذف پروپیلن گلیکول در زمان های مختلف پیشنهاد می گردد. شکل ۵ نیز نشان می دهد که افزایش زمان ماند تا حدود ۵۰ دقیقه تأثیر مستقیم و خطی بر افزایش بازدهی حذف پروپیلن گلیکول به جا می گذارد و در مقادیر زمان ماند بالاتر میزان تأثیر پذیری بازدهی حذف از زمان ماند بصورت مشخص کاهش می یابد.



شکل ۵: نمودار رگرسیون مابین زمان ماند و درصد حذف COD موجود در محیط

۳-۴- تأثیر غلظت کلرید سدیم بر راندمان حذف

وجود کلرید سدیم در محیط به دو دلیل می تواند باعث افزایش راندمان حذف آلودگی در روش الکتروشیمیایی گردد. اول افزایش عبور جریان برق از فاضلاب (به دلیل افزودن هدایت الکتریکی) که منجر به رسیدن میزان بیشتری انرژی الکتریکی به مواد آلی موجود در فاضلاب شده و تجزیه الکتروشیمیایی را به شدت افزایش می دهد. دوم اینکه کلرید سدیم در اثر الکترولیز کلر آزاد تولید می نماید که بسیار اکساینده بوده و به تجزیه ترکیبات آلی به شدت کمک می نماید [۷]. در این مطالعه تأثیر افزایش غلظت کلرید سدیم در راندمان حذف توسط الکتروکود آلومینیوم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی در نمودار نمایش داده شده در شکل ۶ ارائه گردیده است.



غلظت کلرید سدیم بر حسب میلی گرم بر لیتر

شکل ۶: تاثیر غلظت کلرید سدیم بر روی راندمان حذف COD فاضلاب

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می گردد، افزایش غلظت کلرید سدیم تا حدی می تواند منجر به افزایش راندمان حذف COD فاضلاب گردد، و در غلظت ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر کلرید سدیم، راندمان حذف COD به حدود ۹۰ درصد می رسد. افزایش غلظت کلرید سدیم به بیش از ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر منجر به افزایش بسیار اندک راندمان حذف گردیده و از سوی دیگر بدلیل افزایش مجموع جامدات محلول و شوری آب مطلوب نمی باشد. بنابراین غلظت بهینه کلرید سدیم در محیط حدوداً ۳۰۰ میلی گرم در لیتر پیشنهاد می شود. چنین افزایشی در بازدهی حذف ترکیبات آلی با افزایش غلظت کلرید سدیم توسط پانیزا^۱ و همکارانش نیز گزارش گردیده بود [۷]. آستانه طعم یون کلرید در آب در بدترین شرایط یعنی زمانی که کاتیون غالب در محیط یون سدیم باشد ۲۵۰ میلی گرم در لیتر است، همچنین زمانی که کاتیون های غالب در آب کلسیم و منیزیم باشند یون کلرید در آب تا غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر نیز امکان ایجاد شوری ندارد، به همین دلیل میزان بهینه کلرید سدیم ذکر شده تقریباً می تواند کمترین شوری را در آب ایجاد نماید.

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه بررسی کارایی روش الکتروشیمیایی مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که این روش جهت تصفیه فاضلابهای صنعتی نیز می تواند بسیار مفید باشد. باید به این نکته توجه شود که بدلیل مصرف انرژی زیاد در روش الکتروشیمیایی، استفاده از آن جهت تصفیه پیشرفته فاضلاب (فاضلابی با غلظت آلاینده کم) توصیه می گردد. مهمترین نتایج بدست آمده شامل موارد زیر است:

- در این مطالعه از دونوع جریان الکتریکی مستقیم و متناوب با ولتاژهای مختلف جهت تجزیه الکتروشیمیایی استفاده گردید. افزایش ولتاژ بطور مستقیم باعث افزایش راندمان حذف COD در تصفیه فاضلابهای حاوی

^۱ - Panizza

پروپیلین گلیکول با کمک روش الکتروشیمیایی می‌گردد. در این مطالعه مشخص شد که جریان متناوب به دلیل تغییر مداوم قطب مثبت و منفی در آن راندمان تصفیه الکتروشیمیایی را نسبت به کاربرد جریان مستقیم بسیار کند می‌نمایند.

- با کاربرد الکترودهایی با جنس‌های مختلف، الکتروود الومینیومی بالاترین بازده حذف را نشان داد که این امر توسط برخی محققین نیز گزارش شده بود.
- افزایش زمان ماند تا حدی می‌تواند منجر به افزایش راندمان حذف گردد و زمان ماند بهینه در این مطالعه حدوداً ۵۰ دقیقه تعیین شد.
- با توجه به افزایش هدایت الکتریکی آب در حضور کلرید سدیم و همچنین ایجاد کلر آزاد در اثر الکترولیز، افزودن کلرید سدیم می‌تواند منجر به افزایش راندمان حذف مواد آلی گردد. میزان بهینه بدست آمده معادل ۳۰۰ میلی گرم در لیتر کلرید سدیم می‌باشد که می‌تواند با ایجاد کمترین شوری در محیط افزایش راندمان نسبتاً مطلوبی نیز در راکتور الکتروشیمیایی ایجاد نماید.

- 1- Agnieszka, Z (a), Tomasz, G., Joanna, Z., Magdalena, F., Rafał, F., Tomasz, K., and Zenon, L., Biodegradation of poly(propylene glycol)s under the conditions of the OECD screening test *Chemosphere*. 2007 67(5) : 928–933.
- 2- Charles, A., John, W and Davis. An examination of the physical properties, fate, ecotoxicity and potential environmental risks for a series of propylene glycol ethers *Chemosphere* 2002 49(1) : 61–73.
- 3- Karl, K., Rozman., Jatinder, B and Antonia, M. NTP-CERHR Expert Panel report on the reproductive and developmental toxicity of propylene glycol. *Reproductive Toxicology* 2006 77(6) : 485–638.
- 4- Angela, R., Bielefeldt, T., langasekare., Megan., and Rosanna, L. Biodegradation of propylene glycol and associated hydrodynamic effects in sand. *Water Research* 2002 36(7) 1707–1714.
- 5- Jaesche, P., Totsche, U and Knabner, I. Transport and anaerobic biodegradation of propylene glycol in gravel-rich soil materials *Journal of Contaminant Hydrology* 2006 85(3-4) : 271–286.
- 6- Mahvi, A.H., Ebrahimi., Jafarinoori., Vaezi., Ebrahimzade., Evaluation of electrolysis method in phosphorus removal from wastewaters *Journal of Kordestan University Medical Science* 2006 12 : 45-36.
- 7- Panizza M., Bocca C., Cerisola G., Electrochemical treatment of waste water containing polyaromatic organic pollutants, *Wat. Res.* 2000 Vol. 34, No. 9 : 2601-2605.
- 8- Rahmani.A., Samarghandi. M. R., Evaluation of electrochemical in COD removal from wastewater, *Water & Wastewater Journal* 2007 64 (18): 9-12
- 9- Rabani. D., simultaneous applications of electrochemichal process, solar energy and hydration – dehydration cycle in advanced wastewater treatment, PhD thesis (Environmental Health), Tarbiyatmodares University, Tehran, 2004.
- 10- Daneshvar, N., Ashassi Sorkhabi, H., and Tizpar, A., Decolorization of orang 11 by electrocoagulation method, *Separation and purification Tech.* 2003 31 : 153-162.
- 11-Daneshvar, N., Ashassi Sorkhabi, H., and Kasiri, B. Decolorization of dye solution containing acid red 14 by electrocoagulation with a comparative investigation of different electrodes connection, *J. Hazardous Material* 2004 112 (1-2) : 55-62.
- 12- Panizza, M., Bocca, C., Cericola, g., electrochemical treatment of wastewater containing polyaromatic organic pollutants, *Wat. Res.* 2005 Vol. 34, No. 9 : 2601-2605.

13- APHA, AWWA, WPCF (Standard Methods For the Examination of Water & Wastewater, 17th edition, Washington DC, USA. 1989.