

کاربرد ORP در صنعت تصفیه آب و فاضلاب

سید علی رحمانی نژاد^{*۱}

Rahmaninezhad@ut.ac.ir

علیرضا پرداختی^۱

The application of Oxidation Reduction Potential (ORP) sensor in water and wastewater treatment industries

Seyed Ali Rahmaninezhad^{1*}, Alireza Pardakhti¹

1- Environmental Engineering Department, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

The Oxidation Reduction Potential (ORP) is applied for controlling the chemical and biological reactions. It means, by the help of ORP the tendency of reactions for occurring in aqueous solution are measured. The ORP measurement has been used in variety of applications especially, water and wastewater treatment e.g. cyanide detoxification, advanced oxidation processes (production of hydroxyl radicals: fenton), water disinfection and etc. By measuring the ORP during the reaction, the end time of reaction, the required concentration of reactants and optimum conditions be determined. In this study, the use of ORP in most common reactions in water and wastewater industries are investigated.

Keyword: Oxidation Reduction Potential, Cyanide detoxification. hydroxyl radicals. fenton.

چکیده

پتانسیل اکسایش و کاهش برای کنترل و تعیین مقدار واکنش پذیری مواد در کنارهم کاربرد دارند بدین معنی که به وسیله سنجش پتانسیل اکسایش و کاهش نه تنها انجام پذیری واکنش مشخص می شود بلکه میزان اشتیاق و تمایل به انجام واکنش نیز معین می شود. در واکنش های موجود در آب و فاضلاب نیز واکنش های اکسایش و کاهش فراوانی از جمله تخریب سیانید، اکسیداسیون پیشرفته به روش فنتون، گندزدایی از آب و ... وجود دارد. به کمک ORP سنج می توان زمان اتمام واکنش، غلظت ماده واکنش دهنده مورد نیاز و شرایط بهینه واکنش را مشخص نمود. در این مطالعه به بررسی رفتار ORP در برخی از واکنش های رایج در صنعت آب و فاضلاب پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: پتانسیل اکسایش و کاهش، تخریب سیانید، رادیکال های هیدروکسیل، فنتون

۱- مقدمه

مثبت پنج می‌باشد قرار می‌گیرد با تشکیل اکسید سرب و سدیم نیتريت عدد اکسایش سرب و نیتروژن به ترتیب به مثبت دو و مثبت سه تغییر می‌کند. مشخص می‌باشد در این حالت سرب عامل کاهنده بوده و نیتروژن عامل اکسید کننده می‌باشد. در پیل الکتروشیمیایی برای آنکه میزان تمایل یک ماده به اکسایش یا کاهش به صورت یک عدد کمی مشخص شود نیاز است که یک واکنش مرجع در نظر گرفته شود. مطابق با توافق به میل فلزات به اکسیداسیون نسبت به الکتروود استاندارد هیدروژن (Standard Hydrogen Electrode; S.H.E) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد پتانسیل استاندارد می‌گویند. الکتروود استاندارد هیدروژن اصطلاحاً به الکتروودی از جنس Pt گفته می‌شود که در ظرفی حاوی ۱،۲ مولار اسید کلریدریک به همراه گاز H_2 که با فشار ۱ اتمسفر به درون ظرف تزریق می‌گردد و توسط یک پل نمکی دو طرف پیل به هم متصل شده است ساخته می‌شود. مطابق با این استاندارد مشخص می‌شود که یک ماده نسبت به یک تراز استاندارد چقدر سخت و یا ساده اکسید می‌شود. مطابق با استاندارد، واکنش‌های اکسایش و کاهش را برحسب نیمه واکنش‌های کاهش می‌نویسند و اعداد مثبت نشانگر آن هستند که آن ماده اگر در یک پیل الکتروشیمیایی در شرایط استاندارد دمایی، فشار و غلظت در کنار الکتروود استاندارد هیدروژن قرار بگیرد تمایل بیشتری به احیا شدن دارد و لذا به عنوان کاتد معرفی می‌شود که خود نقش عامل اکسیدکننده را ایفا می‌نماید و اگر پتانسیل استاندارد آن منفی باشد بدین معنی است که در پیسل الکتروشیمیایی با الکتروود استاندارد هیدروژن نقش آند را دارد و لذا اکسید می‌شود و نقش عامل کاهنده را ایفا می‌نماید. لذا در جدول پتانسیل اکسایش و کاهش برحسب پتانسیل کاهش کلیه نیمه واکنش‌ها مرتب شده اند.

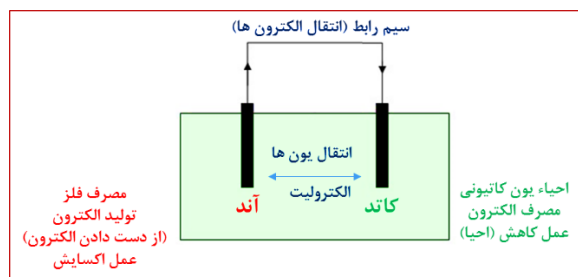
جدول پتانسیل اکسایش و کاهش در شرایط استاندارد با حضور ۱ مول از ماده و فشار گازی ۱ اتمسفر تدوین شده است اما با توجه به آنکه اکثر واکنش‌های شیمیایی در شرایطی غیر از حالت استاندارد صورت می‌گیرد نیاز است وضعیت اکسایش در حالت جدید بررسی شود. برای این منظور و محاسبه پتانسیل اکسایش و کاهش در شرایط متفاوت از معادله نرنست استفاده می‌شود. با توجه به معادله نرنست، عددی که در انتها محاسبه می‌شود مقدار پتانسیل نیمه واکنش کاهش آن ماده در شرایط مورد نظر می‌باشد.

۲- آشنایی با (ORP (Oxidation Reduction Potential

در حسگر ORP از یک الکتروود پتانسیل‌سنج و یک الکتروود مرجع استفاده شده است. مفهوم حاکم بر الکتروود پتانسیل‌سنج بر پایه قرار دادن یک الکتروود فلزی خنثی (پلاتینیوم، گاهی نقره، طلا و ...) می‌باشد که به واسطه مقاومت پایین آن الکترون را از کاهنده می‌گیرد و یا به اکسندنده منتقل می‌نماید. این انتقال

به اندازه‌گیری میزان تمایل یک ماده شیمیایی به اکسایش و یا کاهش یک ماده شیمیایی دیگر پتانسیل اکسایش و کاهش گفته می‌شود که اغلب برحسب میلی‌ولت بیان می‌شود. پتانسیل اکسایش و کاهش را می‌توان به کمک یک پیل الکتروشیمیایی تبیین نمود. این پیل الکتروشیمیایی از دو الکتروود که یکی نقش آند و کاتد را دارد به همراه سیم انتقال الکترون و محلول الکتروولیت و در برخی موارد پل نمکی تشکیل شده است. آند در پیل الکتروشیمیایی هنگامیکه چهار جزء اصلی به صورت درست برقرار باشند الکترون از دست می‌دهد و به صورت جزئی با بار مثبت وارد محلول الکتروولیت می‌شود. در این حین الکترون تولید شده توسط سیم جریان الکتریکی هدایت شده و به سمت کاتد حرکت می‌کند. در نزدیکی الکتروود کاتد الکترون توسط جزئی که تمایل به گرفتن الکترون دارد جذب می‌شود و از آن‌جا که لازم است تعادل الکترواستاتیکی در کل پیل برقرار باشد پون‌های منفی داخل الکتروولیت به سمت آند حرکت می‌کنند.

به از دست دادن الکترون در آند اصطلاحاً اکسید شدن و یا اکسایش گفته می‌شود که می‌تواند در حضور و یا عدم حضور اکسیژن صورت گیرد و همچنین به گرفتن الکترون احیا و یا کاهش اطلاق می‌گردد. طبیعتاً ماده اکسید شونده به عنوان کاهنده عمل می‌کند و ماده احیا شده و یا کاهیده شده نقش اکسندنده را در پیل الکتروشیمیایی به عهده دارد.

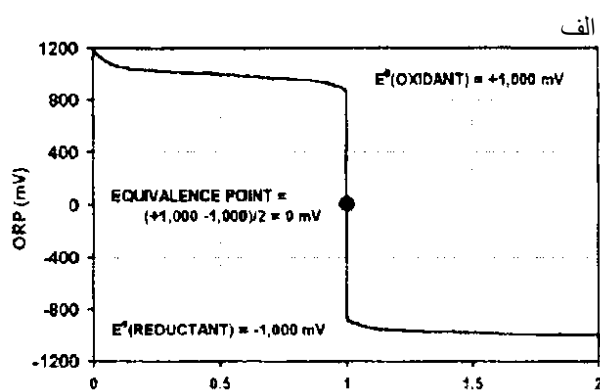


شکل ۱: شماتیک یک پیل الکتروشیمیایی

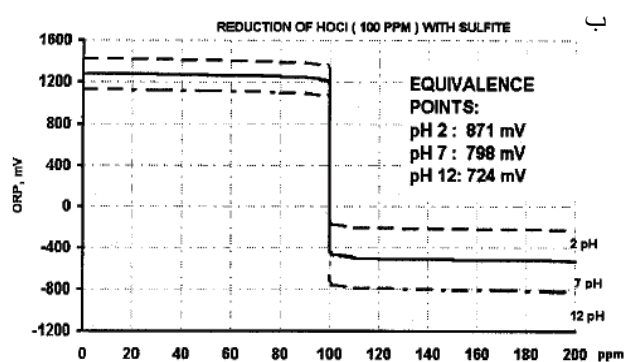
هنگامی که دو ماده در شرایط اکسایش و کاهش قرار بگیرند با انتقال الکترون از یک ماده به ماده دیگر و تشکیل دو نیمه واکنش، اولی اکسید و دومی کاهیده می‌شود. برای تعیین میزان اکسایش و یا کاهش مواد از عدد اکسایش استفاده می‌شود. مواد با وضعیت اکسایش متفاوت می‌توانند در طبیعت در گستره‌ای از حالات اکسایش قرار بگیرند. به عنوان مثال عنصر گوگرد در چهار وضعیت اتم خنثی گوگرد، سولفید هیدروژن، سولفور اکساید و سولفات دارای وضعیت اکسایش متفاوت می‌باشد. وقتی که یک ماده احیا می‌شود عدد اکسایش آن کاهش می‌یابد و هنگامی که اکسید می‌شود وضعیت اکسایش آن بیشتر می‌شود. به عنوان مثال هنگامی که فلز سرب با وضعیت اکسایش صفر در مجاورت سدیم نیترات که عنصر نیتروژن آن دارای وضعیت اکسایش

۳- رصد واکنش‌های اکسایش و کاهش

یکی از مهمترین کاربردهای اندازه‌گیری پتانسیل اکسایش و کاهش در رصد تغییرات مقدار ORP می‌باشد. رصد تغییرات در واقع میزان تغییرات مقدار ORP را در طول واکنش نشان می‌دهد. در واکنش‌های اکسایش و کاهش هنگامی که ماده به لحاظ تغییرات الکترون به تعادل الکتروشیمیایی برسد واکنش ORP خاتمه یافته است. رصد واکنش‌ها همانند یک واکنش تیتراسیون صورت می‌گیرد. در واقع شکل ۲ تیتراسیون یک واکنش ساده اکسایش - کاهش را نشان می‌دهد که پتانسیل استاندارد برای نیمه واکنش اکسایش و کاهش به ترتیب برابر $+1000$ و -1000 می‌باشد.



الکترون باعث به وجود آمدن جریانی می‌شود که متناسب با ORP محلول است. الکتروود مرجع در ORP به‌منظور کالیبراسیون اکسایش و کاهش نسبت به شرایط استاندارد تعبیه شده است بدین معنی که عدد اکسایش قرائت شده توسط الکتروود پتانسیل‌سنج توسط مقدار الکتروود مرجع سنجده می‌شود. الکتروود مرجع می‌تواند شامل جنس‌های مختلفی از انواع الکتروودها باشد که معمولاً در دستگاه‌های ORP از زوج نقره و نقره کلرید استفاده می‌شود. مقدار اختلاف بین پتانسیل کاهشی الکتروود پتانسیل‌سنج با الکتروود مرجع سپس توسط دستگاه با مقدار پتانسیل استاندارد هیدروژن سنجیده و کالیبره می‌شود و در نهایت جریان عدد گزارش شده مقدار پتانسیل کاهشی در شرایط محیطی نسبت به پتانسیل مرجع می‌باشد.



شکل ۲: رصد واکنش اکسایش و کاهش (الف) غیروابسته به pH و (ب) وابسته به pH

۵- اطمینان از تخریب واکنش سیانید

سیانید در بسیاری از صنایع کاربردهای گسترده‌ای دارد به‌عنوان مثال فرایندهای معدنی و ایجاد پوشش توسط فرایندهای الکتریکی منجر به تولید فلزات کمیاب و سنگین از قبیل آهن، نیکل، روی، کادمیوم، مس، نقره، طلا و ... و در کنار آن سم کشنده سیانید می‌شود. مطابق با استانداردهای محیط زیست غلظت سیانید در پساب خروجی باید زیر غلظت $0/1$ میلی‌گرم در لیتر باشد. در صنعت برای تصفیه فاضلاب حاوی سیانید از روش دو مرحله‌ای زیر استفاده می‌کنند. در مرحله اول و یا همان مرحله اکسیداسیون سیانید به سیانات، ابتدا فاضلاب حاوی سیانید به تانک ذخیره اول منتقل می‌شود و سپس pH فاضلاب توسط سود 50 درصد به مقدار 10 می‌رسد. سپس گاز اکسید کننده کلر به تانک تزریق می‌شود تا مقدار ORP به حدود 400 میلی‌ولت یا کمی بیشتر برسد (در صورت استفاده از سدیم هیپوکلریت مقدار ORP به حدود 250 میلی‌ولت می‌رسد). معادلات زیر تغییر اتفاق افتاده را در صورت استفاده از گاز کلر و سدیم هیپوکلریت نشان می‌دهد.

در هریک از معادلات بالا، منحنی سمت راست تغییرات نیمه واکنش کاهش را نشان می‌دهد و منحنی سمت چپ نیمه واکنش اکسایش را نشان می‌دهد نقطه تعادل نقطه ای است که واکنش اکسایش و کاهش پایان یافته است.

۴- کاربردهای ORP در صنعت آب و فاضلاب

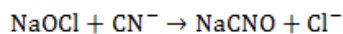
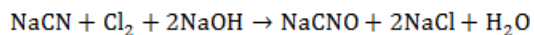
از آنجا که بسیاری از واکنش‌های شیمیایی مورد استفاده در حوزه تصفیه آب و فاضلاب برپایه واکنش‌های اکسایش و کاهش می‌باشد می‌توان با تعیین مقدار پتانسیل اکسایش و کاهش زمان اتمام واکنش‌ها، مقدار غلظت ماده اولیه و شرایط بهینه را برای آن به دست آورد. ORP کاربردهای فراوانی در صنعت آب و فاضلاب دارد که می‌توان به استفاده از آن برای کنترل واکنش‌های تخریب سیانید، کلرزایی، کاهش غلظت کرومات، تولید سفیدکننده‌های هیپوکلریت، کنترل کلرین دی اکسید و کلرین توسط بی سولفیت، کنترل فعالیت‌ها و رشد میکروبی در کلرزی استخرها یا برج‌های خنک کن و موارد متعدد دیگر اشاره نمود. در این قسمت به‌عنوان نمونه به ذکر سه مورد از کاربردهای ORP در جهت بهبود انجام واکنش‌های تصفیه آب و فاضلاب اشاره شده است.

استفاده از آن در شرایط بهینه می‌باشد. نتایج تحقیقات نشان داده است که به‌کارگیری از روش فنتون در شرایط غیربهینه نه تنها موجب اتلاف مواد اولیه می‌شود بلکه تاثیر فراوانی در کاهش میزان بازدهی فرایند دارد. لذا با توجه به کاربردهای گسترده آن در تصفیه همچنان به صورت صنعتی و در مقیاس بزرگ مورد استفاده همه گیر قرار نگرفته است.

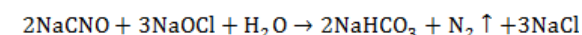
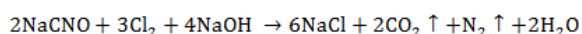
به دلیل راندمان بالا و سهولت در استفاده و همچنین انعطاف پذیری فرایند تا کنون روش‌های متعددی بر پایه روش کلاسیک فنتون از قبیل فتوفنتون، واکنش Haber-Weiss، استفاده از انواع الکترون دهنده‌ها و ... ارائه شده است. در روش کلاسیک فنتون ابتدا فاضلاب به یک محفظه تزریق می‌شود و سپس مقدار pH تنظیم می‌شود. مقدار pH وابسته به شرایط بهینه هر فاضلاب می‌تواند متفاوت باشد اما در اکثریت غالب تحقیقات شرایط اسیدی و مقدار pH ای بین ۳ تا ۴ مناسب ارزیابی شده است. سپس محلول آهن سه ظرفیتی به فاضلاب اضافه می‌شود تا یون‌های آهن بار سه بار مثبت در محلول به وجود آید. با تزریق آب اکسیژنه به فاضلاب آهن ۳ ظرفیتی به آهن ۲ ظرفیتی تبدیل می‌شود و سپس با آب اکسیژنه باقی‌مانده واکنش داده و تولید رادیکال هیدروکسید می‌نماید و همزمان آهن ۲ ظرفیتی به آهن ۳ ظرفیتی مجدد تبدیل می‌شود. با تبدیل شدن دوباره آهن ۳ به ۲ شرایط مجدداً برای تشکیل رادیکال هیدروکسید مهیا می‌شود. رادیکال هیدروکسید دارای پتانسیل اکسایش و کاهش ۲/۰۸ ولت می‌باشد که این مقدار نشان دهنده قدرت نسبتاً بالا در اکسایش آلاینده‌ها می‌باشد. در انتهای واکنش با افزایش مقدار pH و براساس این اصل که واکنش در pH های بالا متوقف می‌شود ختمه می‌یابد.

به صورت متداول واکنش فنتون نسبت به غلظت یون آهن، غلظت آب اکسیژنه، زمان تزریق آب اکسیژنه، زمان کل واکنش و pH واکنش بهینه‌سازی می‌شود. به منظور بهینه‌سازی روش فنتون می‌توان از طراحی آزمایش و انجام آزمایش‌های متعدد در داخل آزمایشگاه بهره‌گرفت. اما مشکل این روش این است که نیازمند به آزمایش‌های متعدد در مورد هر فاضلاب است و همچنین در صورت تغییر غلظت و میزان آلودگی فاضلاب که بسیار امری متداول در فاضلاب‌های صنایع می‌باشد به دست آوردن شرایط بهینه قبل از بهره‌برداری از روش لازم و ضروری می‌باشد.

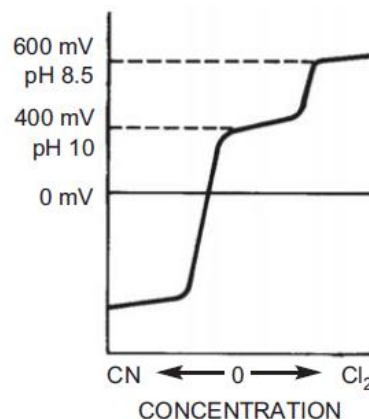
در صورت استفاده از روش ORP ابتدا یک مقدار بهینه pH و نسبت Fe/H₂O₂ در آزمایشگاه برای تمامی فاضلاب‌ها تعیین می‌شود. سپس با رصد پتانسیل اکسایش و کاهش می‌توان غلظت‌های مختلفی از مواد شیمیایی را برای حصول به شرایط بهینه بدست آورد. اما نکته ای که در این میان حائز اهمیت می‌باشد تزریق یکباره و تدریجی آب اکسیژنه به داخل تانک محتوی فاضلاب می‌باشد. تزریق یکباره آب اکسیژنه و یون آهن



در مرحله دوم و یا تخریب سیانات به نیتروژن و کربن دی‌اکسید فاضلاب به تانک دیگری هدایت می‌شود. در این تانک توسط اسید سولفوریک pH فاضلاب به حدود ۷ تا ۸ می‌رسد و سپس گاز کلر تزریق می‌شود و اجازه داده می‌شود تا مقدار ORP به بیش تر از ۶۰۰ میلی‌ولت (در صورت استفاده از سدیم هیپوکلریت حدود ۳۰۰ میلی‌ولت) برسد. معادلات پایین تغییرات شیمیایی صورت گرفته در حین انجام واکنش را در دو حالت استفاده از گاز کلر و یا سدیم هیپوکلریت را نشان می‌دهد.



در این واکنش کلرین با گرفتن الکترون از سیانید موجب می‌شود که سیانید به عوامل سازنده خود شامل نیتروژن و دی‌اکسید کربن اکسید شود در حالی که همزمان کلرین با پذیرش الکترون خود با تبدیل شدن به نمک کلردار احیا می‌شود. نمودار شکل ۳ تغییرات مقدار ORP را در واکنش تخریب سیانید می‌دهد.



شکل ۳: نمودار تغییرات ORP در حین واکنش تخریب سیانید

۶- تعیین مقدار غلظت واکنش دهنده‌ها در واکنش فنتون

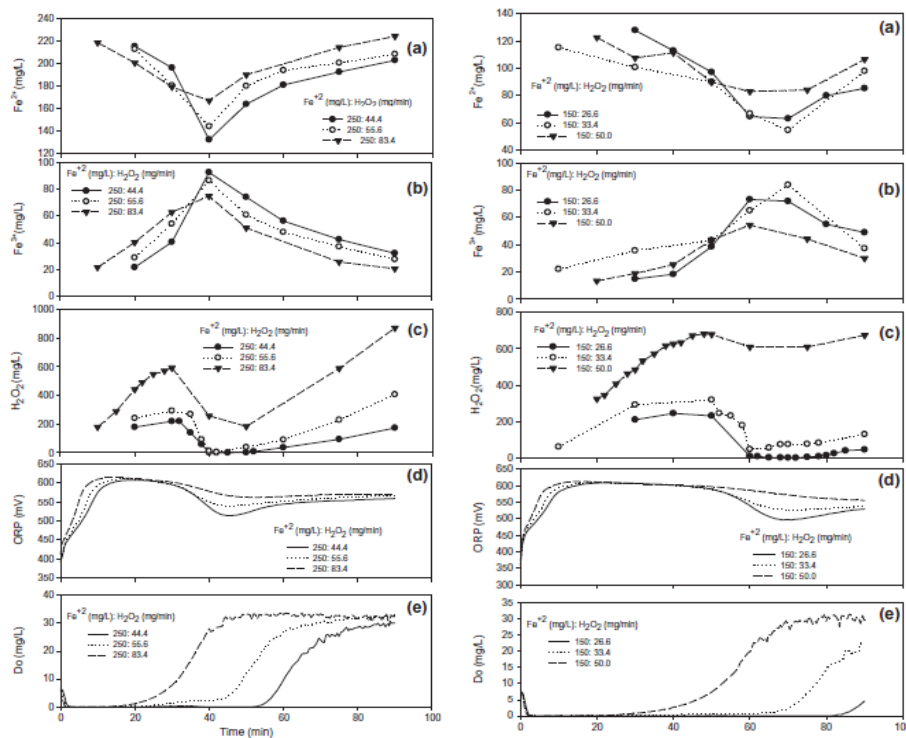
یکی از واکنش‌های بسیار موثر در تصفیه فاضلاب استفاده از روش‌های اکسیداسیون پیشرفته می‌باشد که با تولید یون هیدروکسید یا همان رادیکال‌های آزاد در تخریب آلاینده‌ها می‌توانند در کاهش میزان آلودگی پساب خروجی بسیار ثمربخش باشند. در میان این روش‌ها استفاده از روش اکسیداسیون پیشرفته فنتون به دلیل ارزان بودن و شمولیت بیشتر بر روی کاهش آلودگی فاضلاب‌ها در مطالعات بسیار زیادی بر روی فاضلاب‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که در شرایط بهینه روش فنتون می‌تواند بیش تر از ۹۵ درصد انواع آلودگی‌های فاضلاب‌های متعدد صنعتی از قبیل COD، BOD، رنگ، TSS و ... را کاهش دهد. اما آنچه که در ارتباط با استفاده از روش فنتون اهمیت دارد

ابتدا آهن ۲ به آهن ۳ تبدیل می‌شود، در اواسط واکنش آهن ۳ به آهن ۲ تبدیل می‌شود و این روند ادامه دارد. اما غلظت آب اکسیژنه متناسب با دبی ورودی تغییر می‌کند و در انتهای واکنش مقدار آن زیاد می‌شود که نشان از اختتام واکنش می‌باشد.

تغییرات مقدار ORP در واکنش بیانگر این مطلب می‌باشد که مقدار آن با تشکیل رادیکال هیدروکسید افزایش شدید می‌یابد، سپس واکنش به تعادل رسیده و ORP مقدار ثابتی را نشان می‌دهد و با کاهش مقدار ماده اکسیدشونده که نقش آن را دارند مقدار آن کاهش می‌یابد اما با تجمع آب اکسیژنه مقدار آن افزایش می‌یابد.

سبب می‌شود که غلظت بالای رادیکال هیدروکسید تولید صرف واکنش با یون آهن و آب اکسیژنه باقی مانده نماید و سبب شود مصرف ماده شیمیایی افزایش یابد، قدرت اکسندگی به واسطه کم شدن رادیکال هیدروکسید کاهش یابد، آب اکسیژنه باقی مانده خود باعث افزایش COD می‌شود و در صورت وجود روش بیولوژیکی در ادامه فرایند، آب اکسیژنه برای میکروارگانیسم‌ها مضر می‌باشد لذا استفاده تدریجی آب اکسیژنه می‌تواند در بهبود فرایند تأثیرات بسزایی داشته باشد.

در شکل ۴ تغییرات غلظت آهن ۲، آهن ۳، غلظت آب اکسیژنه، مقدار ORP و همچنین اکسیژن محلول در نسبت‌های مختلف آهن به آب اکسیژنه نشان داده شده است. همان‌گونه که بیان شد و در نمودار شکل ۳ نیز مشخص می‌باشد در فرایند فنتون



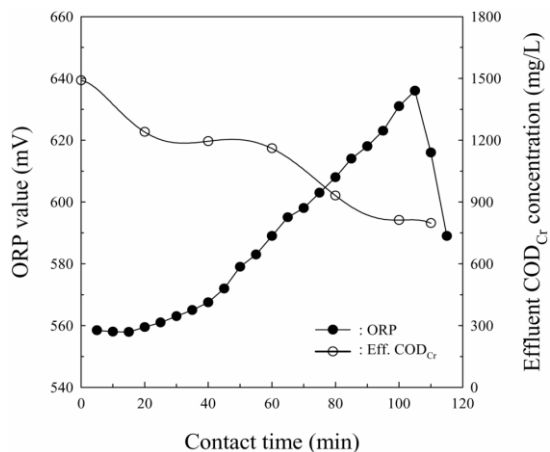
شکل ۴: تغییرات یون آهن ۲ و ۳، آب اکسیژنه، ORP و DO در نسبت‌های مختلف Fe/H_2O_2 در تزریق تدریجی آب اکسیژنه

ابزار، ادوات و تجهیزات و یا ذخیره آب و تزریق آن به عنوان یک منبع آب جبرانی می‌باشد. با توجه به آنکه کارخانه در کنار کدام منبع تامین کننده آب قرار گرفته باشد می‌تواند آب دریا، آب رودخانه، آب پشت سد، آب چاه، آب‌های زیرزمینی، آب دریاچه ها و یا آب‌های تصفیه شده مود استفاده قرار گیرند. در تمامی این موارد وجود گرما و نور محیطی، وجود رطوبت، کربن آلی و مواد مغذی شامل نیتروژن و فسفر عامل رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها و ماکروارگانیسم‌ها می‌شود که این نیاز برای تصفیه این آب‌ها را پیش از استفاده بیش‌تر می‌کند. برای تصفیه این آب‌ها می‌توان از انواع مختلف بیوسایدها برای اکسید نمودن

اما در صورتی که غلظت آب اکسیژنه آبی به تانک منتقل شود آنگاه رصد واکنش متفاوت می‌باشد. در این شرایط می‌توان در آزمایشگاه یک رابطه بین غلظت آب اکسیژنه بهینه و مقدار COD خروجی و مقدار ORP پیدا نمود و از طریق مقدار COD مورد نظر و مقدار ORP قرائت شده، غلظت آب اکسیژنه را کنترل نمود.

۷- کنترل رشد میکروبی در آب جبرانی و خنک‌کن

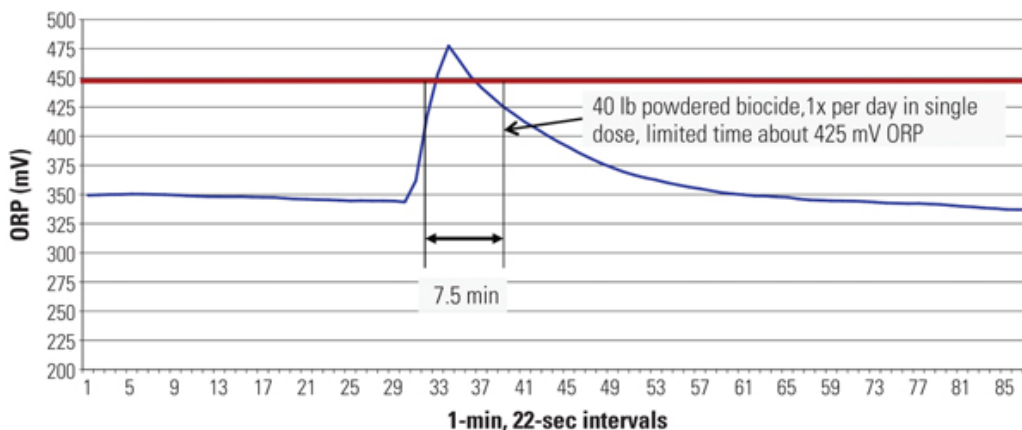
به صورت کلی می‌توان بیان نمود که اکثر کارخانجات به نوعی نیازمند مصرف آب در قسمت‌های مختلف خط تولید خود هستند. یکی از موارد کاربردی استفاده از آب برای خنک نمودن



شکل ۵: تغییرات غلظت ORP برحسب زمان واکنش در تزریق آبی اکسیژنه

یکی از آسانترین روش‌ها استفاده از سنجش میزان پتانسیل اکسایش و کاهش می‌باشد. در این روش سنجشگر ORP مقدار الکترونی که از میکروارگانیزم خارج و به سمت اکسنده حرکت می‌کند را نشان می‌دهد و تا مادامیکه میکروارگانیزم وجود داشته باشد جریان برقرار می‌باشد.

شکل ۶ تغییرات مقدار ORP را در طول واکنش نشان می‌دهد.



شکل ۶: تغییرات مقدار ORP بعد از وارد نمودن گندزدا

مشکلات اصلی روش اکسیداسیون پیشرفته به روش فنتون که همان کاربرد صنعتی آن است را مرتفع نمود. به روش ORO می‌توان زمان اختتام واکنش و لذا مقدار غلظت ماده واکنش دهنده را مشخص نمود. همچنین در گندزدایی از آب می‌توان با بهره‌گیری از تکنولوژی ORP مقدار ماده گندزدا را مشخص نمود. استفاده از گندزدایی بیشتر به واسطه مشکلات جانبی از قبیل THMها و همچنین هزینه بالای مواد شیمیایی و همچنین مقدار کم آن‌ها منجر به پایین آمدن میزان بهره‌وری می‌شود که خود اهمیت پرداختن به موضوع را نشان می‌دهد.

۸- نتیجه‌گیری

امروزه به واسطه کاربردهای فراوان تصفیه آب و فاضلاب نیاز فراوانی به کارگیری از تکنولوژی‌های روز در آن احساس می‌شود. بسیاری از روش‌های تصفیه آب و فاضلاب با استفاده از این تکنولوژی‌ها قابلیت صنعتی شدن پیدا می‌کنند. در این مطالعه به بررسی و کاربرد ORP سنچ در تصفیه آب و فاضلاب پرداخته شده است. کاربرد پتانسیل اکسایش و کاهش برای اطمینان از اتمام واکنش سیانید یکی از حیاتی‌ترین کاربردهای دستگاه ORP می‌باشد. همچنین به کمک دستگاه ORP می‌توان یکی از

- Fenton process for textile wastewater treatment using on-line monitoring of DO and ORP” *Chemical Engineering Journal* 218 (2013) 341–349
- 3- R. Priambodo, Y. Shih, Y. Huang, Y. Huang, “Treatment of real wastewater using semi batch (Photo)-Electro-Fenton method” *Sustain. Environ. Res.*, 21(6), 389-393 (2011)
- ۹- مراجع
- 1- Y. Kim, H. Nam, Y. Park, J. Lee, T. Park, T. Lee., “Fenton Oxidation Process Control Using Oxidation-reduction Potential Measurement for Pigment Wastewater Treatment” *Korean J. Chem. Eng.*, 21(4), 801-805 (2004)
- 2- R. Yu., C. Lin, H. Chen, W. Cheng, M Kao, “Possible control approaches of the Electro-