تصفیه آب شرب، آب صنعت و فاضلاب با استفاده از ازن

Dipl. Ing. S. Rau*, Lange A. Ried

چکیده

استفاده از مزایای ازن در تصفیه پیشرفته آب شرب، آب صنعتی و فاضلاب با طرح مثال‌هایی، در این مقاله مطرح شده است.

علاوه بر آن ابعاد فنی مولدهای ازن و هزینه تولید آن تشریح می‌شود که خود نشان دهنده مناسبت استفاده از آن در تصفیه آب است.

ازن می‌تواند گامی اقتصادی و موثر در بهینه کردن فرایندهای مختلف تصفیه شهری و صنعتی باشد.

مقدمه

آب سالم به صورتی فزاینده اهمیت و ارزش پیدا می‌کند. آب پایه حیات را در روی زمین شکل می‌دهد. امروزه تراکم‌های بالای جمعیتی و مصرف بیش از حد آب اثرات محدود کننده عظیمی بر منابع آب شیرین داشته است.

آب شرب سالم یکی از نیازهای اساسی اولیه برای سلامتی انسان امروز است. منابع آب به صورتی روز افزون آلوده می‌شود و لذا پالایش و گندزدایی دقیق آن الزامی است.

روش‌های سنتی فیزیکی و شیمیایی تصفیه اعم از انعقاد، لخته سازی، فیلتراسیون و کلرزنی غالباً برای داشتن آبی کاملاً سالم و قابل شرب کفایت نمی‌کنند.

ازن یکی از عوامل بسیار موثر در اکسید کنندگی است که به نحوی مطلوب می‌تواند در تصفیه آب، تولیدات آب صنعتی و هوا مورد استفاده قرار گیرد.

آلودگی‌ها و آلاینده‌ها، رنگ، بو، و میکروارگانیزم‌ها مستقیماً توسط ازن تخریب می‌شوند، بدون اینکه محصولات جانبی خطرناکی تولید شود.

۱- تولید ازن

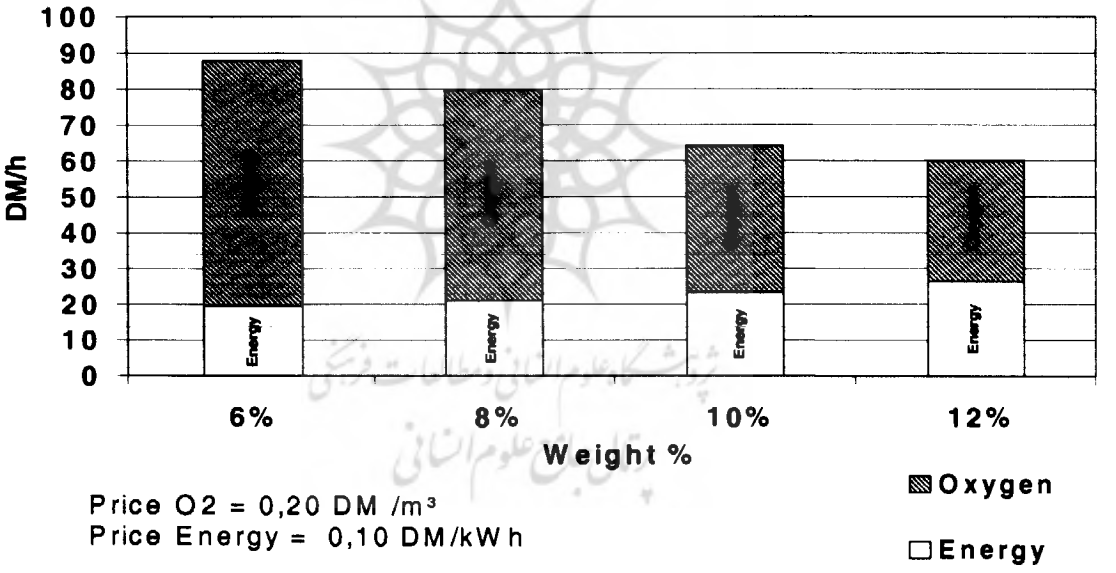
ازن عمدتاً در مقیاس‌های آب صنعتی سامانه‌های تولید ازن، آب تخلیه الکتریسیته ساکن

---

* - از شرکت: WEDECO International, Herford

در محیطی که گازهای اکسیژن‌دار وجود دارد، تولید می‌شود.

کارایی بالای تولید ازن نیازمند عوامل چندی است که بستگی به گاز تغذیه شده، قدرت میدان الکتریکی، خنک کنندگی و طراحی خاص مولدهای ازن دارد و ازن تولید شده در مقیاس‌های آب صنعتی بین ۱ تا ۱۶ درصد وزنِ گاز مورد استفاده می‌باشد. به کمک هوای خشک (نقطه شبنمی کمتر از ۶۰- درجه سانتیگراد) عملاً غلظت ازن تولید شده ۲۰ تا ۶۰ گرم ازن در هر متر مکعب NPT می‌باشد که تقریباً معادل ۱/۵ تا ۴/۵ درصد وزنی در سیستم‌های مدرن مولد ازن خواهد بود. بسته به غلظت و خنکی آب، انرژی لازم در تولید ازن، ۱۶ کیلووات ساعت برای هر کیلوگرم است. اگر از اکسیژن به عنوان گاز تغذیه‌ای استفاده شود، غلظت گاز ازن ۶ تا ۱۴ درصد وزنی خواهد بود که بسته به غلظت و خنکی آب، انرژی لازم ۶ تا ۱۰ کیلووات ساعت بر هر کیلوگرم ازن می‌باشد. شکل ۱ نشان دهنده همبستگی بین غلظت ازن و هزینه آن است که شامل اکسیژن و انرژی می‌باشد. اگر غلظت ازن بالا (تا ۱۸۰ گرم بر متر مکعب = ۱۲ درصد وزنی) بوده و افزایش نسبی در مصرف برق عملی باشد، می‌توان اکسیژن مصرفی را تا ۵۰ درصد کاهش داد.



شکل ۱ – تولید ازن از اکسیژن (ظرفیت سامانه ازن ۳۰kg/h)

در سال‌های اخیر علاوه بر افزایش در کارایی، ایمنی و قابلیت‌های فنی مولدهای ازن نیز بهبود یافته است. مزیت‌های قابل ذکر مولدهای ازن WEDECO EFFIZON به قرار زیر است:

- تخلیه دوگانه الکتریسیته
- قدرت میدان الکتریکی افزایش یافته به جهت کوچکی و دقیق بودن نقاط تخلیه بار با طراحی Holocathode اضافی
- کارایی بالای خنک کنندگی لوله تخلیه
- کاهش کلی در ابعاد مولد ازن
- مصرف انرژی ویژه بسیار پایین در غلظت‌های بالای ازن
- ولتاژ پایین‌تر در بهره‌برداری ثانویه

این ویژگی‌ها نشان دهنده آن است که مولدهای مذکور بسیار کم حجم، با کارایی بسیار بالا و بسیار قابل اعتماد هستند. علاوه بر این نوع از مولدها، ساخت مولدهای ازنی با ظرفیت بیش از ۱۵۰kg/h مجهز به ابزارهای دقیق ایمنی، و قابل نصب در محفظه‌های تهویه مطبوع، امکان‌پذیر است. امکان تولید مولدهای ازن پیش ساخته، در کارخانه WEDECO وجود دارد که از نظر صرفه‌جویی در هزینه‌ها مزیت‌های زیادی دارند:

- قبل از بارگیری، در کارگاه WEDECO تست می‌شوند.
- نصب آنها در محل مصرف بسیار سریع خواهد بود.
- کل زمان نصب خودسامانه به حداقل خواهد رسید.

کاهش در کارهای سازه‌ای مزیتی است که از نظر مشتری بسیار اهمیت دارد.

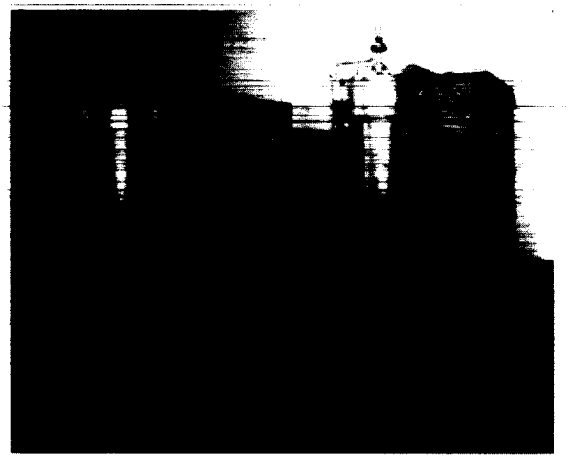
- جاسازی برای نصب مولد ازن بسیار پرهزینه است، که مشتمل بر انجام کارهایی در قبل از نصب آن می‌باشد.
- در صورت پیش ساخته بودن واحد تولید ازن فقط، یک فونداسیون ساده مورد نیاز خواهد بود.
- طرح‌های مدولار محفظه دار WEDECO امکان توسعه واحدهای موجود را به آسانی امکان‌پذیر ساخته است.

برای تهیه آب شرب معمولاً منابع آبی از انواع زیر در دسترس می‌باشد:

- آب زیرزمینی
- آب‌های حاصل از فیلتراسیون در آبرفت سواحل رودخانه‌ها
- آب سطحی

شکل ۲ و ۳: سیستم ازن در طراحی کانتینر (ظرفیت ازن ساعت/۱۶۰کیلوگرم)

به لحاظ افزایش آلودگی منابع آب‌ها در سطح جهان بویژه توسط هیدروکربن‌ها، به خصوص منابع آبی سطحی و آبرفت‌های رودخانه‌ای، روش‌های معمول و استاندارد اکسایش و گندزدایی با کلر موجب می‌شود که هیدروکربن‌های کلره موجب بروز بوهای ناخوشایند در آب تولیدی شود. علاوه بر آن، بسیاری از ترکیبات حاصله مشکوک به سرطانزایی می‌باشند.



شکل ۴ – واحدهای مولد ازن در تصفیه خانه آب «Am Staad» شهر دوسلدورف، آلمان

از سوی دیگر به علت جهش ژنی در بسیاری از باکتری‌ها، ویروس‌ها، اسپورها و انگل‌ها نسبت به کلر، که برای گندزدایی استفاده می‌شود، مقاوم می‌شوند.

در بسیاری از مقررات جدید مربوط به آب شرب، مواد افزودنی در فراوری مجدد آن تعیین و تعریف شده است. در این مقررات استفاده از کلر و دی اکسید کلر فقط پس از اتمام کامل تصفیه و برای «گندزدایی بلندمدت» از مقطع ورود به شبکه تا رسیدن به محل مصرف مشترک، به عنوان کلر باقیمانده مجاز می‌باشد.

از سوی دیگر رفته‌رفته ازن به عنوان مهمترین اکسیدکننده در گندزدایی بنیادین آب خام در تهیه آب شرب در می‌آمد.

نیاز به ازن به نوع آب خام بستگی دارد که از ۰/۵ تا ۵ گرم ازن بر مترمکعب از آب متغیر است. مثال‌های ذیل نشان دهنده جامعیت گام‌های اکسایش به وسیله ازن می‌باشند.

در شکل ۴ که سامانه مولد ازن در تصفیه خانه آب Am Staad شهر دوسلدورف می‌باشد، آب خام از طریق فیلتراسیون ساحلی آبرفت رودخانه راین تامین می‌شود.

سامانه تولید ازن تمام خودکار بوده و از طریق میزان جریان آب خام ورودی و ازن باقیمانده در خروجی از مخزن واکنشی به صورت PLC کنترل می‌شود. ازن مورد نیاز به وسیله سامانه تزریقی ونتوری به آب خام وارد می‌شود.

اکسایش مواد آلی (مثل هیدروکربن‌ها) و نیز مواد معدنی (مثل آهن و منگنز) موجود در آب خام و گندزدایی آن، در مخزن واکنشی صورت می‌گیرد. طبق آخرین تجربیات حاصله، ازن باقیمانده در آب پس از خروج از مخزن واکنشی و قبل از ورود به صافی‌های کربن فعال، ۰/۰۵ تا ۰/۱ گرم ازن بر هر مترمکعب از آب می‌باشد. صافی‌های کربن فعال از نوع "صافی‌های تند" تحت فشار بوده و حاوی دو لایه کربن فعال می‌باشند. فیلتراسیون اکسید آهن و اکسید منگنز در لایه بالایی کربن فعال صورت می‌گیرد (ضخامت این لایه ۱/۵ متر است). جذب سطحی قسمت عمده از اکسیدهای مواد آلی به وسیله لایه تحتانی کربن فعال که به ضخامت ۲/۵ متر می‌باشد، عملی می‌شود.

شکل ۵ – واحدهای ازن زنی نصب شده در تصفیه خانه آب Hoeya، شهر اولسان، کشور کره

محل تصفیه خانه‌های دیگری که از سامانه‌های ازنی WEDECO استفاده می‌کنند، به عنوان نمونه به قرار زیر است:

- آلمان (Moers, Dabringhausen)
- فرانسه (پاریس)
- هلند (رتردام)

- انگلیس (اکاپ، الوینگتون)
- سوئیس (Muhleholzli)
- لهستان (Bialistok, Danzig)
- کره (شهرهای اولسان، یانگسان و پوسان)
- ایالات متحده آمریکا (شهرهای اورلاندو، دترویت، سیاتل، اسکوش)
- ژاپن (اوزاکا)

این نقاط فقط نمونه‌ای از محل‌هایی هستند که در تمام دنیا پراکنده‌اند.

۳- ازن زنی مدار چرخش آب خنک کننده

پالایش آبی که در مدارهای خنک کننده وجود دارد، یکی از اقدامات اساسی است که در نگهداری و بهبود عملیات تصفیه خانه صورت می‌گیرد. بدین ترتیب، از آلایش‌های زیستی سامانه، خوردگی و رسوبگذاری آن جلوگیری می‌شود. در تصفیه آب غالباً اثرات نامطلوبی از سوی آفت کش‌های آلی یا مواد شیمیایی کلره و برومه مورد استفاده، پدید می‌آید. عوامل AOX (ترکیبات هالوژنه آلی قابل جذب) در محل تخلیه محدود می‌شوند تا از منابع آب سطحی حفاظت لازم به عمل آید.

استفاده از ازن در مدارهای خنک کننده، از تراکم AOX جلوگیری می‌کند. در کنار ازن از سامانه جلوگیری از خوردگی که متناسب با حالت بهره‌برداری (قلیایی / خنثی / اسیدی) است؛ استفاده می‌شود. رشد توده‌های زیستی در برج‌های خنک کننده، مثل دیواره‌ها، لوله‌ها و مخازن به مقدار قابل توجهی کاسته می‌شود و آب خنک کننده تا اعماق بیشتر انتقال می‌یابد و میزان خوردگی به حدود پایین‌تر از حد مجاز آن، ۰/۱mm/year می‌رسد.

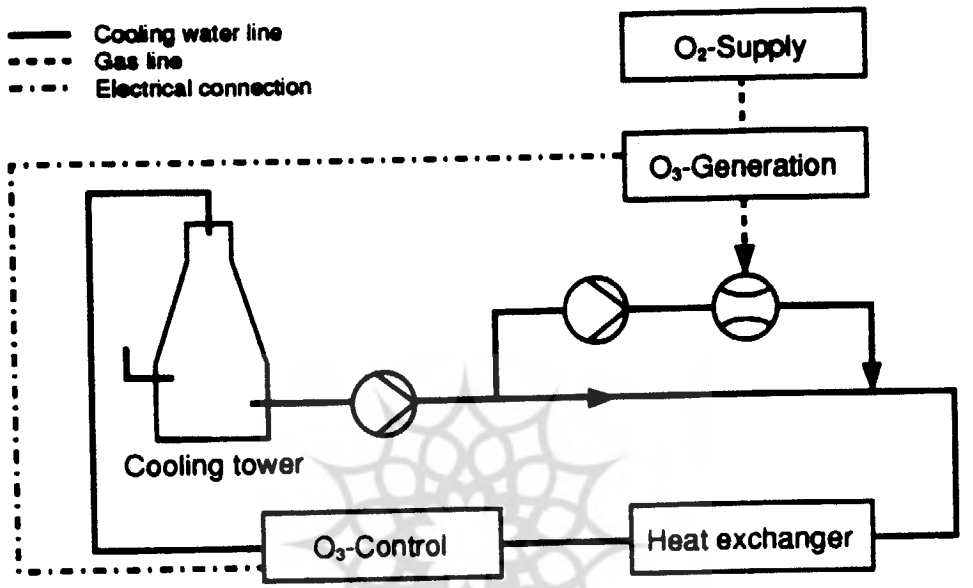
کیفیت آب در گردش خنک کننده، در اثر افزایش دما و ناخالصی‌های محلول و غیرمحلول کاهش می‌یابد. افزایش دما موجب تسریع رشد زیستی باکتری‌ها، جلبک‌ها، قارچ‌ها و مانند آن می‌شود.

در اثر تبخیر، به غلظت املاح افزوده شده و خطر خورندگی بیشتر می‌شود.

علاوه برموارد فوق، وقتی توازن حلالیت مواد موجود در آب به هم بخورد، ترسیب ترکیباتی مانند کربنات‌ها افزایش یافته و به تبع آن، در انتقال حرارت اختلال ایجاد می‌شود. وقتی از فرایند به صورت مناسب استفاده شود، ازن تولید واکنش‌های ثانویه نامطلوب را موجب نمی‌شود. به لحاظ قدرت بالای گندزدایی ازن، آلایندگی در آب خنک کننده گردشی

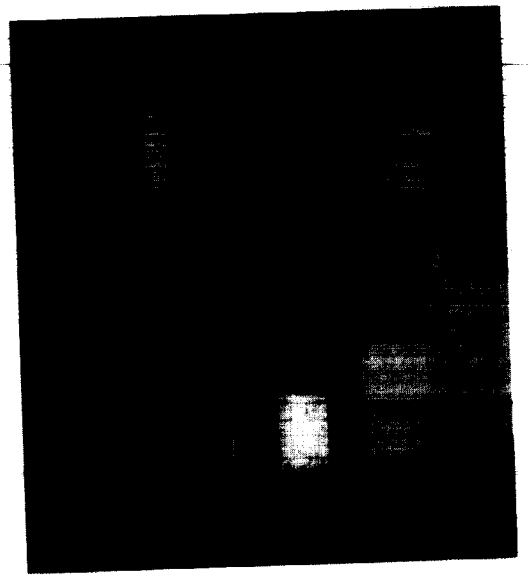
که در اثر افزایش آب اضافی حادث می‌شود، پایین می‌آید.

شکل ۶ نشان دهنده تصفیه آب خنک کننده در مدار به وسیله ازن است. برای اعمال ازن در چرخه آب، انشعابی از آب خنک کننده به مخزن محتوی مخلوط O3/O2 تزریق می‌شود. سپس این آبی که غنی از ازن است، به چرخه آب خنک کننده بر می‌گردد. غلظت ازن با شرایط آب خنک کننده انطباق داده می‌شود.



شکل ۶ – اساس تصفیه آب خنک کننده به وسیله ازن

واحد کنترل کننده در تصفیه خانه ازنی، درست در جلو منصوبات آبیاری نصب می‌شود. اگر غلظت ازن خیلی بالا باشد، مولدهای ازن به طور خودکار ازن کمتری تولید می‌کنند و در صورت پایین آمدن غلظت ازن از حد کمینه، تولید ازن توسط مولدها افزایش می‌یابد. ذیلاً نتایجی که از برج‌های خنک کننده مختلف جمع‌آوری شده است، تشریح می‌شود. قبل از استفاده از ازن، در آب خنک کننده از زیست کش‌ها (NaOCl (Biocides، مواد ضد رسوب، و ضد خورندگی استفاده می‌شد تا این که در تصفیه آب از ازن استفاده شد.



شکل ۷ و ۸: نصب دستگاه ازن زنی در برج خنک کننده

قبل از شروع تصفیه با ازن، رشد توده‌های زیستی در دیواره‌ها، منصوبات جانبی، و

مخازن مبدل حرارتی به روال معمول صورت می‌گرفت که چهار هفته پس از شروع تصفیه با ازن، کاملاً از بین رفتند.

قبل از شروع تصفیه با ازن، صافی‌ها تقریباً از توده‌های زیستی پوشیده شده بودند. به همین دلیل در آغاز، غلظت ازن بر روی ۱۳mg/l / ۰ تثبیت شد. پس از ۱۴ روز آنها کاملاً پاک شده بودند.

ازن را می‌توان به طور کامل جایگزین زیست کش‌های بسیار گرانقیمت کرد. تمام سطوح داخلی بویژه سطوح مبدل حرارت، با اعمال ازن براحتی تمیز می‌شوند، که در اثر آن، مبادله حرارت بسادگی صورت می‌گیرد و کارایی خنک کنندگی را بالا می‌برد.

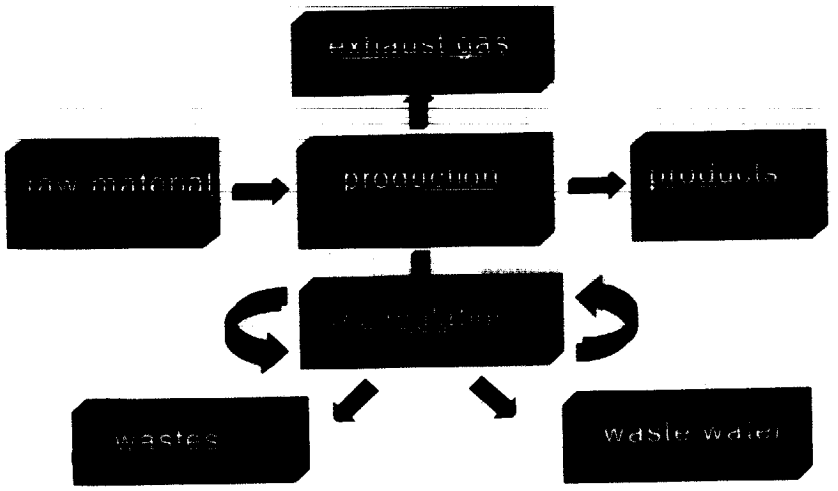
شفافیت آب نیز موردی است که در اثر استفاده از ازن حاصل می‌شود. در شروع عملیات تصفیه با ازن، تا ۶۰ سانتیمتری عمق آب قابل رویت بود. لیکن پس از ۱۴ روز از شروع تصفیه، این قابلیت رویت، تا عمق ۳ متر امکان‌پذیر بود زیرا آب کاملاً شفاف شده بود. بازگشت سرمایه گذاری تصفیه ازن طی ۸ ماه امکان‌پذیر می‌باشد.

۴- تصفیه آب صنعتی و فاضلاب

فاضلاب صنایع و آب‌های صنعتی (مثل صنایع بافندگی، کاغذسازی، صنایع شیمیایی و پتروشیمی) به شدت آلوده به موادی هستند که غیرقابل تجزیه زیستی می‌باشند. این ترکیبات غالباً متشکل از COD ماده مقاوم بوده و اکثراً ترکیبات آلی هالوژنه قابل جذب (AOX) می‌باشند.

به علاوه آب‌های افزوده شده ممکن است ناقل بار بالایی از باکتری‌ها باشند که با رنگ تیره و بوی نامطبوع متمایز بوده، از آنها در چرخه آب داخلی استفاده نشده، و دفع می‌شوند و روش‌های پالایش و دفع آنها بسیار پیچیده است.

با استفاده از ازن، فناوری مناسبی در سطح جهانی و برای غلبه بر این نگرانی‌ها ارائه شده است. شکل ۹ کلیاتی را از نحوه مناسب استفاده از ازن و منافع آن در فرایندهای آب صنعتی نشان می‌دهد. مخصوصاً در صنایعی که نیاز به تولید آب صنعتی بالایی است، عمل‌آوری آب صنعتی باید به دقت مورد توجه قرارگیرد. به کارگیری روز افزون چرخش آب در فرایندها و استفاده مجدد از پساب فاضلاب‌های تصفیه شده، موجب پایین آمدن استفاده از آب قابل شرب در فرایندهای آب صنعتی می‌شود.

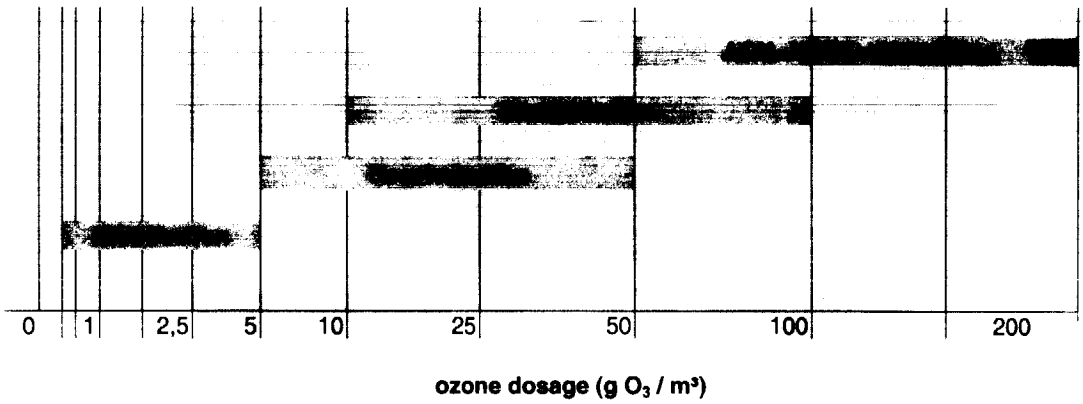


شکل ۹ –کاربردهای ازن در فرایند یکپارچه سازی و رفع مشکلات، باکارایی بالا

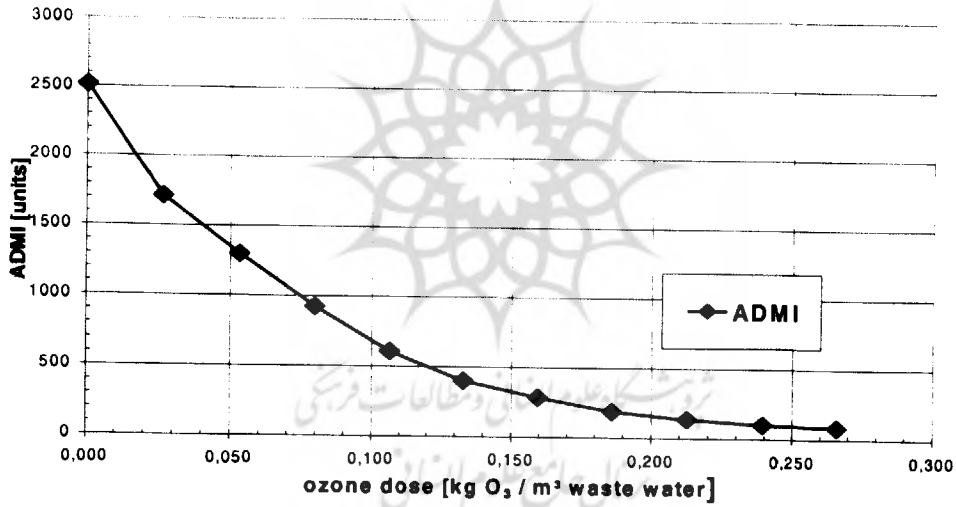
در استفاده مجدد – با توجه به مرحله تولید – عواملی مانند رنگ، بو و مقادیر COD، AOX و توده‌های زیستی محدودیت ایجاد می‌کنند. تمام این عوامل را می‌توان با استفاده از ازن کاهش داد یا حذف کرد. مقدار ازن مصرفی، در شکل ۱۰ و بر مبنای مطالعات نظری ارائه شده است. در عمل، فاضلاب سامانه‌ی بسیار پیچیده‌ای دارد. برای اکسایش تمام مواد تشکیل‌دهنده، در آنِ واحد، نیاز به اکسیژن افزایش خواهد یافت.

۴ - ۱ رنگ زدایی

برای رنگ زدایی فاضلاب‌های رنگین، دولت‌های محلی محدودیت‌های متفاوتی را مقرر کرده‌اند. در همه جا، صنایع تولید رنگ، منسوجات، کاغذ یا صنایع شیمیایی باید پساب مورد تخلیه خود را رنگ زدایی کنند. بسته به مقاومت عوامل رنگین، حذف زیستی رنگ غالباً ناقص بوده و الزامات مقرر را برآورده نمی‌کند. معمولاً تغییر در مقررات و اجبار در رعایت محدودیت‌های بیشتر، نیازمند استفاده از راه حل‌های فنی را الزامی کرده است.



شکل ۱۰ – طیف مقداری ازن مورد تقاضا



شکل ۱۱ – رنگ زدایی و کاهش COD فاضلاب بسیار رنگین یک کارخانه نساجی

با استفاده از ازن برای تصفیه آن، بعد از دو ماه، تصفیه به صورتی موفقیت‌آمیز انجام شده است. با زمان ماند ۲۰ دقیقه‌ای، تا ۹۰ درصد، رنگبری از فاضلاب صورت گرفته است.

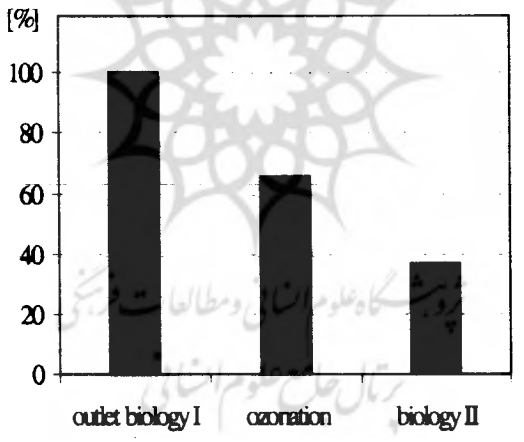
WEDECO این نوع تصفیه خانه‌ها را در مقیاسی وسیع برای تصفیه پساب‌های صنایع رنگ سازی و نساجی، به صورتی موفقیت‌آمیز در قبل از تخلیه نهایی نصب کرده است.

۴ - ۲ کاهش پیشرفته در میزان COD

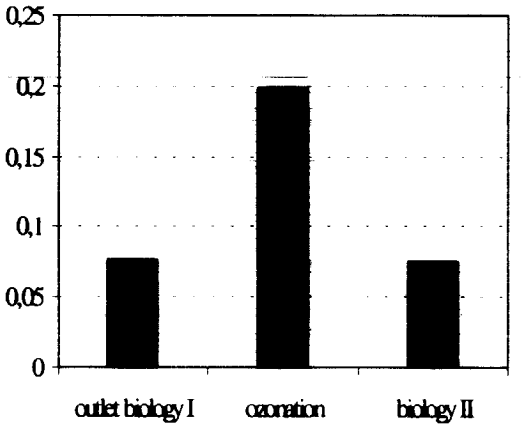
در بسیاری از تصفیه خانه‌های فاضلاب کارخانجات صنعتی، در آخرین مرحله فرایند تصفیه، از لجن فعال زیستی استفاده می‌شود. در پساب این مرحله از تصفیه زیستی، COD غیرقابل تجزیه همچنان بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ میلیگرم بر لیتر است. در مواردی که کاهش COD بیش از این مقدار الزامی است، تصفیه زیستی به تنهایی کفایت نمی‌کند.

در این گونه موارد، فناوری WEDECO ترکیبی از مرحله اکسایش با استفاده از ازن را به همراه فیلتراسیون زیستی به کار گرفته و تصفیه بیشتر فاضلاب را امکان‌پذیر می‌سازد.

شکل ۱۱ نشان دهنده نتایج حاصل از یک مورد آزمایش فاضلابی به شدت آلوده و رنگینی است که از یک کارخانه رنگ سازی تخلیه می‌شده است.



شکل ۱۲ – نسبت کاهش COD



شکل ۱۳ – کاهش نسبت BOD5 / COD

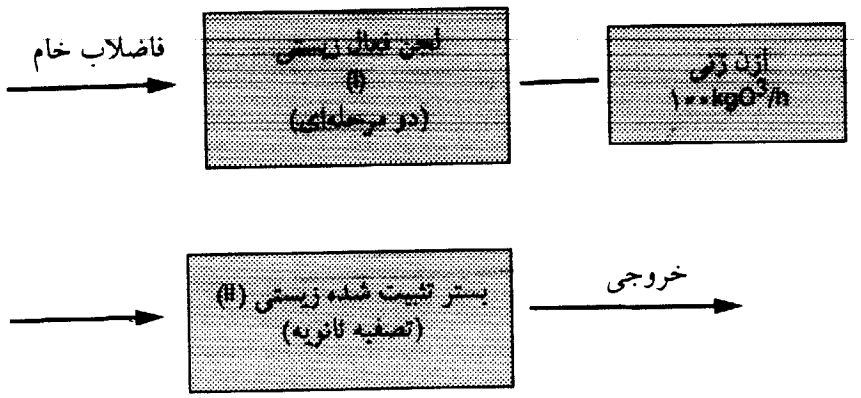
نتایج دو مورد از تصفیه خانه‌های آزمایشی (Qmax = ۳۰m3/h) که مرتبط با کارخانه تولید کاغذ می‌باشد، نشان داده است که برای کاهش مورد نیاز در میزان COD در حد پیشرفته، می‌توان با بهینه کردن نسبت BOD/COD (شکل ۱۳) و به کمک تصفیه ترکیبی ازن و فیلتراسیون زیستی به این مهم دست یافت. با توجه به کل فرایند، COD را می‌توان تا بیش از ۶۰ درصد کاهش داد (شکل ۱۲).

بر مبنای این نتایج، تصفیه خانه‌های ازنی با ظرفیتی بیش از ۱۰۰ کیلوگرم ازن بر ساعت، نصب و راه‌اندازی شده است (شکل ۱۴).

۴ – ۳ زدایش بو

شرکت‌های تولید مواد شیمیایی، مواد غذایی و همچنین شرکت‌های ذوب چربی و صنایع تبدیلی حیوانی به لحاظ تخلیه هوای متعفن یا آب‌های صنعتی، با مشکلات زیادی مواجه می‌شوند.

دفع این فاضلاب‌ها و هوای متعفن برای کارکنان این شرکت‌ها و ساکنین اطراف آن بسیار ناخوشایند و زیانبار است. برای دفع این نوع بوها نیز استفاده از ازن بسیار کارگشاست.



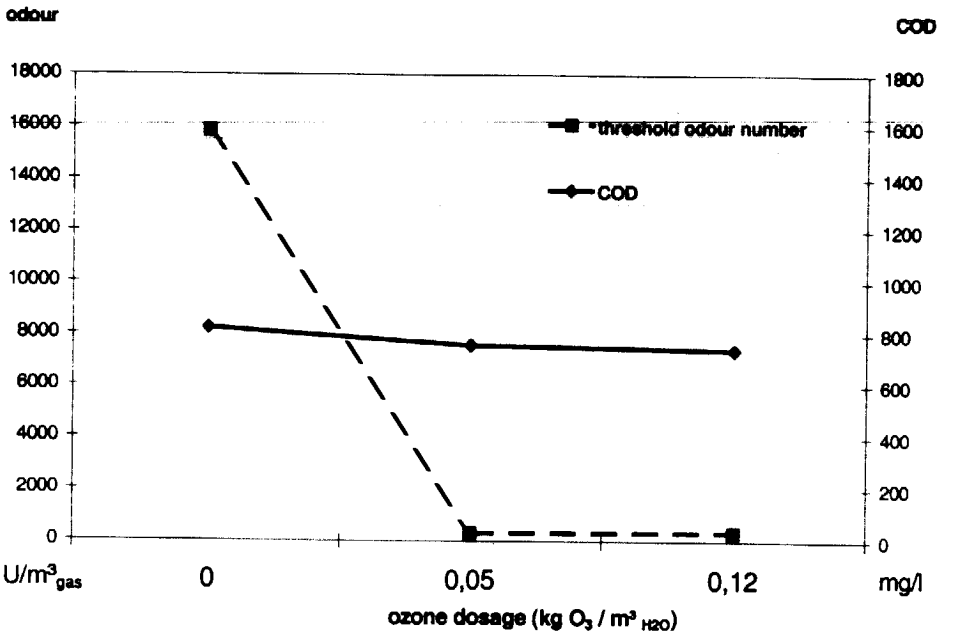
شکل ۱۴ – نصب در مقیاسی وسیع ($Q = 600 m3/h$) برای کاهش پیشرفته COD

در یک نمونه واقعی WEDECO یک سامانه ازن برای تصفیه بخارات متعفن حاصل از فرایند ذوب چربی نصب کرده است. یکی از مجاری فاضلاب مجاور این فرایند، موادی با بوی بسیار زننده را منتقل می‌کند:

عدد آستانه بو ≈ ۶۰۰۰ $Q = 5 m3/h$

بو: کیفیت بسیار قوی، بسیار مشمئز کننده $COD \approx 600 - 1000 mg/l$

برای حل مشکل، سیال جاری با مقدار کمی از ازن ($<< 100 gO3/m3$) تصفیه شد و ترکیبات تولید کننده بو تا ۹۹ درصد حذف شدند. در همین مرحله، کیفیت میکروبیولوژی این آب هم بهتر می‌شود که می‌توان از این آب تصفیه شده، برای مصرف مجدد در فرایندهای پاکسازی و نیز مرطوب کردن بسترهای باکتریایی و صافی‌های زیستی، که جریان هوای خروجی را تمیز می‌کنند، بهره جست. علاوه بر این، هزینه‌های واقعی عملیات تغلیظ بخارات، در مقایسه با هزینه روش‌های قبلی تخلیه، در هر مترمکعب تا ۸۵ درصد کاهش می‌یابد.



شکل ۱۵ – کاهش بوی موجود در بخارات فشرده بالای یک فرایند ذوب چربی

۵- خلاصه مبحث

امروزه تولید اقتصادی ازن با بهره‌گیری از مولدهای مدرن EFFIZON براحتی امکان‌پذیر است. بسته به قیمت اکسیژن و انرژی و ظرفیت سامانه، هزینه‌های بهره‌برداری در تولید ازن بین ۱/۸ تا ۳ مارک آلمان برای هر مترمکعب است.

با توجه به افزایش سودآوری و اصلاح در فنون کار، طیف به کارگیری فرایندهای اکسایش با ازن به میزان قابل توجهی گسترش یافته است.

ازن غالباً می‌تواند اثرات زیاد اقتصادی در گام‌های تصفیه پیشرفته آب شرب، فاضلاب و آب‌های صنعتی داشته باشد.

ازن اکسید کننده‌ای بسیار قوی است که می‌توان از آن به نحوی سازنده با کارایی بالا در

فرایندهای مختلف؛ از قبیل رنگ‌زدایی، زدایش بو، گندزدایی و غیره استفاده کرد. علاوه بر تمام کاربردهایی که فن ازن با موفقیت نتیجه داده است، کاربردهای جدید آن در زمینه مواد خام محصولات تولیدی و زایدات، به طور مستمر در حال رشد است؛ تا از منافع یکی از قوی‌ترین اکسید کننده‌های روی زمین بهره‌برداری بیشتری شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی