استفاده از روش الکترولیز در گندزدایی آبهای صنعتی

دکتر علیرضا رمضانی
دانشگاه علوم پزشکی همدان, دانشکده بهداشت, گروه بهداشت محیط

چکیده

گندزدایی آب بعنوان مهمترین مرحله تصفیه آب جهت تامین آب سالم در فرآیند تولید کالا از اهمیت ویژه ای برخوردار است. این فرآیند با روشهای فیزیکی و شیمیایی متنوعی انجام می پذیرد. در این طرح گندزدایی آب در نقطه مصرف با استفاده از روش الکترولیز در سیستم ناپیوسته مورد بررسی قرار گرفت.

جهت انجام کار جریان الکتریسیته پیوسته در ولتاژ و زمانهای ماند مختلف از نمونه های آلوده عبور داده شد و سپس راندمان انجام عملیات با انجام کشت میکروبی مورد محاسبه قرار گرفت. در این تحقیق تاثیر جنس الکترودها نیز بررسی گردید.

نتایج حاصل از آزمایشات نشان می دهد که با استفاده از الکترودهای استنلس استیل و پلاتین با فاصله ۲ تا ۴ سانتیمتراز همدیگر, ولتاژ ۱۰ تا ۱۵ ولت می توان در فاصله زمانی بین ۲ تا ۴ دقیقه MPN/100ml آب را از ۲۴۰۰ به صفر رسانید.

با توجه به اینکه در اکثر صنایع تامین آب از طریق چاههای حفر شده در محوطه کارخانه تامین می گیرد و لازم است که آب جهت مصارف داخلی و در پروسه تولید مورد گندزدایی قرار گیرد, بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده می توان روش الکترولیز را به عنوان یک روش گندزدایی آب در نقطه مصرف کارخانجات و صنایع معرفی نمود.

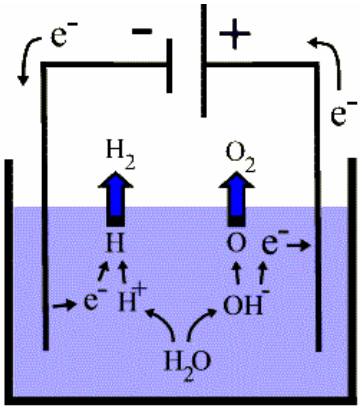
کلمات کلیدی: الکترولیز, گندزدایی آب, کلفرم

مقدمه

با توجه به افزایش منابع آلاینده در جهان و آلودگی آبها , انجام عملیات تصفیه برای سالم سازی آب از اهمیت ویژه ای برخوردار شده است. گندزدائی بعنوان مهمترین واحد تصفیه, وظیفه حفظ و حراست آب را بر عهده داشته و عدم توجه کافی به آن اثرات سویی بر سلامت جوامع بشری خواهد داشت.

در شهرها و مراکز جمعیتی بزرگ بدلیل وجود مراکز کنترل کیفیت آب و سازمانهای بهره بردار اصولا آلودگی های اتفاقی شبکه توزیع بلافاصله مورد کنترل قرار می گیرد. در مراکزی که نیاز آبی از منابع خصوصی تامین می گردد, بمنظور تامین آب سالم و مستمر عمدتا خود این مراکز عهده دار حفظ کیفیت آب از منبع تا نقطه مصرف می باشند. استفاده از تکنولوژی های مناسب در کنترل آلودگی و اطمینان از سلامت آب از جمله عوامل مهم در بخش صنعت می باشد. منبع آب این مراکز بطور عموم چاههای حفر شده در محوطه کارخانه می باشد که علاوه بر تامین آب بهداشتی در تولید فرآورده نیز استفاده می گردد. این مهم زمانی اهمیت خود را نشان می دهد که آب بعنوان ماده اولیه اصلی در خط تولید مورد استفاده قرار می گیرد . استفاده از آب سالم و عاری از میکروب در صنایع غذایی, تولید دارو, صنایع شیمیایی و پرورش آبزیان و غیره بسیار مهم می باشد.

در چنین مراکزی بهترین روش برای تهیه آب سالم استفاده از سیستمهای گندزدایی در نقطه مصرف[1] می باشد. الکترولیز آب[2] با استفاده از الکتریسیته پیوسته از جمله روشهای گندزدایی آب در نقطه مصرف می باشد. در این روش جریان الکتریسیته پیوسته از آب عبور داده می شود نتیجه این عمل تجزیه الکتریکی آب و تولید یونهای H^+ و OH^- در محیط می باشد. این احتمال وجود دارد یونها در ضد عفونی کردن آب موثر باشند (شکل ۱).



شکل ۱: الکترولیز آب با استفاده از الکتریسیته پیوسته (۱)

تئوری عملیات

در طبیعت هیچ آبی بعنوان آب خالص طبقه بندی نمی گردد. هر چیزی در آب بغیر از فرمول H_2O ناخالصی تلقی می گردد. آب یک حلال عمومی بوده و زمانی که یک ماده معدنی در آن حل می گردد بدلیل اتمهای آزاد شده مواد جدیدی تولید می گردد. شکستن ترکیبات شیمیایی بدلیل انحلال در آب تولید کاتیونها با بار مثبت و آنیونها با بار منفی را می نماید (۲).

زمانی که دو الکترود در آب گذاشته شده و جریان الکتریسیته پیوسته در آن برقرار گردد, کاتیونها به سمت الکترود با بار منفی و آنیونها به سمت الکترود با بار مثبت منتقل شده و در آنجا واکنشهایی اتفاق می افتد. طبیعت تغییرات شیمیایی حاصل بستگی به ترکیب محلول, طبیعت الکترودها و پتانسیل الکتریکی اعمال شده به سیستم دارد (۳). در محلول نمکی رقیق واکنش های حاصل به قرار زیر می باشد:

کاتد $$H_2O + e^- \rightarrow OH^- + \tfrac{1}{2} H_2$$

آند $$Cl^- \rightarrow \tfrac{1}{2} Cl^2 + e^-$$

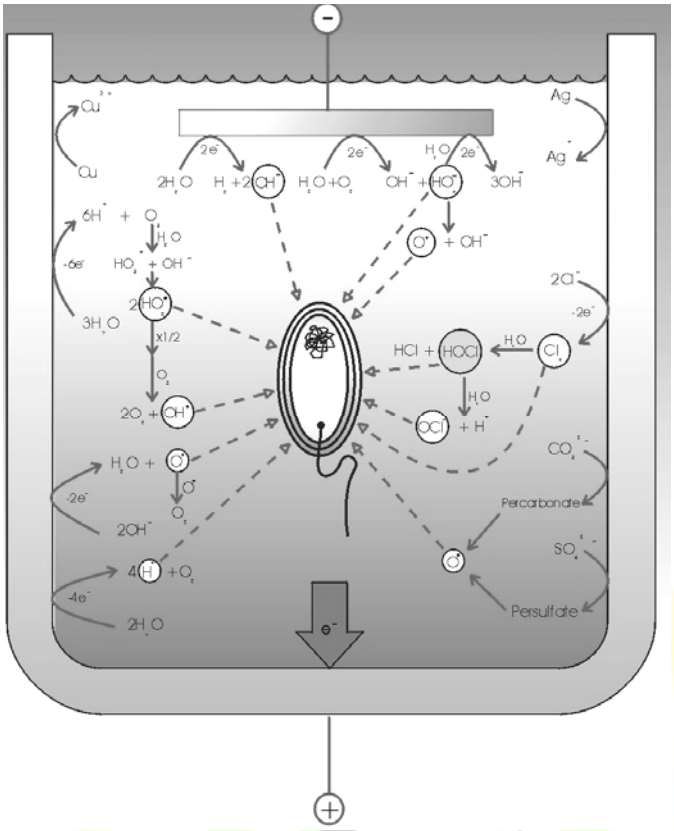
واکنش کلی $$H_2O + Cl^- \rightarrow OH^- + \tfrac{1}{2} H_2 + \tfrac{1}{2} Cl_2$$

محصولات تولید شده از واکنش های فوق OH^- و Cl_2 می باشند. در نتیجه حضور این دو یون و واکنشهای حاصل عمل گندزدایی اتفاق می افتد (۴) .

$$Cl_2(g) + H_2O \rightarrow HOCl + Cl^- + H^+$$

در شکل ۲ غیر فعال سازی میکروارگانیسم ها در نتیجه محصولات حاصل از هیدرولیز نشان داده شده است.

1 - Point of use
2 - Water Electrolysis (WE)



شکل ۲ : غیر فعال سازی میکروارگانیسم ها در نتیجه الکترولیز (۵)

نتیجه عمل محصولات حاصل از الکترولیز بر روی میکروارگانیسم ها می تواند به یکی از دلایل زیر باشد:

۱- حمله به دیواره سلولی و ایجاد پارگی جدار

۲- حمله به ترکیبات داخلی سلول (تغییر در پروتوپلاسم یا اسید نوکلئیک, تغییر در سنتز پروتئین,)

۳- تداخل در فعالیت آنزیمی

عوامل گندزدا بایستی خصوصیاتی مشابه با اکسیدانها داشته باشند. در اینصورت آنها جهت غیر فعال سازی غالب میکروبها می توانند موثر باشند. گندزداهای اصلی حاصل از واکنشهای الکترولیز را می توان بصورت زیر طبقه بندی نمود:

۱- ترکیبات کلره: گاز کلر, هیپوکلریت, اسید هیپوکلرو و دی اکسید کلر

۲- ترکیبات اکسیژنه: ازن, پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل

۳- سایر ترکیبات: پرمنگنات, فرات, یونهای سایر فلزات بینابینی (بعنوان مثال مس و نقره)

هدف اصلی این تحقیق بررسی راندمان حذف شاخص آلودگی آب (کلیفرم) با استفاده از جریان الکتریسیته پیوسته در سلول الکتروشیمیایی و اکسیداسیون مستقیم باکتری با اکسیدانهای حاصل از الکترولیز می باشد.

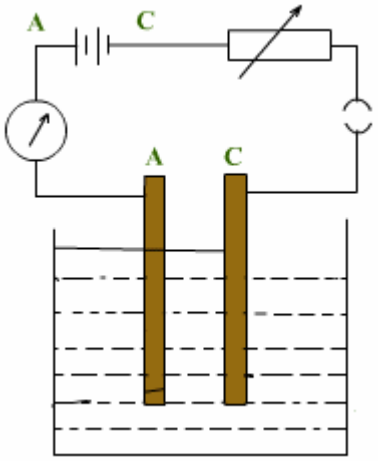
مواد و روشها

این تحقیق یک مطالعه کاربردی است که به منظور بررسی تأثیر جریان الکتریسیته پیوسته با ولتاژ پایین بر روی شاخص آلودگی (کلیفرم) در نمونه های آلوده آب انجام شده است.

جهت انجام آزمایشات از بشر ۵۰۰ml استفاده گردید و بعد از اضافه نمودن آب آلوده با استفاده از الکترودهای مختلف ، زمان ماند متغیر ، ولتاژها و فاصلهٔ متفاوت بین الکترودها جریان الکتریسیته بر قرار گردید (شکل ۳) . بعد از اتمام هر مرحله, نمونه مورد آزمایش میکروبی قرار گرفته و MPN/100 ml آن تعیین گردید . با استفاده از متد تشریح شده در آزمون های جداگانه ای تأثیر غلظت نمک نیز بر انجام واکنش مورد بررسی قرار گرفت.

جنس الکترودهای مورد استفاده مس, آلومینیوم, کربن, استنلس استیل و پلاتین با ابعاد ۵ در ۱۵ سانتیمتر انتخاب گردید. از آنجایی که فلزات مختلف دارای پتانسیل الکترودی متفاوتی هستند بنابراین جهت انتخاب کاتد و آند از این خاصیت استفاده شد. به این ترتیب که فلزات با قدرت اکسیداسیون (الکترون دهی بالا) بالاتر به عنوان آند و فلزاتی که قدرت الکترون دهی کمتری دارند به عنوان کاتد انتخاب شدند. در این آزمون ها از ترکیب الکترودها بصورت (S-S) (S-Pt) (Al-Al) (C-C) (C-S) (Cu-S) (Cu-C) (Cu-Cu) (A l- C) (Al-Cu) استفاده گردید.

در انجام آزمایشات تغییرات ولتاژ بین ۵ تا ۲۵ ولت ، زمان ماند بین ۲ تا ۱۵ دقیقه, فاصلهٔ بین دو الکترود ۲ تا ۸ سانتیمتر و غلظت نمک بین ۲۹۲ تا ۸۷۷ میلی گرم در لیتر بر حسب کلرور سدیم در نظر گرفته شد . در ضمن در تمامی آزمایش ها تأثیر اختلاط بر روی سرعت واکنشها نیز مورد بررسی قرار گرفت .



شکل ۳: نمای کلی راکتور مورد استفاده در این تحقیق

- تهیه نمونهٔ آب خام و کشت میکروبی

برای تهیه آب آلوده ابتدا از آبی که دارای آلودگی میکروبی بالایی بود به روش تخمیر چند لوله ای کشت میکروبی در محیط LB تهیه گردید (۶). بعد از انکوباسیون در ۳۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت از نمونه های مثبت در محیط EMB کشت داده شد. در هر بار آزمایش به نمونه های آب یک کلونی از محیط کشت EMB اضافه کرده تا نمونه آب آلوده جهت استفاده در آزمون های بعدی تهیه گردد . سپس جهت تعیین راندمان تأثیر جریان الکتریسیته DC بر روی نمونه های آب خام بعد از مراحل گفته شده در بالا از آزمون های شمارش کشت میکروبی به روش تخمیر ۹ لوله ای استفاده شده و نتایج بر حسب MPN در ۱۰۰ میلی لیتر تعیین گردید.

نتایج

نتایج حاصل از آزمایشات نشان می دهد که ترکیب الکترودهای (Pt-S) و (S-S) بترتیب دارای بهترین تاثیر نسبت به سایر الکترودها بوده و با زمان تماس ۵ دقیقه و ولتاژ ۵ می توانند MPN/100ml را از ۲۴۰۰ به صفر کاهش دهند (جداول۱و ۲) در این آزمایشات کل جامدات محلول ۳۵۰ میلی گرم در لیتر و هدایت الکتریکی . نتایج حاصله همچنین نشان می دهد که با کاهش فاصله بین الکترودها ولتاژ مصرفی نیز کاهش پیدا می کند.

جدول ۱ : نتایج حاصل از کاربرد الکترودهای مختلف با فاصله و ولتاژ متغیر در گندزدایی آب

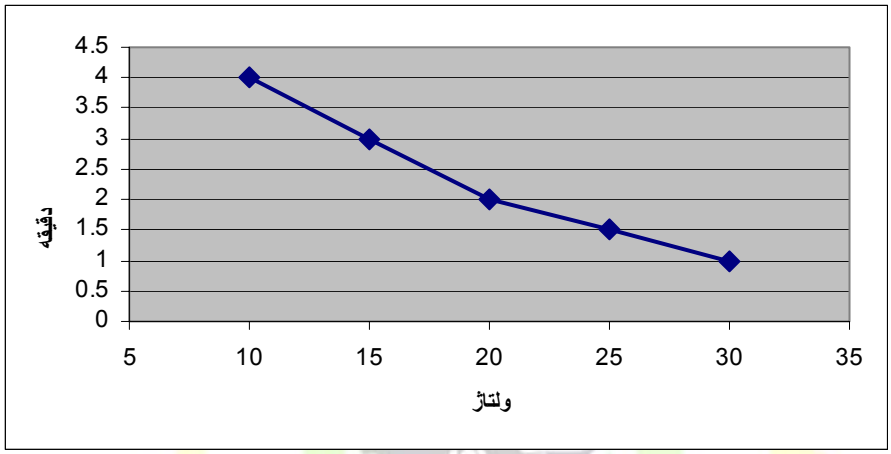
جنس الکترودها	ولتاژ اعمال شده		
	فاصله الکترودها از همدیگر		
	2 Cm	4 Cm	8 Cm
Al-Al	25	25	-
Al-Cu	20	20	25
Al-C	15	20	20
Al-S	15	20	20
Cu-Cu	20	25	-
Cu-C	20	25	25
Cu-S	15	20	25
C-C	20	20	25
C-S	20	20	20
S-S	10	15	15
S-Pt	8	10	10

جدول ۲ : نتایج حاصل از مقایسه دو ترکیب الکترودهای Pt-S و S-S در گندزدایی آب

			MPN/100 ml		
			فاصله بین الکترودها, Cm		
الکترودها	اختلاط	ولتاژ	۲	۴	۸
Pt-S	با	۸	۲/۲	۲/۲	۳/۶
	بدون		۱/۱	۲/۲	۲/۲
	با	۱۰	۱/۱	۱/۱	۲/۲
	بدون		۰	۱/۱	۱/۱
	با	۱۵	۰	۰	۱/۱
	بدون		۰	۰	۰
S-S	با	۸	۲/۲	۳/۶	۵/۱
	بدون		۲/۲	۳/۶	۳/۶
	با	۱۰	۱/۱	۲/۲	۳/۶
	بدون		۰	۲/۲	۲/۲
	با	۱۵	۰	۱/۱	۲/۲
	بدون		۰	۱/۱	۱/۱
	با	۲۰	۰	۰	۱/۱
	بدون		۰	۰	۰

نتایج حاصله از آزمایشات همچنین نشان دهنده این مطلب می باشد که در صورت انجام اختلاط در طی الکترولیز با ثابت بودن ولتاژ یا فاصله الکترودها در مدت زمان کمتری می توان به گندزدایی آب دست یافت. همچنین افزایش غلظت نمک باعث کاهش ولتاژ و زمان مورد نیاز جهت گندزدایی آب می شود.

در انجام آزمون با الکترودهای Pt-S با فاصله ۲ سانتیمتر, هدایت الکتریکی ۶۵۰ و کل جامدات محلول ۴۵۵ مشاهده می شود که با افزایش ولتاژ زمان مورد نیاز برای گندزدایی آب کاهش می یابد (نمودار۱).

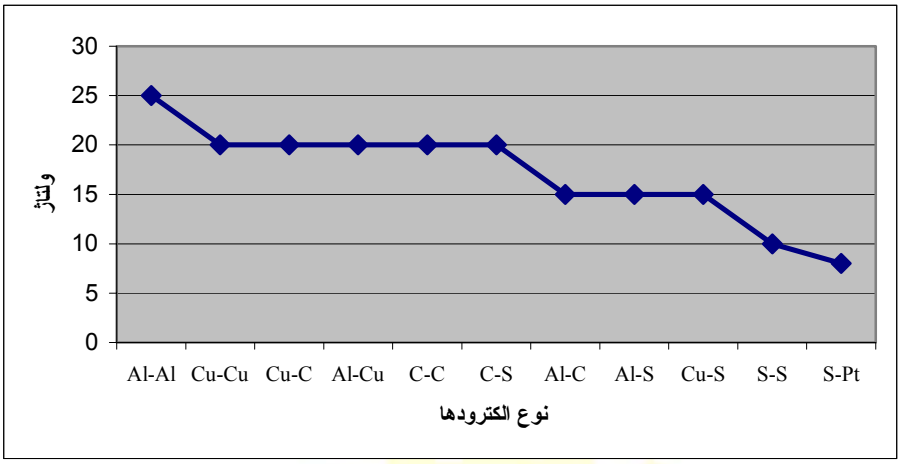


نمودار۱: تاثیر افزایش ولتاژ در کاهش زمان مورد نیاز برای گندزدایی آب

بحث و نتیجه گیری

زمانی که جریان الکتریسیته از طریق دو الکترود در آب برقرار گردد, یکسری تغییرات شیمیایی در آب اتفاق خواهد افتاد. این تغییرات تابع ترکیب محلول و غلظت نمک در آن, طبیعت الکترودها و پتانسیل الکتریکی اعمال شده به سیستم دارد.

بررسی نتایج نشان میدهد که الکترود پلاتین مناسب ترین الکترود در افزایش راندمان کاهش بار آلودگی می باشد این الکترود به علت پتانسیل الکتریکی بالایی که دارد به عنوان الکترود خنثی عمل کرده و در واکنش های اکسیداسیون و احیاء به عنوان کاتالیزور بوده و خوردگی کمتری در سطح آن اتفاق می افتد در نتیجه در فواصل زمانی طولانی تری نیاز به تعویض دارد. هر چند هزینهٔ اولیه این الکترود بالا بوده ولی به علت پایین بودن هزینه راهبری استفاده از آنها مقرون به صرفه می باشد. الکترود اسنلس استیل در مرتبهٔ دوم قرار داشته و با سرعت کمتری گندزدائی را انجام می دهد (نمودار ۲).



نمودار ۲: بررسی تاثیر نوع الکترودها در گندزدایی آب

بسته به نوع الکترودهای استفاده شده فاصلهٔ تأثیر آنها در کاهش آلودگی میکروبی نیز متفاوت می باشد. اکثر الکترودها تا فاصلهٔ ۲cm راندمان بالایی در حذف آلودگی دارند. در مورد الکترودهای ترکیبی Pt-S در ولتاژ ۱۰ این فاصله ۸ سانتیمتر و برای الکترودهای S-S این فاصله ۲ سانتیمتر می باشد. در صورت اضافه نمودن ولتاژ می توان فاصلهٔ تأثیر الکترودها را نیز بیشتر نمود.

تغییرات ولتاژ نیز تأثیر زیادی در کاهش MPN دارد. این تغییرات با توجه به نوع الکترودها و غلظت نمک متفاوت است. برای الکترودهای ضعیف تر این مقدار به ۲۵ ولت نیز می رسد ولی برای الکترود S-PT اعمال ولتاژ تا ۱۰ ولت دامنهٔ تأثیر الکترود را تا ۸ سانتیمتر افزایش داده و راندمان خوبی در حذف آلودگی میکروبی نشان می دهد.

زمان ماند نیز مانند دیگر پارامترها به عواملی چون نوع الکترود و ولتاژ بستگی دارد که در حداقل ولتاژ و حداکثر فاصله, زمان ماند برای اکترودهای (S-PT) ۵ دقیقه بوده و برای الکترودهای دیگر نیاز به زمان ماند بیشتری می باشد البته در صورت اضافه کردن نمک به نمونه ها این زمان حتی به ۲ دقیقه نیز کاهش می یابد.

جریان الکتریسیته در آب خالص باعث الکترولیز و ایجاد یون $\overline{H}$ و $\overline{OH}$ شده و جریان یونی را در آب ایجاد می کند ولی به علت اینکه قدرت یونیزاسیون آب 10^{-14} بوده و زمان مورد نیاز برای ایجاد جریان یونی بالا می باشد, در صورت استفاده از الکترود مناسب و یا نمک مناسب سرعت واکنش ها بیشتر میشود. بنابراین در هنگام عدم دسترسی به الکترودهای مناسب, اضافه کردن مقداری یون به محیط باعث افزایش راندمان کار خواهد شد. این فرآیند همچنین باعث کاهش ولتاژ مصرفی نیز خواهد گردید.

نتیجه کلی و ارائه راهکار :

ـ بهترین الکترود از نظر جنس پلاتین بوده و پس از آن استلس استیل در درجهٔ دوم اهمیت دارد.

ـ برای تمام الکترودها بهترین فاصلهٔ ۲cm و در صورت استفاده از الکترودهای پلاتین و استنلس استیل این فاصلهٔ تا ۴cm نیز مناسب است.

ـ ولتاژ بهینه برای آب خالص ۱۵-۱۰ ولت و برای آب حاوی املاح ۸ ولت می باشد.

ـ در صورت استفاده از عمل اختلاط ولتاژ مورد نیاز کاهش خواهد یافت.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از دانشجویان محترم کارشناسی بهداشت محیط خانمها معصومه مبرا و صدیقه لک که در غالب پروژه دانشجویی در انجام این تحقیق همکاری نموده اند تشکر و قدردانی می شود.

منابع

1- http://www.nmsea.org/Curriculum/7_12/electrolysis/electrolysis.htm
2- Frank N. Kemmer, (1988), The NALCO Water Handbook, 2th ed., McGraw-Hill, Singapore.
3- Sawyer N., McCarty L. and Parkin F., (1994), Chemistry for environmental engineering, 14th ed. , McGraw-Hill, Singapore.
4- Hazen and Sawyer, (1992), Disinfection alternatives for safe drinking water, Van Nostrand Reinhold, New York.
5- http://electrochem.cwru.edu/ed/encycl/index.html
6- American Public Health Agency, WWA, WEF, (1992), Standard methods for the examination of water & wastewater, 18th ed,. Washington DC: APHA

استفاده از روش الکترولیز در گندزدایی آبهای صنعتی

دکتر علیرضا رمضانی
دانشگاه علوم پزشکی همدان, دانشکده بهداشت, گروه بهداشت محیط

چکیده

گندزدایی آب بعنوان مهمترین مرحله تصفیه آب جهت تامین آب سالم در فرآیند تولید کالا از اهمیت ویژه ای برخوردار است. این فرآیند با روشهای فیزیکی و شیمیایی متنوعی انجام می پذیرد. در این طرح گندزدایی آب در نقطه مصرف با استفاده از روش الکترولیز در سیستم ناپیوسته مورد بررسی قرار گرفت.

جهت انجام کار جریان الکتریسیته پیوسته در ولتاژ و زمانهای ماند مختلف از نمونه های آلوده عبور داده شد و سپس راندمان انجام عملیات با انجام کشت میکروبی مورد محاسبه قرار گرفت. در این تحقیق تاثیر جنس الکترودها نیز بررسی گردید.

نتایج حاصل از آزمایشات نشان می دهد که با استفاده از الکترودهای استنلس استیل و پلاتین با فاصله ۲ تا ۴ سانتیمتراز همدیگر, ولتاژ ۱۰ تا ۱۵ ولت می توان در فاصله زمانی بین ۲ تا ۴ دقیقه MPN/100ml آب را از ۲۴۰۰ به صفر رسانید.

با توجه به اینکه در اکثر صنایع تامین آب از طریق چاههای حفر شده در محوطه کارخانه تامین می گیرد و لازم است که آب جهت مصارف داخلی و در پروسه تولید مورد گندزدایی قرار گیرد, بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده می توان روش الکترولیز را به عنوان یک روش گندزدایی آب در نقطه مصرف کارخانجات و صنایع معرفی نمود.

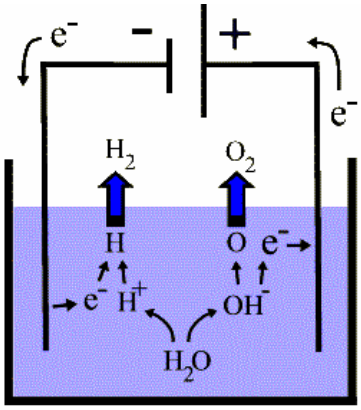
کلمات کلیدی: الکترولیز, گندزدایی آب, کلفرم

مقدمه

با توجه به افزایش منابع آلاینده در جهان و آلودگی آبها , انجام عملیات تصفیه برای سالم سازی آب از اهمیت ویژه ای برخوردار شده است. گندزدائی بعنوان مهمترین واحد تصفیه, وظیفه حفظ و حراست آب را بر عهده داشته و عدم توجه کافی به آن اثرات سویی بر سلامت جوامع بشری خواهد داشت.

در شهرها و مراکز جمعیتی بزرگ بدلیل وجود مراکز کنترل کیفیت آب و سازمانهای بهره بردار اصولا آلودگی های اتفاقی شبکه توزیع بلافاصله مورد کنترل قرار می گیرد. در مراکزی که نیاز آبی از منابع خصوصی تامین می گردد, بمنظور تامین آب سالم و مستمر عمدتا خود این مراکز عهده دار حفظ کیفیت آب از منبع تا نقطه مصرف می باشند. استفاده از تکنولوژی های مناسب در کنترل آلودگی و اطمینان از سلامت آب از جمله عوامل مهم در بخش صنعت می باشد. منبع آب این مراکز بطور عموم چاههای حفر شده در محوطه کارخانه می باشد که علاوه بر تامین آب بهداشتی در تولید فرآورده نیز استفاده می گردد. این مهم زمانی اهمیت خود را نشان می دهد که آب بعنوان ماده اولیه اصلی در خط تولید مورد استفاده قرار می گیرد . استفاده از آب سالم و عاری از میکروب در صنایع غذایی, تولید دارو, صنایع شیمیایی و پرورش آبزیان و غیره بسیار مهم می باشد.

در چنین مراکزی بهترین روش برای تهیه آب سالم استفاده از سیستمهای گندزدایی در نقطه مصرف[3] می باشد. الکترولیز آب[4] با استفاده از الکتریسیته پیوسته از جمله روشهای گندزدایی آب در نقطه مصرف می باشد. در این روش جریان الکتریسیته پیوسته از آب عبور داده می شود نتیجه این عمل تجزیه الکتریکی آب و تولید یونهای H^+ و OH^- در محیط می باشد. این احتمال وجود دارد یونها در ضد عفونی کردن آب موثر باشند (شکل ۱).



شکل ۱: الکترولیز آب با استفاده از الکتریسیته پیوسته (۱)

تئوری عملیات

در طبیعت هیچ آبی بعنوان آب خالص طبقه بندی نمی گردد. هر چیزی در آب بغیر از فرمول H_2O ناخالصی تلقی می گردد. آب یک حلال عمومی بوده و زمانی که یک ماده معدنی در آن حل می گردد بدلیل اتمهای آزاد شده مواد جدیدی تولید می گردد. شکستن ترکیبات شیمیایی بدلیل انحلال در آب تولید کاتیونها با بار مثبت و آنیونها با بار منفی را می نماید (۲).

زمانی که دو الکترود در آب گذاشته شده و جریان الکتریسیته پیوسته در آن برقرار گردد, کاتیونها به سمت الکترود با بار منفی و آنیونها به سمت الکترود با بار مثبت منتقل شده و در آنجا واکنشهایی اتفاق می افتد. طبیعت تغییرات شیمیایی حاصل بستگی به ترکیب محلول, طبیعت الکترودها و پتانسیل الکتریکی اعمال شده به سیستم دارد (۳). در محلول نمکی رقیق واکنش های حاصل به قرار زیر می باشد:

کاتد $H_2O + e^- \rightarrow OH^- + \frac{1}{2} H_2$

آند $Cl^- \rightarrow \frac{1}{2} Cl^2 + e^-$

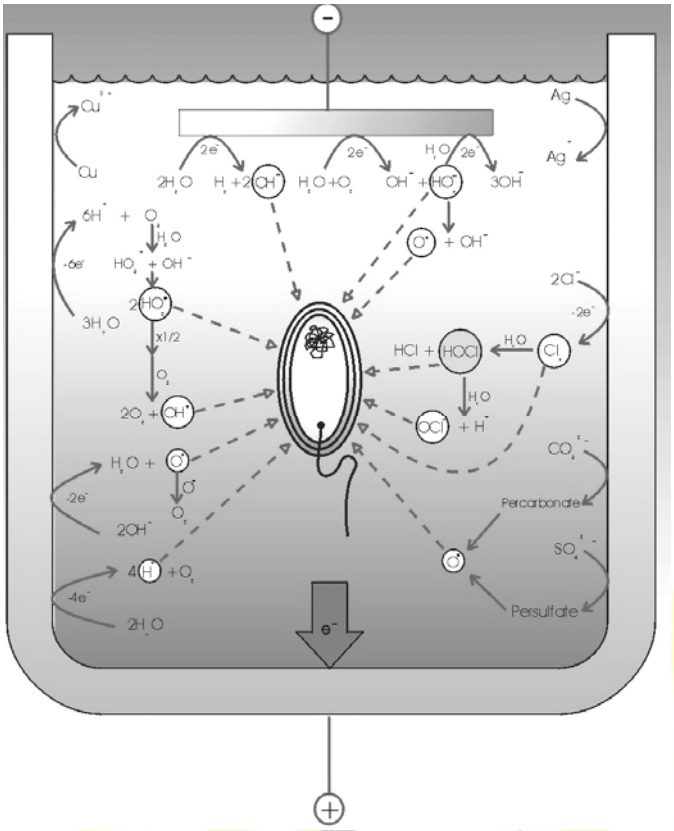
واکنش کلی $H_2O + Cl^- \rightarrow OH^- + \frac{1}{2} H_2 + \frac{1}{2} Cl_2$

محصولات تولید شده از واکنش های فوق OH^- و Cl_2 می باشند. در نتیجه حضور این دو یون و واکنشهای حاصل عمل گندزدایی اتفاق می افتد (۴) .

$$Cl_2(g) + H_2O \rightarrow HOCl + Cl^- + H^+$$

در شکل ۲ غیر فعال سازی میکروارگانیسم ها در نتیجه محصولات حاصل از هیدرولیز نشان داده شده است.

3 - Point of use
4 - Water Electrolysis (WE)



شکل ۲ : غیر فعال سازی میکروارگانیسم ها در نتیجه الکترولیز (۵)

نتیجه عمل محصولات حاصل از الکترولیز بر روی میکروارگانیسم ها می تواند به یکی از دلایل زیر باشد:

۴- حمله به دیواره سلولی و ایجاد پارگی جدار

۵- حمله به ترکیبات داخلی سلول (تغییر در پروتوپلاسم یا اسید نوکلئیک, تغییر در سنتز پروتئین,)

۶- تداخل در فعالیت آنزیمی

عوامل گندزدا بایستی خصوصیاتی مشابه با اکسیدانها داشته باشند. در اینصورت آنها جهت غیر فعال سازی غالب میکروبها می توانند موثر باشند. گندزداهای اصلی حاصل از واکنشهای الکترولیز را می توان بصورت زیر طبقه بندی نمود:

۴- ترکیبات کلره: گاز کلر, هیپوکلریت, اسید هیپوکلرو و دی اکسید کلر

۵- ترکیبات اکسیژنه: ازن, پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل

۶- سایر ترکیبات: پرمنگنات, فرات, یونهای سایر فلزات بینابینی (بعنوان مثال مس و نقره)

هدف اصلی این تحقیق بررسی راندمان حذف شاخص آلودگی آب (کلیفرم) با استفاده از جریان الکتریسیته پیوسته در سلول الکتروشیمیایی و اکسیداسیون مستقیم باکتری با اکسیدانهای حاصل از الکترولیز می باشد.

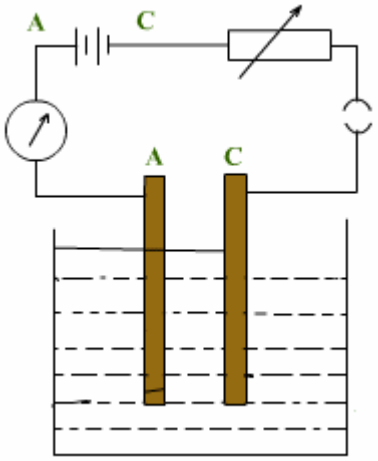
مواد و روشها

این تحقیق یک مطالعه کاربردی است که به منظور بررسی تأثیر جریان الکتریسیته پیوسته با ولتاژ پایین بر روی شاخص آلودگی (کلیفرم) در نمونه های آلوده آب انجام شده است.

جهت انجام آزمایشات از بشر ۵۰۰ml استفاده گردید و بعد از اضافه نمودن آب آلوده با استفاده از الکترودهای مختلف ، زمان ماند متغیر ، ولتاژها و فاصلهٔ متفاوت بین الکترودها جریان الکتریسیته بر قرار گردید (شکل ۳) . بعد از اتمام هر مرحله, نمونه مورد آزمایش میکروبی قرار گرفته و MPN/100 ml آن تعیین گردید . با استفاده از متد تشریح شده در آزمون های جداگانه ای تأثیر غلظت نمک نیز بر انجام واکنش مورد بررسی قرار گرفت.

جنس الکترودهای مورد استفاده مس, آلومینیوم, کربن, استنلس استیل و پلاتین با ابعاد ۵ در ۱۵ سانتیمتر انتخاب گردید. از آنجایی که فلزات مختلف دارای پتانسیل الکترودی متفاوتی هستند بنابراین جهت انتخاب کاتد و آند از این خاصیت استفاده شد. به این ترتیب که فلزات با قدرت اکسیداسیون (الکترون دهی بالا) بالاتر به عنوان آند و فلزاتی که قدرت الکترون دهی کمتری دارند به عنوان کاتد انتخاب شدند. در این آزمون ها از ترکیب الکترودها بصورت (S-S) (S-Pt) (Al-Al) (C-C) (C-S) (Cu-S) (Cu-C) (Cu-Cu) (A l- C) (Al-Cu) استفاده گردید.

در انجام آزمایشات تغییرات ولتاژ بین ۵ تا ۲۵ ولت ، زمان ماند بین ۲ تا ۱۵ دقیقه, فاصلهٔ بین دو الکترود ۲ تا ۸ سانتیمتر و غلظت نمک بین ۲۹۲ تا ۸۷۷ میلی گرم در لیتر بر حسب کلرور سدیم در نظر گرفته شد . در ضمن در تمامی آزمایش ها تأثیر اختلاط بر روی سرعت واکنشها نیز مورد بررسی قرار گرفت .



شکل ۳: نمای کلی راکتور مورد استفاده در این تحقیق

- تهیه نمونهٔ آب خام و کشت میکروبی

برای تهیه آب آلوده ابتدا از آبی که دارای آلودگی میکروبی بالایی بود به روش تخمیر چند لوله ای کشت میکروبی در محیط LB تهیه گردید (۶). بعد از انکوباسیون در ۳۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت از نمونه های مثبت در محیط EMB کشت داده شد. در هر بار آزمایش به نمونه های آب یک کلونی از محیط کشت EMB اضافه کرده تا نمونه آب آلوده جهت استفاده در آزمون های بعدی تهیه گردد . سپس جهت تعیین راندمان تأثیر جریان الکتریسیته DC بر روی نمونه های آب خام بعد از مراحل گفته شده در بالا از آزمون های شمارش کشت میکروبی به روش تخمیر ۹ لوله ای استفاده شده و نتایج بر حسب MPN در ۱۰۰ میلی لیتر تعیین گردید.

نتایج

نتایج حاصل از آزمایشات نشان می دهد که ترکیب الکترودهای (Pt-S) و (S-S) بترتیب دارای بهترین تاثیر نسبت به سایر الکترودها بوده و با زمان تماس ۵ دقیقه و ولتاژ ۵ می توانند MPN/100ml را از ۲۴۰۰ به صفر کاهش دهند (جداول۱و ۲) در این آزمایشات کل جامدات محلول ۳۵۰ میلی گرم در لیتر و هدایت الکتریکی . نتایج حاصله همچنین نشان می دهد که با کاهش فاصله بین الکترودها ولتاژ مصرفی نیز کاهش پیدا می کند.

جدول ۱ : نتایج حاصل از کاربرد الکترودهای مختلف با فاصله و ولتاژ متغیر در گندزدایی آب

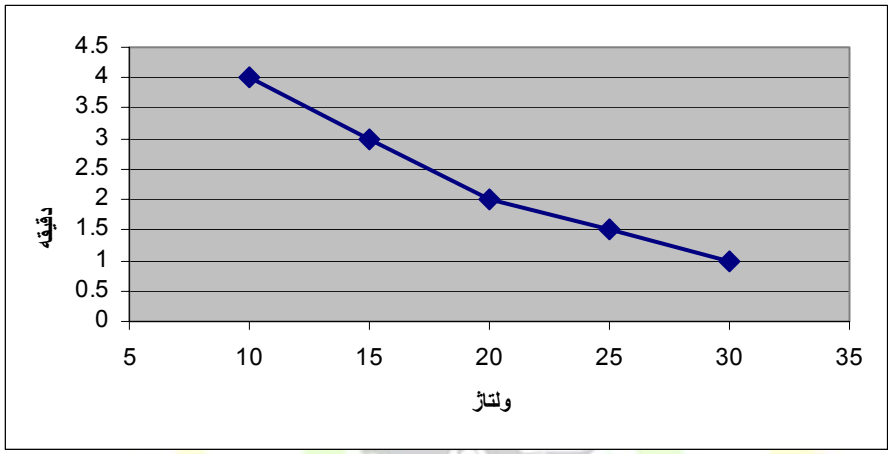
جنس الکترودها	ولتاژ اعمال شده		
	فاصله الکترودها از همدیگر		
	2 Cm	4 Cm	8 Cm
Al-Al	25	25	-
Al-Cu	20	20	25
Al-C	15	20	20
Al-S	15	20	20
Cu-Cu	20	25	-
Cu-C	20	25	25
Cu-S	15	20	25
C-C	20	20	25
C-S	20	20	20
S-S	10	15	15
S-Pt	8	10	10

جدول ۲ : نتایج حاصل از مقایسه دو ترکیب الکترودهای Pt-S و S-S در گندزدایی آب

			MPN/100 ml		
			فاصله بین الکترودها, Cm		
الکترودها	اختلاط	ولتاژ	۲	۴	۸
Pt-S	با	۸	۲/۲	۲/۲	۳/۶
	بدون		۱/۱	۲/۲	۲/۲
	با	۱۰	۱/۱	۱/۱	۲/۲
	بدون		۰	۱/۱	۱/۱
	با	۱۵	۰	۰	۱/۱
	بدون		۰	۰	۰
S-S	با	۸	۲/۲	۳/۶	۵/۱
	بدون		۲/۲	۳/۶	۳/۶
	با	۱۰	۱/۱	۲/۲	۳/۶
	بدون		۰	۲/۲	۲/۲
	با	۱۵	۰	۱/۱	۲/۲
	بدون		۰	۱/۱	۱/۱
	با	۲۰	۰	۰	۱/۱
	بدون		۰	۰	۰

نتایج حاصله از آزمایشات همچنین نشان دهنده این مطلب می باشد که در صورت انجام اختلاط در طی الکترولیز با ثابت بودن ولتاژ یا فاصله الکترودها در مدت زمان کمتری می توان به گندزدایی آب دست یافت. همچنین افزایش غلظت نمک باعث کاهش ولتاژ و زمان مورد نیاز جهت گندزدایی آب می شود.

در انجام آزمون با الکترودهای Pt-S با فاصله ۲ سانتیمتر, هدایت الکتریکی ۶۵۰ و کل جامدات محلول ۴۵۵ مشاهده می شود که با افزایش ولتاژ زمان مورد نیاز برای گندزدایی آب کاهش می یابد (نمودار۱).

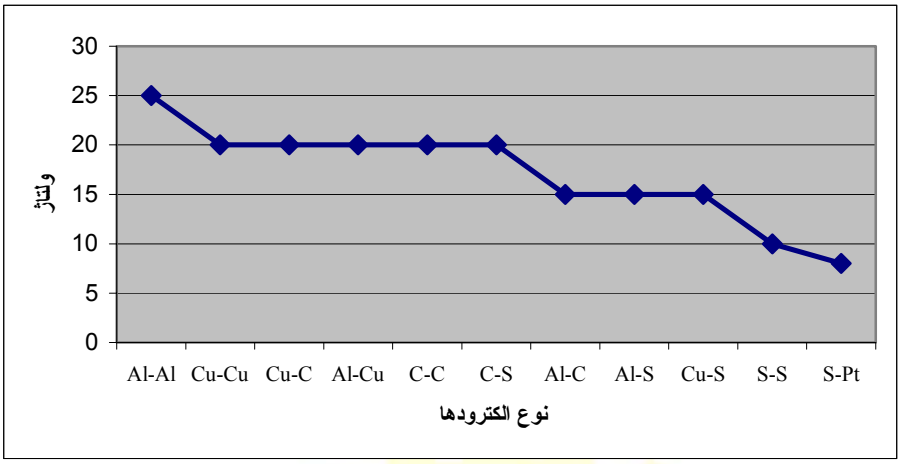


نمودار۱: تاثیر افزایش ولتاژ در کاهش زمان مورد نیاز برای گندزدایی آب

بحث و نتیجه گیری

زمانی که جریان الکتریسیته از طریق دو الکترود در آب برقرار گردد, یکسری تغییرات شیمیایی در آب اتفاق خواهد افتاد. این تغییرات تابع ترکیب محلول و غلظت نمک در آن, طبیعت الکترودها و پتانسیل الکتریکی اعمال شده به سیستم دارد.

بررسی نتایج نشان میدهد که الکترود پلاتین مناسب ترین الکترود در افزایش راندمان کاهش بار آلودگی می باشد این الکترود به علت پتانسیل الکتریکی بالایی که دارد به عنوان الکترود خنثی عمل کرده و در واکنش های اکسیداسیون و احیاء به عنوان کاتالیزور بوده و خوردگی کمتری در سطح آن اتفاق می افتد در نتیجه در فواصل زمانی طولانی تری نیاز به تعویض دارد. هر چند هزینهٔ اولیه این الکترود بالا بوده ولی به علت پایین بودن هزینه راهبری استفاده از آنها مقرون به صرفه می باشد. الکترود اسنلس استیل در مرتبهٔ دوم قرار داشته و با سرعت کمتری گندزدائی را انجام می دهد (نمودار ۲).



نمودار ۲: بررسی تاثیر نوع الکترودها در گندزدایی آب

بسته به نوع الکترودهای استفاده شده فاصلهٔ تأثیر آنها در کاهش آلودگی میکروبی نیز متفاوت می باشد. اکثر الکترودها تا فاصلهٔ ۲cm راندمان بالایی در حذف آلودگی دارند. در مورد الکترودهای ترکیبی Pt-S در ولتاژ ۱۰ این فاصله ۸ سانتیمتر و برای الکترودهای S-S این فاصله ۲ سانتیمتر می باشد. در صورت اضافه نمودن ولتاژ می توان فاصلهٔ تأثیر الکترودها را نیز بیشتر نمود.

تغییرات ولتاژ نیز تأثیر زیادی در کاهش MPN دارد. این تغییرات با توجه به نوع الکترودها و غلظت نمک متفاوت است. برای الکترودهای ضعیف تر این مقدار به ۲۵ ولت نیز می رسد ولی برای الکترود S-PT اعمال ولتاژ تا ۱۰ ولت دامنهٔ تأثیر الکترود را تا ۸ سانتیمتر افزایش داده و راندمان خوبی در حذف آلودگی میکروبی نشان می دهد.

زمان ماند نیز مانند دیگر پارامترها به عواملی چون نوع الکترود و ولتاژ بستگی دارد که در حداقل ولتاژ و حداکثر فاصله, زمان ماند برای اکترودهای (S-PT) ۵ دقیقه بوده و برای الکترودهای دیگر نیاز به زمان ماند بیشتری می باشد البته در صورت اضافه کردن نمک به نمونه ها این زمان حتی به ۲ دقیقه نیز کاهش می یابد.

جریان الکتریسیته در آب خالص باعث الکترولیز و ایجاد یون $\overline{H}$ و $\overline{OH}$ شده و جریان یونی را در آب ایجاد می کند ولی به علت اینکه قدرت یونیزاسیون آب 10^{-14} بوده و زمان مورد نیاز برای ایجاد جریان یونی بالا می باشد, در صورت استفاده از الکترود مناسب و یا نمک مناسب سرعت واکنش ها بیشتر میشود. بنابراین در هنگام عدم دسترسی به الکترودهای مناسب, اضافه کردن مقداری یون به محیط باعث افزایش راندمان کار خواهد شد. این فرآیند همچنین باعث کاهش ولتاژ مصرفی نیز خواهد گردید.

نتیجه کلی و ارائه راهکار :

ـ بهترین الکترود از نظر جنس پلاتین بوده و پس از آن استلس استیل در درجهٔ دوم اهمیت دارد.

ـ برای تمام الکترودها بهترین فاصلهٔ ۲cm و در صورت استفاده از الکترودهای پلاتین و استنلس استیل این فاصلهٔ تا ۴cm نیز مناسب است.

ـ ولتاژ بهینه برای آب خالص ۱۵-۱۰ ولت و برای آب حاوی املاح ۸ ولت می باشد.

ـ در صورت استفاده از عمل اختلاط ولتاژ مورد نیاز کاهش خواهد یافت.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از دانشجویان محترم کارشناسی بهداشت محیط خانمها معصومه مبرا و صدیقه لک که در غالب پروژه دانشجویی در انجام این تحقیق همکاری نموده اند تشکر و قدردانی می شود.

منابع

7- http://www.nmsea.org/Curriculum/7_12/electrolysis/electrolysis.htm
8- Frank N. Kemmer, (1988), The NALCO Water Handbook, 2th ed., McGraw-Hill, Singapore.
9- Sawyer N., McCarty L. and Parkin F., (1994), Chemistry for environmental engineering, 14th ed. , McGraw-Hill, Singapore.
10- Hazen and Sawyer, (1992), Disinfection alternatives for safe drinking water, Van Nostrand Reinhold, New York.
11- http://electrochem.cwru.edu/ed/encycl/index.html
12- American Public Health Agency, WWA, WEF, (1992), Standard methods for the examination of water & wastewater, 18th ed,. Washington DC: APHA