

ارزیابی سیستم های گندزدایی آب آشامیدنی

شرکت آب وفاضلاب استان مرکزی - غلامرضا احمدی - شهرام خلیلی

چکیده:

تمامی آبهایی که مورد استفاده شرب قرار می گیرند باید گندزدائی شوند، گندزدائی موجب غیر فعال شدن باکتریها درمبدا می گردد و چنان چه این باکتری ها در حین توزیع و یا در مخازن ذخیره وجود داشته باشند باقیمانده گندزدا موجب نابودی آن می گردد.

در حال حاضر بیشترین گندزدائی که در سراسر جهان استفاده می شود کلر است . هرچند استفاده از روشهای گندزدائی دیگر نظیرازوناسیون رو به افزایش است.

درروشهای گندزدائی ریسک ایمنی و سلامتی برای اپراتور و همچنین فرآورده های جانبی که از گندزدائی بوجود می آیند میبایست درنظر گرفته شود، کلرو و ترکیبات آن (گاز کلر، پرکلرین، آب ژاول) بعلت قابل دسترس بودن ، ارزان بودن ، تجهیزات ساده ، اپراتوری آسان و باقیمانده در آب. بعنوان اولین و موثرترین گندزدا در دنیا استفاده زیادی دارد.

در این مقاله سعی گردیده است کلر بعنوان یک گندزدا با سایرروشهای دیگر گندزدائی از نظر هزینه تولید محصولات جانبی واپراتوری مقایسه گردد.

واژه های کلیدی :

گندزدائی، کلر، محصولات فرعی، آب ژاول، کلرین، پرکلرین، کلریناسیون

مقدمه:

گندزدایی آب :

هدف اصلی گندزدایی آب از بین بردن یا تخریب پاتوژنها است. بر همین اساس ا سمیت فرمول $D = \frac{N.V}{R}$ را

پیشنهاد نمود که D احتمالی بیماری، N تعداد میکروارگانیزمهای بیماری زا و V میزان بیماری زایی آنها و R مقاومت بدن در مقابل آنها است وقتی حاصلضرب $N.V$ بزرگتر از R باشد پیدایش بیماری حتمی است و برعکس، لذا از طریق گندزدایی آب می توان $N.V$ را بطور محسوسی کاهش داد.

بر طبق نظریه فایروآل فاکتورهای ذیل در تعیین نوع گندزدا موثر می باشد:

۱- قدرت باکتری کشی ماده گندزدا زیاد باشد و

بتواند در شرایط عادی آب و نوع تصفیه ای که در آن استفاده میشود موثر واقع گردد.

۲- فراهم بودن و آماده شدن سریع ماده گندزدا با قیمت مناسب و مصرف بدون خطر آن

۳- مصرف مواد گندزدا هیچگونه اثرات سمی از خود در آب باقی نگذارد.

۴- ماده گندزدا قادر باشد بصورت باقی مانده در آب وجود داشته باشد.

۵- سهولت تعیین میزان گندزدای مورد نیاز و سهولت کنترل آن در حین عمل و سهولت تعیین باقیمانده آن .

انواع گندزدا:

۱- آنهایی که با واکنش شیمیایی عمل گندزدایی را انجام می دهند نظیر کلر، دی اکسید کلر، برم ، ازن و ...

۲- آنهایی که فیزیکی عمل می کنند مثل اشعه ماوراء بنفش و گرما

این گروه از گندزداها برای حجم کم مناسب بوده و به دلایل اقتصادی برای گندزدایی آبها و فاضلاب عموماً از مواد شیمیایی استفاده می شود.

جدول ۱- مقایسه روشهای مختلف گندزدایی آب آشامیدنی

پارامتر	نوع روش	UV	کلریناسیون	ازن
نوع واکنش		فیزیکی	شیمیایی	شیمیایی
هزینه و سرمایه مورد نیاز		کم	متوسط	زیاد
هزینه نصب و راه اندازی		کم	متوسط	زیاد
هزینه نگهداری		کم	متوسط	زیاد
مدت زمان نگهداری		کم	متوسط	زیاد
میزان گندزدایی		عالی	بسیار خوب	غیر قابل پیش بینی
مدت زمان تماس		۱ تا ۵ ثانیه	۲۵ تا ۴۵ دقیقه	۵ تا ۱۰ دقیقه
میزان خطر برای استفاده کنندگان		کم	متوسط	زیاد
مواد سمی		خیر	بله	بله
تغییرات شیمیایی آب		خیر	بله	بله

کلر و ترکیبات آن:

از بین روشهای شیمیایی و فیزیکی، گندزدایی آب با کلرو ترکیبات آن در مبارزه با امراض انتقال یافته بوسیله آب، میتوان این مواد را اقتصادی ترین و ارزانهترین عامل گندزدایی نامید.

استفاده از کلر برای گندزدایی آب آشامیدنی در ایران بطور غیر رسمی با اجرای اصل ۴ آغاز شد ولی رسماً در سال ۱۳۳۱ در شهر شیراز اولین استفاده کلر همزمان با شروع بکار تصفیه خانه این شهر آغاز گردید اگرچه در طی این مدت قدمهایی در جهت استفاده از سایر روشهای گندزدایی نیز مطرح شده، ولی استفاده از کلر و ترکیبات هیپوکلریت آن در حال حاضر عامل اصلی گندزدایی آب آشامیدنی در تمام شهرهای کشور می باشد. با توجه به آمارهای ارائه شده درخصوص مصرف کلر، در سال ۱۳۷۹، ۴۶۰۰ تن کلر مایع و هیپوکلریت کلسیم برای ضد عفونی کردن آب آشامیدنی در کشور به مصرف رسیده است.

در طی همین سال ۶۵ درصد آب تولیدی توسط کلر مایع و از طریق ۶۱۵ دستگاه کلر زن گازی و ۳۵ درصد با هیپوکلریت کلسیم و توسط ۱۴۶۴ دستگاه کلر زن مایعی کلرینه گردیده است.

شرکتهای آب و فاضلاب بعنوان تنها متولی توزیع آب آشامیدنی بهداشتی می بایست در انتخاب نوع ماده گندزدا و روش تزریق مطالعه و دقت زیادی بعمل آورند.

در حالی که سهم کلرینه نمودن آب آشامیدنی از آنالیز قیمت تمام شده ۱ متر مکعب آب تنها ۳ تا ۴ درصد می باشد. بنابراین در انتخاب روش، نباید هدف اصلی کاهش هزینه ها باشد. بلکه باید در نظر داشته باشیم که رسالت اصلی تمام شرکتهای آب و فاضلاب تامین آب بهداشتی و سالم جهت ارتقاء سلامتی جامعه می باشد.

این گزارش که تحت عنوان ارزیابی سیستم های مختلف کلر زنی ارائه می گردد ۳ ترکیب ذیل را در قالب ۲ سیستم موجود جهت کلرینه نمودن (کلرزن مایعی - کلرزن گازی) مقایسه می نماید.

- کلرین یا گاز کلر (CL_۲)

- هیپوکلریت کلسیم (Ca (COI)_۲)

- هیپوکلریت سدیم (NaOCl) (چندی است مورد توجه متولیان امر قرار گرفته است)

مورد مقایسه قرار می دهد ضمناً در این گزارش از نتایج عملی بدست آمده از اجرای طرح پایلوت جایگزینی آب ژاول با هیپوکلریت کلسیم بعنوان یک گزینه جهت کلرینه نمودن آب شرب استفاده شده است.

بدیهی است این مقایسه تنها یک راهنما است و نمی تواند صرفاً بعنوان یک اصل در تعیین انتخاب روش بهینه مورد استفاده قرار گیرد. بلکه می بایست در گزینش شیوه با شیوه های انتخابی شرایط منطقه ، دسترسی به ماده گندزدا، حمل و نقل و ... مورد توجه باشند.

پارامترهای ارزیابی :

۱- خصوصیات مورد انتظار ماده گندزدا

۱-۱) توانایی و سرعت زیاد در حذف عوامل بیماری زا

۱-۲) عدم تولید محصولات جانبی در آب (اثرات سمی بر جای نگذارد)

۱-۳) درصد خلوص و زمان پایداری بالا

۱-۴) کم بودن خطرات زیست محیطی و مخاطرات بهداشتی

۱-۵) دسترسی زیاد و استفاده آسان

۱-۶) مقرون به صرفه و ارزان

۱-۷) شرایط نگهداری و حمل و نقل آسان

۱-۸) عدم محدودیت استفاده در فصول مختلف سال

۲- هزینه ها (cost)

۲-۱) هزینه های اجرایی

۲-۱-۱) ساخت ابنیه و تاسیسات

۲-۱-۲) تجهیزات کلر زن

۲-۱-۳) تجهیزات ایمنی

۲-۲) هزینه های بهره برداری

۲-۲-۱) مواد مصرفی

۲-۲-۲) انرژی

۳-۲-۲) نیروی انسانی

۴-۲-۲) استهلاک

۵-۲-۲) تعمیر و نگهداری

۳) نحوه عملیات یا اپراتوری (Operation)

۴) نگهداری (Maintenance)

۵) ایمنی (Safety)

۶) تجهیزات و لوازم تنظیم کننده در سیستم (دقت) (Regulatory requirement)

۷) آموزش های لازم در هنگام کار با سیستم (Training requirement)

۸) کارایی

۹) مقبولیت و پذیرش عمومی (Public acceptance)

توانایی و سرعت زیاد در حذف عوامل بیماری زا:

اسید هیپو کلرو (HOCl) موثر ترین فرم کلر برای از بین بردن باکتری ها می باشد که می تواند باعث اکسیداسیون و یا پاره کردن دیواره سلولی و نهایتا تجزیه میکروارگانیسم گردد.

ثابت شده است درجه عملکرد یک ماده گندزدا به پتانسیل استاندارد آن بستگی دارد پتانسیل استاندارد کلر V ۱،۳۶ و هیپو کلریت ها حدود V ۱۷ می باشد. سرعت تشکیل HOCl در کلر بیشتر از ترکیبات آن می باشد. مطابق نظریه کولینزو سلک حذف کلیفرم توسط اسید هیپوکلرو و در PH پایین به حداقل زمان کمتری نسبت به یون هیپوکلریت دارد اما پس از گذشت زمان ۲۰ دقیقه قدرت باکتری کشی این دو به هم نزدیک می شوند.

عدم تولید محصولات جانبی در آب :

تری هالومتان ها (THM) معمولترین محصول فرعی حاصل از کلرزنی به آبهای آشامیدنی می باشند.

ترکیب هیومیک دار کوچکتر + ماده آلی $NH_3 + Cl_2 \rightarrow Co_2 + N_2 + Cl$ + ترکیب هیومیک دار

* ماده آلی: تری هالومتان، دی هالو استونیتریل ، اسید کربوکسیلیک و می باشد.

تشکیل تری هالومتان ها در ترکیبات کلر (هیپوکلریت سدیم و کلسیم) کمتر از گاز کلر می باشد.

باید توجه داشت که محصول اصلی حاصل از اکسیداسیون کامل مواد آلی با کلر گزانی در کربنیک می باشد و این

تعداد محصولات فرعی ناشی از اکسیداسیون ناقص مواد آلی با کلر است.

تشکیل تری هالومتان ها در محیط کلر و آمین متوقف می گردد و غلظت این مواد در زمستان کمتر از تابستان می

باشد.

درصد خلوص و زمان پایداری بالا :

درصد خلوص گاز کلر ۹۹ ، هیپوکلریت کلسیم ۶۵-۶۰ و آب ژاول ۱۵-۱۲ می باشد.

عواملی نظیر دما، PH مدت زمان ذخیره و قرار گرفتن در معرض نور خورشید از عوامل مهم ناپایداری آب ژاول به

شمار می آیند بگونه ای که حداکثر زمان نگهداری محلولهای قوی آن ۲ ماه و محلولهایی با درصد خلوص ۷ - ۵

درصد ۴ ماه تعیین شده است. شرایط نامناسب نگهداری ، رطوبت و مدت زمان نگهداری از مهمترین پارامترهای

کاهش درصد خلوص هیپوکلریت کلسیم می باشد که می تواند خلوص این ترکیب را به ۳۵ تا ۴۰ درصد کاهش

دهد.

خطرات زیست محیطی و مخاطرات بهداشتی :

۱ حجم کلر مایع در اثر تبخیر ۴۶۰ حجم گاز تولید می نماید و غلظت ۳ppm آن در هوا باعث اختلالات تنفسی و

غلظت ۴۰-۶۰ppm آن مسمومیت شدید و غلظت بیش از ۱۰۰۰ ppm آن مرگ پس از چند دقیقه را بدنبال

دارد.

گاز کلر همان اثری که روی انسان دارد برای حیوانات هم قابل پیش بینی است چنانچه گیاهان در معرض گاز کلر

قرار گیرند آسیب می بینند و بعلت توقف تولید کلروفیل رنگ برگها قهوه ای می گردد آزاد شدن گاز کلر در اتمسفر می تواند موجب تولید ترکیبات پایدار گردد که به لایه ازن آسیب برساند کلرید هیدروژن از دیگر ترکیبات کلر می باشد که می تواند بصورت باران اسیدی فرود آید.

جدول ۲- ارزیابی منطقه آلوده در اثر آزاد سازی گاز کلر

مقدار کلر	کلر جرم آزاد شده (پوند)	زمان آزاد سازی (دقیقه)	سرعت آزاد سازی ثانیه/پوند	ماکزیم طول پیموده توده گاز (مایل)	
				۲۰ pmm	۱ pmm
سیلندر ۱۵۰ پوندی	۱۵۰	۱۰	۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۰۵
سیلندر ۱ تنی	۲۰۰۰	۱۰	۳/۳۳	۰/۱	۰/۲
تانکر جاده ای ۱۷ تنی	۳۴۰۰۰	۱۰	۵۶/۶۷	۰/۶	۰/۹

گاز کلر قابلیت انفجار و اشتعال ندارد ولی توانایی و پشتیبانی احتراق را در حضور مواد دیگر پیدا می کند. هیپوکلریت کلسیم در صورت آلودگی با اسید و آمونیاک تولید گازهای سمی می نماید همچنین تماس آن با مواد آلی نظیر نفت و روغن باعث انفجار شدید می گردد خطرات زیست محیطی استفاده از آب ژاول بمراتب کمتر از ۲ ترکیب فوق می باشد.

دسترسی زیاد و استفاده آسان:

بررسی بعمل آمده از ایستگاههای کلر زنی دال بر این موضوع است که استفاده گاز کلر در تاسیسات کلر زنی آسان تر و نظارت آن راحت تر است همچنین این موضوع در خصوص آب ژاول بعلت مایع بودن و انحلال پذیری بهتر نسبت به پرکلرین صادق می باشد.

هیپو کلریت کلسیم بعلت جامد بودن و نیاز به زمان ماند جهت آزاد شدن کلر فعال آن علاوه بر آلودگی محیط ، خوردگی تاسیسات را موجب می گردد، و از طرفی نیاز به یک نیروی اپراتور ثابت جهت نظارت بر کارکرد دستگاه ، حل نمودن پر کلرین و ... دارد.

دسترسی به ماده ضد عفونی کننده کاملا منطقه ای بوده و به موقعیت شهر و دوری ، نزدیکی آن به کارخانه

تولیدی وابسته است ظرفیت تولید پرکلرین - کشور ۷۰۰۰ تن و گاز کلر ۱۶۰۰۰ تن می باشد که در ۳ کارخانه نیرو کلر اصفهان ، کلر پارس تبریز و پتروشیمی شیراز تولید می گردد.

مقرون به صرفه و ارزان:

جهت رسیدن به حد مطلوب کلر باقیمانده ($0/8 - 0/5 \text{ mg/l}$) در شبکه توزیع نیاز به مصرف ۱ گرم گاز کلر، ۲ گرم پر کلرین و ۸ CC آب ژاول به ازاء هر متر مکعب آب می باشد.

شرایط نگهداری و حمل و نقل آسان

گاز کلر در سیلندرهای ۶۵ کیلویی و ۱ تنی ذخیره می گردد، سمی بودن گاز و امکان نشت آن موجب گردیده که شرایط نگهداری و حمل و نقل سیلندرهای تابع شرایطی نظیر دما، رطوبت و عوامل فیزیکی دیگر باشد آب ژاول نیز بعلت مایع بودن و ناپایداری محلول ، حمل و نقل آن مشکل می باشد از طرفی بعلت پایین بودن درصد خلوص آب ژاول، نیاز به حجم زیادی از آن برای ضد عفونی کردن آب آشامیدنی است بطوری که برای جایگزین نمودن ۱ تن گاز کلر نیاز به ۸ تن آب ژاول می باشد.

نگهداری و حمل و نقل هیپوکلریت کلسیم بعلت جامد بودن و شرایط بسته بندی راحت تر می باشد.

عدم محدودیت در فصول مختلف سال

در مناطق سردسیر محول آب ژاول و پر کلرین یخ می زند و برای استفاده از آن باید از وسایل گرمایشی استفاده کرد که مستلزم هزینه گزاف می باشد.

در صورتی که این مورد برای سیستم های کلرزنی گازی وجود ندارد و یا می توان با نصب هیتر در مسیر گاز کلر و گرم نمودن سیلندر این نقص را بر طرف نمود.

(خاطر نشان میدارد که برداشت کمتر از ۱٪ حجم سیلندر در مدت ۱ ساعت مانع از تشکیل کلر مایع سیستم های کلرزنی گازی می گردد)

جدول ۳- برآورد هزینه های اجرایی تاسیسات کلرزی

هزینه (هزار ریال) کلرزنهای مایعی		هزینه (هزار ریال) کلرزن گازی	پارامتر
هیپوکلریت سدیم	هیپوکلریت کلسیم		
۴۰,۰۰۰	۴۰,۰۰۰	۱۰۰,۰۰۰	ابنیه و تاسیسات
۷,۵۰۰	۷,۵۰۰	۳۵,۰۰۰	تجهیزات کلرزن
۷,۵۰۰	۷,۵۰۰	۳۵,۰۰۰	تجهیزات ایمنی
۴۸,۲۵۰	۴۸,۲۵۰	۱۷۰,۰۰۰	جمع کل

*** ابنیه و تاسیسات**

ساخت اطاق های کلرزن و سیلندر ، اجرای تاسیسات آب و برق و ساخت حوضچه آب آهک برای کلرزنهای گازی و ساخت اطاق و تاسیسات مورد نیاز جهت کلرزنهای مایعی

*** تجهیزات کلرزن**

سیلندر ۱ تنی - کلرزن گازی (خارجی) با متعلقات - بوستر پمپ - کلر زن مایعی (خارجی) با همزن و مخزن ذخیره

*** تجهیزات ایمنی**

سیلندر تنفسی - دستگاه هشدار دهنده گاز کلر - دوش و فن و ماسک تمام صورت تنفسی

جدول ۴- برآورد هزینه های بهره برداری تاسیسات کلرزنی

هزینه (هزار ریال) کلرزنهای مایعی		هزینه (هزار ریال) کلرزن گازی	پارامتر
هیپوکلریت سدیم	هیپوکلریت کلسیم		
۳۵۰۰۰۰	۴۵۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰۰	مصرف انرژی
۱۱۲۵۰۰۰۰	۲۲۵۰۰۰۰۰	۱۱۲۵۰۰۰۰	نیروی انسانی
۴۰۰۰۰۰	۷۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	تعمیر و نگهداری
۱۲۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰	۲۶۰۰۰۰۰	استهلاک
۱۳۲۰۰۰۰۰	۲۴۹۰۰۰۰۰	۱۶۱۵۰۰۰۰	جمع کل
۴۹	۹۱	۵۴	هزینه کلرینه نمودن ۱ متر مکعب آب آشامیدنی برای تولید ۱۰ لیتر بر ثانیه
۲۸/۱	۵۱/۵	۲۹/۳	هزینه کلرزی ۱ متر مکعب آب آشامیدنی برای تولید ۲۰ لیتر بر ثانیه
۱۵/۶	۲۷/۷	۱۴	هزینه کلرزی ۱ متر مکعب آب آشامیدنی برای تولید ۵۰ لیتر بر ثانیه
۷/۶	۱۹/۹	۸/۸	هزینه کلرزی ۱ متر مکعب آب آشامیدنی برای تولید ۱۰۰ لیتر بر ثانیه
۷/۴	۱۶	۶/۳	هزینه کلرزی ۱ متر مکعب آب آشامیدنی برای تولید ۲۰۰ لیتر بر ثانیه

* قیمت مواد مصرفی به همراه هزینه حمل و نقل و انبار داری برآورد گردیده است.

پرکلرین هر کیلوگرم ۶۰۰۰ ریال

گاز کلر هر کیلوگرم ۳۷۵۰ ریال

آب ژاول هر کیلوگرم ۹۰۰ ریال

جدول ۵- مقایسه پارامترهای اپراتوری، نگهداری و ... در تاسیسات کلرزنی

کلرزن مایعی		کلرزن گازی	پارامتر
هیپوکلریت سدیم	هیپوکلریت کلسیم		
راحت	مشکل	راحت	نحوه عملیات یا اپراتوری
راحت	مشکل	مشکل	نگهداری
بالا	متوسط	پایین	ایمنی
متوسط	متوسط	بالا	دقت تجهیزات و لوازم تنظیم کننده در سیستم
نیاز دارد	نیاز دارد	نیاز دارد	آموزش لازم در هنگام کار با سیستم
بالا	متوسط	بالا	کارآیی
زیاد	پایین	متوسط	مقبولیت و پذیرش عمومی

بحث و نتیجه گیری :

- ۱- کلرینه نمودن آب تولیدی در حجم های کمتر از ۵۰ لیتر در ثانیه به روش آب ژاول ، بعلت ضریب ایمنی بالا ، ارزان بودن ، اپراتوری ساده بهترین گزینه برای کلر زنی آب آشامیدنی
- ۲- محدودیت های کلرزنی با آب ژاول حمل و نقل ، نگهداری ، مدت زمان پایداری (در حجم های بالا) می باشد.
- ۳- دقت تجهیزات کلرزنی گازی،عدم دخالت اپراتور در تعیین میزان تزریق و درصد خلوص بالای گاز کلر موجب کارایی بالای این سیستم گردیده است بطوری که می توان غلظت کلر باقیمانده در شبکه توزیع را در فصول مختلف کم یا زیاد نمود.
- ۴- خطرات ناشی از نشت گاز کلر از محدودیت های نصب این سیستم در مناطق آب نزدیک مناطق مسکونی می باشد و بهترین شرایط جهت نصب خارج از مناطق مسکونی بالا بردن ضریب ایمنی ، و مجاور مخازن ذخیره آب آشامیدنی است.
- ۵- تزریق گاز کلر بدون سیستم های تزریق میسر نمی باشد در صورتی که تزریق ترکیبات کلر خصوصاً آب ژاول بر روی منابع و مخازن (با محاسبه غلظت) بدون سیستم های تزریق و بروش دستی امکان پذیر است.
- ۶- آموزش نیروهای بهره بردار در تاسیسات کلرزنی موجب کارایی بالا و پویایی سیستم و کاهش خطرات احتمال می گردد، و به هیچ عنوان نباید بدنبال حذف آن به جهت کاهش هزینه ها باشیم.
- ۷- نظارت دقیق، طراحی سیستم مطابق با شرایط منطقه، رعایت اصول ایمنی و بهره برداری بهینه از پارامترهای مهم برای کارایی بیشتر سیستم های کلرزنی می باشد.