

اکسیداسیون سیانید در پساب واحدهای عملیات حرارتی با

استفاده از پراکسید هیدروژن و کاتالیزور

زهرا مصحفیⁱ؛ مریم اکبریⁱⁱ؛ سید محمد موسوی خوییⁱⁱⁱ؛ لیلی آخشیش^{iv}

چکیده

در این مقاله اثر شاخص های تجربی بر تخریب سیانید در پساب واحدهای عملیات حرارتی مطالعه شد. در این فرآیند از اکسیدکننده پراکسید هیدروژن و کاتالیزور مس دو ظرفیتی استفاده شده است. بهینه سازی بر روی محلول های استاندارد سیانید با غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر در محیط قلیایی و دمای ۲۵ درجه سلسیوس در نسبت های مولی مختلف پراکسید هیدروژن و غلظت های متفاوت کاتالیزور انجام شد. نتایج تجربی نشان داد که در نسبت مولی ۹:۱ ($H_2O_2 : CN^-$) و غلظت ۲۰ میلی گرم در لیتر کاتالیزور، پس از ۳۰ دقیقه مقدار سیانید به کمتر از پنج میلی گرم در لیتر کاهش می یابد. شرایط بهینه حاصل بر روی پساب واقعی با ۵۴۰ میلی گرم در لیتر سیانید اعمال شد. پس از ۱۰۰ دقیقه مقدار سیانید پساب به کمتر از پنج میلی گرم در لیتر کاهش یافت.

کلمات کلیدی

پساب های صنعتی، سیانید، پراکسید هیدروژن، اکسیداسیون، تعیین مقدار سیانید

Oxidative Treatment of Cyanide in Heat Treatment Units Wastewater Using Hydrogen Peroxide and Catalyst

Z. Mos'hafi Shabestari; M. Akbari; S.M. Mousavi Khoei ; L. Akhshij

ABSTRACT

In this paper the effects of experimental parameters on cyanide degradation in wastewater of heat treatment units has been investigated. In this process, hydrogen peroxide and Cu^{2+} are used as oxidizing agent and catalyst, respectively. In the First step on the desired concentration of 100mg/l cyanide solution in alkaline condition at 25^o, the molarity of hydrogen peroxide and catalyst concentration were optimized. Experimental results show that in molar ratio of ($H_2O_2 : CN^-$)9 : 1 and Cu^{2+} concentration equal to 20mg/l, cyanide content decreases to less than 5mg/l in 30 minutes. The practical relevance of the laboratory degradation method is demonstrated for actual wastewater with 540 mg/l cyanide. In 100 minutes, the cyanide content of the wastewater was decreased to less than 5mg/l.

KEYWORDS

Industrial wastewater, cyanide, hydrogen peroxide, oxidation, cyanide determination.

ⁱ مربی دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران): zmsh@aut.ac.ir

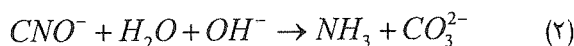
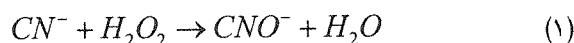
ⁱⁱ کارشناس آموزشی دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).

ⁱⁱⁱ استادیار دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).

^{iv} کارشناس ارشد دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).



است. پراکسید هیدروژن دارای پتانسیل الکترودی ۰/۸۷۸+ ولت در محلول‌های قلیایی است. بر اساس روابط (۱) و (۲) اکسیداسیون سیانید در محیط قلیایی انجام می‌شود [۵].



واکنش (۱) در گستره pH ۹/۵ تا ۱۰/۵ انجام می‌شود [۶]. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که سرعت واکنش از رابطه سینتیکی مرتبه اول تبعیت می‌کند. انرژی فعال سازی تخریب سیانید به وسیله پراکسید هیدروژن ۱۲/۸- kJ/mol است [۴]. سرعت اکسیداسیون به عواملی نظیر غلظت پراکسید هیدروژن، غلظت سیانید، دما و کاتالیزور بستگی دارد [۳]. حضور یک فلز واسطه نظیر مس، کادمیوم، وانادیوم و یا تنگستن در غلظت‌های ۵ تا ۵۰ میلی گرم در لیتر سرعت واکنش را افزایش می‌دهد [۶]. مقدار پراکسید هیدروژن مصرفی ممکن است ۲۰۰ تا ۴۵۰ درصد مقداری باشد که بر اساس روابط استیوکیومتری نشان داده می‌شود. این افزایش به دلیل حضور سایر مواد قابل اکسید شدن و مواد آلی در پساب است [۲].

پراکسید هیدروژن به دلیل مزایای متعدد به عنوان یک اکسید کننده مناسب برای سمیت زدایی پساب‌های سیانوره کاربرد دارد که به طور خلاصه عبارت است از: در مرحله اکسیداسیون هیچگونه ماده سمی حد واسط تولید نمی‌شود، باقیمانده آن پس از تجزیه تبدیل به آب و اکسیژن می‌شود و در طول فرآیند تولید املاح نامحلول نمی‌شود [۱]. با توجه به سرعت تجزیه کمتر از یک درصد در سال، پراکسید هیدروژن غلیظ تجارتي در مقابل ذخیره کردن پایدار است [۳]. روش اکسیداسیون سیانید به وسیله پراکسید هیدروژن از نظر مواد شیمیایی مورد مصرف و تجهیزات و امکان انجام آن در محل صرفه اقتصادی دارد [۲]. پراکندگی واحدهای عملیات حرارتی و آبکاری در کشور و تولید روزانه مقادیر فراوان پساب حاوی سیانید، هدف اصلی در انجام این کار تحقیقی بود. در این راستا، بهینه سازی شاخص‌های غلظت پراکسید هیدروژن و غلظت کاتالیزور مس در حذف و یا کاهش سیانید بررسی شد.

۲- مواد و وسایل

نمونه های پساب مورد استفاده در این تحقیق از یک کارگاه عملیات حرارتی واقع در غرب تهران تامین شد. در این واحد از حمام‌های نمکی حاوی املاح ساده سیانید و سیانات (Na^+ , K^+) و نمک‌های حاوی آنیون های کربنات و کلرور برای عملیات حرارتی کربوراسیون و نیتريداسیون قطعات صنعتی و قطعات خودرو استفاده می‌شود. سطح خارجی این قطعات آلوده به

با افزایش مصرف ترکیبات سیانور در صنایع مختلف نظیر صنعت معدن، استحصال مواد معدنی، فرآیندهای عکاسی، فلز کاری، آبکاری و کارخانجات فلوتاسیون پراکنده شدن آن در محیط زیست به سرعت در حال افزایش است [۱].

خطرات سیانید و محصولات حاصل از تجزیه آن بیشتر دامنگیر موجودات آبی از جمله ماهی ها می شود که مقدار سیانید در حد میکروگرم در لیتر به مرگ آنها منجر می‌شود. پرندگان و پستانداران نیز با مقدار سیانید در حد میلی گرم در لیتر می‌میرند [۲]. سیانید، فرآیند اکسیداسیون را در سلول‌ها مختل می‌کند و از این طریق تنفس سلولی دچار اشکال می‌شود. این عارضه در اثر ترکیب سیانید با گروه آهن آیزیم سیتوکروم اکسیداز می‌باشد. بدین طریق جذب اکسیژن به وسیله سلول مختل می‌شود و سبب بروز عوارض مسمومیت شدید و در نهایت مرگ می‌شود [۲].

ورود این ماده سمی به منابع آبی از طریق پساب‌های صنعتی مختلف خسارات جبران ناپذیری بر محیط زیست و زندگی بشر همراه دارد و بایستی برای حذف و یا کاهش آن اقدامات اساسی صورت گیرد. روش های مختلفی برای حذف و یا کاهش سیانید در پساب ها به کار گرفته شده است.

این روش‌ها به چهار دسته مهم طبقه بندی می‌شوند که عبارتند از: کلریناسیون در محیط قلیایی، اکسیداسیون توسط پراکسید هیدروژن یا اوزن در محیط قلیایی، اکسیداسیون فتوکاتالیتیکی و فرآیند INCO'S. این روش‌ها برای اکسیداسیون سیانید در پساب‌های حاوی سیانید آزاد (CN^-)، کمپلکس‌های فلزی قابل تفکیک شدن در محیط اسیدی ضعیف (WADCN) و کمپلکس‌های قوی سیانید کاربرد دارد [۲]. سیانید معمولاً در فرم CN^- و HCN و یا کمپلکس‌های فلزی نظیر $(Fe(CN)_6)^{4-}$ است. از میان این ترکیبات CN^- و HCN دارای سمیت زیادی هستند. مقدار این ترکیبات بر اساس pH محیط متغیر خواهد بود. کمپلکس‌های سیانید در مقایسه با دو ترکیب فوق از درجه سمیت کمتری برخوردارند، به دلیل این که درجه تفکیک کمتری دارند. بر اساس مطالعات انجام شده [۴]، مس، کبالت و آهن در مقایسه با سرب، منیزیوم، منگنز و کلسیم کمپلکس‌های پایدارتری تشکیل می‌دهند. هدف از اکسیداسیون پساب‌ها و یا پسماندهای سیانیدی، تبدیل آن به ماده‌ای با سمیت کمتر نظیر (CNO^-) و یا دی اکسید کربن و آمونیاک است.

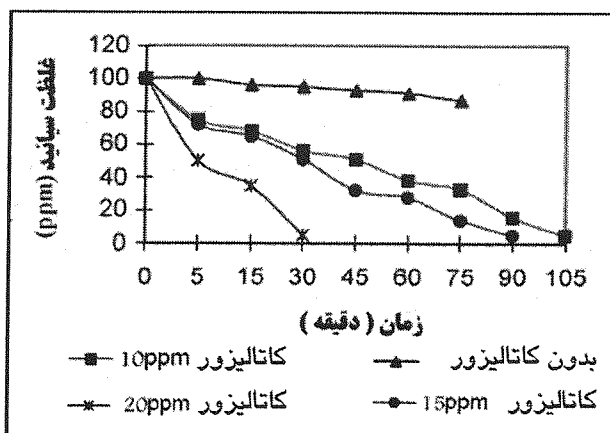
یکی از روش‌های موثر در اکسیداسیون سیانید آزاد و کمپلکس‌های فلزی ضعیف آن استفاده از پراکسید هیدروژن

(حدود ۰/۱ گرم در لیتر) به فاز محلول اضافه می‌شود. در صورت تشکیل رسوب سولفید سرب، با فیلتراسیون تحت فشار باید جدا شود [۷].

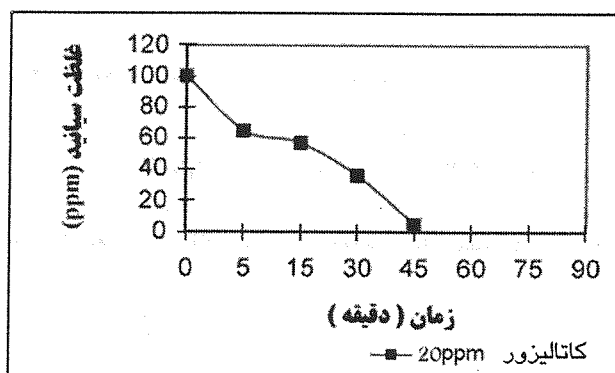
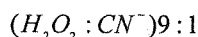
۳-۲- اکسیداسیون سیانید در محلول های استاندارد

سیانید سدیم

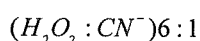
شاخص‌های مورد بررسی در این مرحله عبارت است از نسبت مولی $H_2O_2 : CN^-$ و غلظت کاتالیزور. بهینه سازی ابتدا بر روی محلول‌های استاندارد سیانید سدیم انجام شد؛ به این ترتیب که ۵۰ میلی لیتر از محلول ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نسبت به یون سیانید با افزایش سدیم هیدروکسید ۰/۰۴ مول در لیتر در pH برابر ۱۱ تنظیم شد. مراحل اکسیداسیون بر روی این محلول با نسبت‌های مولی مختلف از H_2O_2 به ترتیب ۹، ۶ و ۳ مول در لیتر و در غلظت ثابت سیانید یک مول در لیتر و مقادیر مختلف کاتالیزور مس معادل ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی گرم در لیتر در دمای ۲۵ درجه سلسیوس انجام شد. نتایج در شکل های (۱)، (۲) و (۳) ارائه شده است.



شکل (۱): تغییرات غلظت سیانید نسبت به زمان



شکل (۲): تغییرات غلظت سیانید نسبت به زمان



نمک‌های سیانیدی و بقیه املاح است. به این دلیل قطعات پس از انجام فرآیند کربوراسیون و نیتريداسیون برای شستشو در وان آب قرار داده می‌شود. نمونه برداری از فاز محلول این وان ها انجام شد.

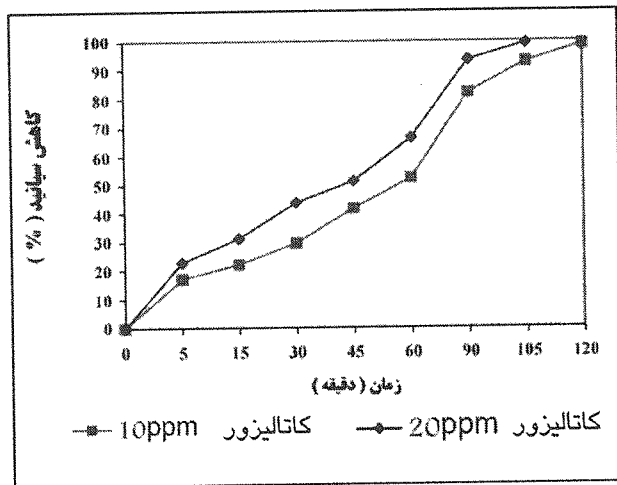
محلول‌های استاندارد سیانید با استفاده از سیانید سدیم آزمایشگاهی (P.A) با درجه خلوص ۹۹/۹ درصد وزنی تهیه شد. پراکسید هیدروژن تجارتي (۲۵ درصد وزنی)، پراکسید هیدروژن ۴ درصد وزنی تهیه شده از پراکسید هیدروژن تجارتي، سدیم هیدروکسید ۰/۰۴ مول در لیتر، سولفات مس با ۵ مو لکول آب. (P.A) سولفات نیکل ۱۰/۸ گرم در لیتر، کربنات سدیم آزمایشگاهی، معرف مورکسید $(C_8H_8N_6O_6)$ ، محلول اسید پیکریک یک درصد وزنی و سولفات آهن ۱۰۰ گرم در لیتر (از این محلول جهت سمیت زدائی باقیمانده های آزمایشات استفاده شده است) [۹]. در تمام مراحل آزمایش از آب مقطر بدون یون استفاده شده است. در این تحقیق از طیف سنج در ناحیه (UV-VIS) و دستگاه جذب اتمی استفاده شده است.

۳- روش آزمایش

۳-۱- نمونه برداری

در آزمایش‌های مربوط به اکسیداسیون سیانید، نمونه برداری و حمل نمونه قبل از تحویل آن به آزمایشگاه از اهمیت بسیاری برخوردار است. به منظور جلوگیری از تبخیر و از بین رفتن سیانید در شکل سیانید هیدروژن، نمونه های جمع آوری شده در صورت نیاز، در pH قلیایی تنظیم می شوند و در بطری هایی از جنس PVC با در بسته و دور از نور و برای دقت بیشتر در محیط سرد نگه داری می‌شوند. نمونه‌های پساب در منطقه نمونه برداری بایستی نسبت به مزاحمت هایی نظیر مواد اکسید کننده و سولفیدها آزمایش شوند.

عوامل اکسید کننده در نمونه های پساب در زمان ذخیره سازی سبب تخریب بخش زیادی از سیانید می‌شوند. برای حذف مواد اکسید کننده در صورت وجود مواد جامد، ابتدا این مواد باید با عملیات دکانتاسیون و یا فیلتراسیون تحت فشار از محیط خارج شوند و سپس به فاز محلول سدیم ارسنات (۰/۱ گرم در لیتر) افزوده شود. وجود مواد اکسید کننده به وسیله دیدید / نشاسته باید کنترل شود. افزایش سدیم ارسنات سبب احیای مواد اکسید کننده می‌شود. حضور سولفیدها در پساب حاوی سیانید بر نتایج آنالیز طیف سنجی و تیتراسیون تاثیر نامطلوبی دارد. در صورت وجود سولفیدها، برای حذف آن پس از جداسازی مواد جامد، کربنات سرب



شکل (۵): درصد کاهش غلظت سیانید در نمونه پساب عملیات حرارتی ۹:۱ (H₂O₂ : CN⁻)

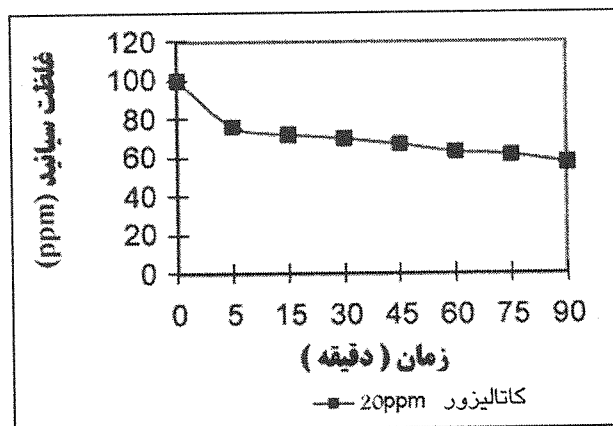
۴-۳- روش تعیین مقدار سیانید

تعیین مقدار سیانید با روش‌های متعددی گزارش شده است [۷]. در این تحقیق با توجه به حد حساسیت روش‌ها در تعیین مقدار سیانید از دو روش تیتراسیون برای مقادیر بیش از ۵ میلی گرم در لیتر [۸] و روش طیف سنجی برای مقادیر کمتر از ۵ میلی گرم در لیتر استفاده شده است [۹].

در روش تیتراسیون به ۵۰ میلی لیتر از نمونه‌های پساب در شرایط قلیایی، سدیم کربنات افزوده می‌شود. در صورت مشاهده رسوب، محلول را صاف می‌کنیم. به منظور مشاهده پایان رنگ مشخص، چند قطره آمونیاک به محیط اضافه می‌شود. پس از افزودن معرف مورکسید، تیتراسیون با سولفات نیکل ۱۰/۸ گرم در لیتر تا تغییر رنگ محلول از بنفش به نارنجی ادامه می‌یابد. غلظت سیانید بر اساس رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$1mlNiSO_4,7H_2O = 0/004grCN^- \quad (3)$$

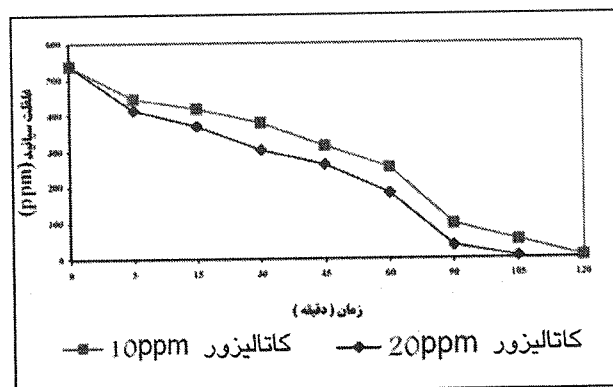
در روش طیف سنجی، ابتدا منحنی استاندارد رسم می‌شود. به این منظور محلول‌هایی از سیانید سدیم خالص با غلظت‌های یک الی ۵۰ میلی گرم در لیتر نسبت به یون سیانید تهیه می‌شود. در یک سری بالن ژورنه ۱۰۰ میلی لیتری، ۱۰ میلی لیتر از غلظت‌های آماده شده وارد کرده و به هر کدام ۰/۵ گرم سدیم کربنات و ۵ میلی لیتر محلول اسید پیکریک یک درصد وزنی می‌افزاییم و مدت ۱۰ دقیقه در حمام بخار ۵۰ الی ۶۰ درجه سلسیوس قرار می‌دهیم؛ سپس با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی لیتر می‌رسانیم. جذب محلول‌های قرمز حاصل را در طول موج ۵۲۰ نانومتر در سل یک سانتی متر با دستگاه طیف سنج در ناحیه (UV-VIS) قرائت می‌شود. منحنی استاندارد جذب نسبت به غلظت سیانید با استفاده از داده‌های جدول (۲)، رسم



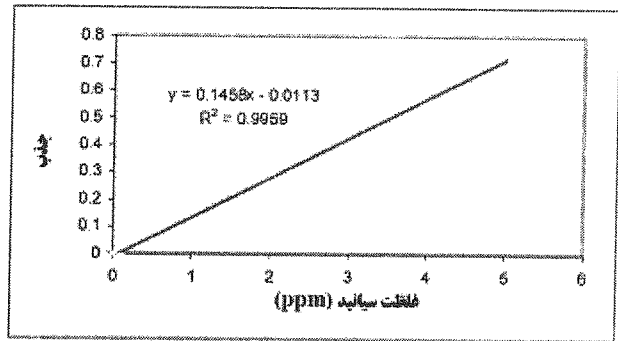
شکل (۳): تغییرات غلظت سیانید نسبت به زمان (H₂O₂ : CN⁻) 3:1

۳-۳- اکسیداسیون سیانید در نمونه پساب

۵۰ میلی لیتر از نمونه‌های پساب تهیه شده از واحد عملیات حرارتی، پس از رفع مزاحمت‌های سولفیدی و اکسیدکننده‌ها تا pH برابر ۱۱ به وسیله هیدروکسید سدیم ۰/۰۴ مول در لیتر قلیایی شد. نمونه‌های پساب با توجه به ماهیت نمک‌های مورد استفاده در حمام‌های مذاب کربوراسیون، نیتريداسیون دارای pH حدود ۱۰ است. نمونه‌های پساب بی رنگ و عاری از هر گونه ذرات معلق بود. مقدار متوسط سیانید این نمونه‌ها معادل ۵۴۰ میلی گرم در لیتر است. پساب مورد مطالعه با دستگاه جذب اتمی آنالیز شد. نتایج در جدول (۱) ارائه شده است. اکسیداسیون این نمونه‌ها بر اساس شرایط ارائه شده در بند ۲-۳ انجام شد. نتایج در شکل‌های (۴) و (۵) ارائه شد.



شکل (۴): تغییرات غلظت سیانید در نمونه پساب عملیات حرارتی (H₂O₂ : CN⁻) 9:1

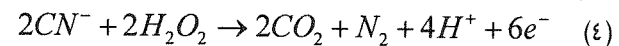


شکل (۶): منحنی استاندارد جذب نسبت به غلظت سیانید

۵- نتایج و بحث

۱-۵- اثر دما

تخریب سیانید با هیدروژن پراکسید بر اساس رابطه (۴) انجام می‌شود:



بر اساس مطالعات انجام شده [۴]، آنتالپی تخریب سیانید در شرایط استاندارد ۶۶/۴۵- کیلو کالری بر مول تعیین شده است و نشان می‌دهد که واکنش اگزوترمیک است؛ در نتیجه، دمای کمتر برای واکنش رفت؛ یعنی تخریب سیانید مناسب تر است. با افزایش دما امکان تجزیه پراکسید هیدروژن و آزاد شدن اکسیژن وجود دارد؛ در نتیجه، به دلیل کاهش پتانسیل اکسیژن در محیط مرحله تبدیل CN^- به CNO^- به طور کامل انجام نمی‌شود و CN^- در محیط باقی می‌ماند [۶]. با توجه به نقطه جوش هیدروژن سیانید (۲۵/۷۵ درجه سلسیوس) افزایش دما سبب خروج سیانید به صورت سیانید هیدروژن نیز می‌شود [۱۰]. در این تحقیق، تمام آزمایش‌ها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس انجام شده است.

۲-۵- اثر pH

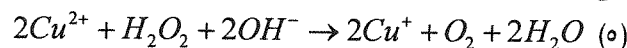
pH بیشتر از ۱۰ سبب افزایش سرعت تخریب سیانید به وسیله پراکسید هیدروژن می‌شود. بر اساس رابطه (۴) اگر یک مول سیانید با یک مول هیدروژن پراکسید تخریب شود دو مول H^+ تولید می‌شود. بنابراین، با کاهش pH رابطه فوق به سمت چپ متمایل می‌شود؛ در نتیجه، تخریب به طور کامل انجام نمی‌شود [۷].

۳-۵- اثر غلظت کاتالیزور

در بررسی اثر غلظت کاتالیزور نسبت مولی ($H_2O_2 : CN^-$)

ثابت و معادل (۹:۱) انتخاب شد. به منظور کنترل سرعت واکنش و امکان نمونه برداری در زمان‌های مختلف برای تعیین مقدار سیانید باقیمانده از پراکسید هیدروژن ۴ درصد وزنی استفاده شد. بهینه سازی غلظت کاتالیزور بر روی محلول‌های استاندارد سیانید سدیم انجام شد. با توجه به شکل (۱) در شرایطی که اکسیداسیون در محیط عاری از کاتالیزور انجام شود، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در کاهش غلظت سیانید مشاهده نمی‌شود. بر اساس مطالعات انجام شده [۱۰] افزایش ۱۰ میلی گرم در لیتر کاتالیزور سبب افزایش سرعت واکنش به میزان ۲ تا ۳ برابر خواهد شد. با توجه به شکل (۱) پس از افزایش غلظت کاتالیزور در مقادیر ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی گرم در لیتر، سرعت واکنش افزایش می‌یابد؛ به صورتی که در غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر در مدت زمان ۹۰ دقیقه سیانید باقیمانده به کمتر از ۵ میلی گرم در لیتر کاهش می‌یابد و با افزایش غلظت کاتالیزور تا ۲۰ میلی گرم در لیتر، غلظت سیانید باقیمانده در مدت زمان ۳۰ دقیقه به کمتر از ۵ میلی گرم در لیتر کاهش می‌یابد.

افزایش سرعت واکنش در حضور Cu^{2+} بر اساس رابطه (۵) است. در این واکنش Cu^{2+} به آرامی سبب خروج اکسیژن می‌شود و در نتیجه، سرعت تخریب سیانید افزایش می‌یابد [۴].



۴-۵- اثر غلظت اکسید کننده

در این بررسی، غلظت سیانید و کاتالیزور ثابت و به ترتیب یک مول در لیتر و ۲۰ میلی گرم در لیتر و نسبت مولی پراکسید هیدروژن به ترتیب نه، شش و سه مول در لیتر انتخاب شد. بر اساس شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده می‌شود که کاهش غلظت اکسید کننده سبب کند شدن سرعت واکنش می‌شود که به دلیل حضور مقادیر غیر کافی اکسیژن است. بر اساس مطالعات انجام شده [۱۰] افزایش غلظت اکسید کننده به میزان ۲۰ درصد، سرعت واکنش را به میزان ۳۰ درصد افزایش می‌دهد. با توجه به بررسی‌های فوق، آزمایش‌هایی بر روی ۵۰ میلی لیتر از پساب واحد عملیات حرارتی با مقدار متوسط سیانید معادل ۵۴۰ میلی گرم در لیتر انجام شد. حد مجاز آلاینده سیانید موجود در پساب‌های صنایع آبکاری، پوسته زدایی و واحد‌های عملیات حرارتی برای ورود به تصفیه‌خانه‌های عمومی، ۵ میلی گرم در لیتر است [۱۱]. بر اساس شکل‌های (۴) و (۵) با استفاده از نسبت مولی ($H_2O_2 : CN^-$) معادل ۹:۱ و غلظت کاتالیزور ۲۰ میلی گرم در لیتر در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و pH برابر ۱۱ در مدت زمان ۱۰۰ دقیقه سیانید پساب به کمتر از پنج میلی گرم در لیتر کاهش یافت.

داده های آزمایشگاهی است. با توجه به اینکه واحدهای عملیات حرارتی دارای کارگاه های کوچک و پراکنده هستند و از نظر اقتصادی ایجاد تصفیه خانه در آنها مقرون به صرفه نمی باشد، با استفاده از نتایج این تحقیق می توان عملیات تخریب سیانید را در پساب های حاصل از فرآیند کربوراسیون و نیتريداسیون در محل کارگاه و با کمترین هزینه انجام داد. دوره های زمانی تخریب سیانید با توجه به تعداد قطعات صنعتی وارد شده در وان شستشو تنظیم می شود.

۷- تقدیر و تشکر

از مدیریت محترم و مسئولین آزمایشگاه های شیمی و آنالیز دستگای دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت دانشگاه صنعتی امیرکبیر که در انجام این تحقیق همکاری لازم را به عمل آوردند، تشکر می شود.

جدول (۱): نتایج آنالیز پساب عملیات حرارتی

عنصر	Cr	Ni	Co	Pb	Fe	Cu	Zn	Cd	Mn	CN ⁻
غلظت (ppm)	0/2	9	< 0/1	< 0/2	412	2.3	6	< 0/1	< 0/1	540

جدول (۲): منحنی تغییرات جذب نسبت به غلظت سیانید

غلظت (ppm)	0	0/1	0/25	1	2	3	4	5
جذب	0	0/01	0/027	0/12	0/247	0/451	0/581	0/711

مراجع

- [۱۰] Khodadadi A., Abdolahi M., Teimoury P.; "Detoxification of Cyanide in Gold Processing Wastewater by Hydrogen Peroxide", Iranian Journal of Environmental Health, Science and Engineering, Vol.2, No. 3, 2005 pp. 177-182.
- [۱۱] "مجموعه قوانین و مقررات دفع فاضلاب های صنعتی"، مرکز تحقیقات و بهبود بهره وری صنعت آب و فاضلاب - بخش فرآیند های آب و وزارت نیرو، ۱۳۷۵.
- [۱] Cyanide detoxification with hydrogen peroxide solvay interox, 2001.
- [۲] Moran R. E.; "De-Coding Cyanide", A Submission to the European union and the united nations environmental program, 2002.
- [۳] Dzombak D. A., Ghosh R. S., Wong-Chong G. M.; "Cyanide in water and soil", CRC Press, Taylor and francis Group, 2006.
- [۴] Lee T. Y., Kwon Y. S., Kim D. S.; "Oxidative Treatment of Cyanide in Wastewater Using Hydrogen Peroxide and Homogenous Catalyst", Journal of Environmental Science and Health, vol. A39, No.3, pp 787-801, 2004.
- [۵] "Managing cyanide in metal finishing", U.S. EPA 625/R-99/009, Environmental Protection agency office of research and development, Cincinnati, Ohio, 2000.
- [۶] Hartinger L.; "Handbook of effluent treatment and recycling for the metal finishing industry", 2nd Ed, Finishing publications, Herts, UK, 1994
- [۷] "American standard methods for the examination of water and wastewater", American health association (APHA). 17th Ed. 1992.
- [۸] "Durferrit salt baths", Durferrit Instruction for determining the NaCN, KCN content in Durferrit baths Degussa, www.degussa.com.
- [۹] Bilgen, et al.; "Method for The Colorimetric Determination of The Cyanide Concentration of Aqueous Solutions", United states patent 4871681, 1989