# بررسی اثر پیش‌اکسیداسیون بر حذف کربن کل آلی از آب به وسیله نانوفیلتراسیون

علی ترابیان[1] غلامرضا نبی بیدهندی[2] علی‌اصغر قدیم‌خانی[3]
حسین اعتمادی[3] مهری شکوهی[3]

(دریافت ۸۶/۸/۲۰ پذیرش ۸۷/۸/۷)

## چکیده

**مواد آلی به عنوان پیش‌سازهای اصلی ترکیبات جانبی ناشی از گندزدایی شناخته شده‌اند. تحقیقات نشان می‌دهد، این ترکیبات بسیار خطرناک و سرطان‌زا هستند. غلظت بالای کربن کل آلی، احتمال تشکیل ترکیبات جانبی را افزایش می‌دهد. در این تحقیق از کربن کل آلی به عنوان شاخص محتوای آلی آب، استفاده شده است. هدف از این تحقیق، بررسی اثر پیش‌ازن‌زنی بر روی حذف کربن کل آلی به‌وسیله نانوفیلتر بود که به‌این منظور در قسمتی از تحقیق نانوفیلتراسیون همراه با پیش‌ازن‌زنی و در قسمتی دیگر بدون پیش‌ازن‌زنی انجام شد. نتایج نشان داد که نانوفیلتراسیون قادر به حذف مقادیر زیادی از مواد آلی بدون نیاز به پیش‌تصفیه است. در نانوفیلتراسیون به تنهایی و در فشارهای عملیاتی ٤ و ٨ بار، غلظت کربن کل آلی خروجی در تمامی موارد کمتر از ۲ میلی‌گرم در لیتر بود که موفقیت آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. پیش‌ازن‌زنی با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر، میانگین کربن کل خروجی را به ۳/۳ میلی‌گرم در لیتر رساند که با توجه به استاندارد سازمان محیط زیست امریکا، میزان قابل قبولی محسوب نمی‌شود. این مقدار در پیش‌ازن‌زنی با غلظت ٤ میلی‌گرم در لیتر به میزان ٤/۲ میلی‌گرم در لیتر رسید که نشان داد پیش ازن‌زنی باعث شکستن مواد آلی درشت‌مولکول به انواع ریزمولکول می‌شود. در این تحقیق مشخص شد پیش‌ازن‌زنی ـ نانوفیلتراسیون باعث افزایش کربن کل خروجی از نانوفیلتر خواهد شد.**

***واژه‌های کلیدی***: تصفیه آب، پیش‌اکسیداسیون، کربن کل آلی، نانوفیلتراسیون، فرایند غشایی.

# Pre-Oxidation Effects on TOC Removal by Nanofiltration from Water

*Ali Torabyan [1] Gholamreza Nabi Bidhendi [2] Aliasghar Ghadimkhani [3]*
*Hossein Etemadi[3] Mehri Shokouhi[3]*

*(Received Nov. 10, 2007 Accepted Oct. 28, 2008)*

## Abstract

Natural organic matter (NOM) forms the group of principal precursors to organic disinfection by-products (DBPS), which have been recognized to be human carcinogens. In fact, a high TOC concentration, used as an indicator of NOM, indicates a high potential for DBP formation. The aim of the present work was to investigate the effects of nanofiltration with and without preozonation on TOC removal. Nanofiltration alone at operating pressures of 4 and 8 bars could reduce TOC levels to slightly less than 2 $mgL^{-1}$, which recorded a profile of success for all the experiments. This is while preozonation at a concentration of 2 $mgL^{-1}$ recorded an effluent TOC level of 3.3 $mgL^{-1}$, which is not an acceptable record. Preozonation at a concentration of 4 $mgL^{-1}$ increased effluent TOC to 4.2 $mgL^{-1}$,

1. Assoc. Prof. of Environmental Engineering, University of Tehran, (Corresponding Author) (+98 21) 61113184 atorabi@ut.ac.ir
2. Assoc. Prof. of Environmental Engineering, Dept. of Environmental Eng., University of Tehran
3. Former Grad. Student of Environmental Engineering, University of Tehran

۱- دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، (نویسنده مسئول) ۶۱۱۱۳۱۸۴ (۰۲۱)
atorabi@ut.ac.ir
۲- دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران ـ محیط‌زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

which indicates that preozonation could convert NOM from higher- to lower-MW fractions, thus increasing effluent TOC. It was also shown that preozonation-nanofiltration increased effluent TOC, as compared to nanofiltration alone.

***Keywords:*** Water Treatment, Pre-Oxidation, Total Organic Carbon, Nanofiltration, Membrane Process.

## ۱- مقدمه

با توجه به تأثیر منفی مواد آلی بر کیفیت آب آشامیدنی، لازم است که این مواد خطرناک از آب آشامیدنی حذف شوند. اثر حذف مواد آلی طبیعی بر سیستم‌های تصفیه آب با تغییر ماهیت و خواص مواد آلی تغییر می‌کند. این خواص را می‌توان در قالب وزن مولکولی، قطبیت، چگالی بار، آب‌دوستی یا آب‌گریزی و ... بررسی کرد. قابل ذکر است خصوصیات آب خام، مثل کدورت و سختی نیز باید مورد توجه قرار بگیرد[۱].

مواد آلی در آب از سه منبع سرچشمه می‌گیرد: تجزیه و تخریب مواد آلی طبیعی در آب، فعالیتهای شهری و کشاورزی و بالاخره فراورده‌های ناشی از واکنش‌هایی که به‌هنگام تصفیه، انتقال و گندزدایی آب اتفاق می‌افتد.

در مورد گروه اول می‌توان به موادی مانند اسیدهای هیومیک، هیدروکربورهای آروماتیک و آلیفاتیک با منشأ نفتی و بقایای میکروارگانیسم‌ها اشاره کرد [۲].

در این میان مواد هیومیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند چرا که به‌عنوان پیش‌ساز در تشکیل تری‌هالومتان‌ها و دیگر مواد آلی هالوژنه که در اثر اکسید شدن طی فرایند کلرزنی ایجاد می‌شوند، نقش دارند [۳، ۴ و ۵].

آلاینده‌های آلی مختلف که طی فعالیتهای کشاورزی، تجاری، کارخانه‌های تولیدی، حمل و نقل، دفع مواد زائد و بسیاری موارد دیگر وارد منابع آب می‌شوند، گروه دوم را تشکیل می‌دهند. بیشتر مواد آلی که دارای اثرات سوء بهداشتی هستند، نیز در این گروه قرار می‌گیرند. این مواد شامل آفت‌کش‌هایی مانند کلردان، حلالهایی مانند تری‌کلروبنزن، تتراکلرواتیلن و مونومرهایی نظیر ترکیبات بی‌فنل‌پلی‌کلرینه و اپی‌کلروهیدرین هستند.

گروه سوم، آلاینده‌های آلی هستند که طی مراحل تصفیه آب حاصل می‌شوند و عمدتاً فراورده‌های جانبی حاصل از گندزدایی را در بر دارند. از مهم‌ترین این ترکیبات تری‌هالومتان‌ها و هالواستونیتریل‌ها هستند که سرطان‌زا قلمداد می‌گردند [۲].

در طی پژوهشی که توسط فریمل[1] و کریستمن[2] در سال ۱۹۸۸ در مورد تشکیل ترکیبات جانبی گندزدایی انجام گرفت، مشخص شد که ترکیبات آلی بزرگ‌مولکول نظیر ترکیبات هیومیک و فلویک از اصلی‌ترین پیش سازهای ترکیبات جانبی گندزدایی هستند[۶].

نتایج تحقیقی که چن[3] در سال ۲۰۰۳ انجام داد، حاکی از آن است که استفاده از ازن- فیلتراسیون باعث کاهش گرفتگی غشا، افزایش شار، کیفیت بالای آب خروجی و کاهش میزان ترکیبات جانبی ازن‌زنی خواهد شد [۷].

## ۲- مواد و روشها

این تحقیق از طریق مطالعات آزمایشگاهی و بر اساس روشهای استاندارد انجام شده است. در این تحقیق، میزان حذف کربن کل آلی[4] در دو حالت مختلف بررسی شد؛ حالت اول: فرایند نانوفیلتراسیون به تنهایی، و حالت دوم: پیش ازن‌زنی با نانوفیلتراسیون.

پارامترهای مهم شیمیایی و فیزیکی آب خام و آب مصنوعی (آب حاوی کربن کل آلی که به صورت مصنوعی تهیه شده)، در ابتدای هر مرحله آزمایش اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه محدوده غلظت کربن آلی کل در آبهای سطحی، بین صفر تا ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است، برای ضریب اطمینان بیشتر در این تحقیق از غلظتهای مختلف کربن آلی کل، برای انجام آزمایش‌ها استفاده گردید.

آب خام مورد استفاده در قسمت اول آزمایش، از ورودی تصفیه‌خانه شماره ۳ تهران‌پارس تهیه شد که در واقع آب رودخانه جاجرود است. برای تهیه و شبیه‌سازی آب مصنوعی با TOC مشخص که در قسمت دوم تحقیق استفاده گردید، از برگهای خشک گیاهان استفاده شد. روش کار به این شکل بود که برگهای مزبور جمع‌آوری و خیسانده شد و آبی با TOC بالا به‌دست آمد که این آب برای تهیهٔ آب مصنوعی با TOC دلخواه به‌کار گرفته شد. روش رسیدن به کربن کل آلی دلخواه نیز با سعی و خطا و اندازه‌گیری میزان کربن کل آلی نمونه‌ها با دستگاه دی آر بی- ۲۰۰[5] بود. در این تحقیق برای سنجش کربن آلی در نمونه‌ها، از دستگاه دی آر بی-۲۰۰ از محصولات کمپانی هک[6] استفاده شد. این دستگاه برای سنجش کربن آلی کل، نیتروژن کل، فسفر کل، فلزات و غیره در

[1] Frimmel
[2] Christman
[3] Chen
[4] Total Organic Carbon (TOC)
[5] DRB-200
[6] HACH

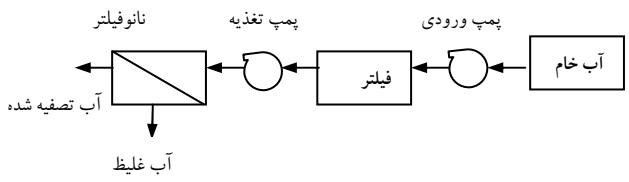
نمونه‌ها طراحی شده است. نحوه کار دستگاه به این صورت است که ابتدا نمونه در راکتور دی آر بی-۲۰۰ در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲۰ دقیقه قرار می‌گیرد و بعد از سپری شدن مدت زمان لازم، به مدت ۶۰ دقیقه در دمای محیط نگه داشته می‌شود تا به دمای محیط برسد. سپس با اسپکتروفتومتر دی آر بی-۲۰۰ شرکت هک، مقدار TOC نمونه خوانده می‌شود.

نحوه انجام آزمایش‌ها به این ترتیب بود که ابتدا کربن کل آلی آب خام و آب مصنوعی اندازه‌گیری گردید. سپس آب در فشارهای عملیاتی ۴ و ۸ بار از نانوفیلتر عبور داده شد و در فواصل زمانی ۵ دقیقه مجدداً کربن کل آلی آب اندازه‌گیری گشت، تا اثر نانوفیلتراسیون بر حذف مواد آلی در فشارهای مختلف بررسی شود. در قسمت دیگری از تحقیق برای بررسی اثر پیش‌ازن‌زنی بر حذف کربن کل آلی، در فشار عملیاتی ثابت و دُز متغیر ازن، حذف کربن کل آلی انجام گرفت. علاوه بر آن برای کنترل نتایج، بعضی از آزمایش‌ها تکرار شد. برای پیش ازن‌زنی از دستگاه ازن ژنراتور آردا[1] استفاده شد. غشای مورد استفاده در این آزمایش‌ها NF90-4040 محصول شرکت فیلم‌تک[2] بود. مشخصات غشا در جدول ۱ و تصویر شماتیک آن در شکل ۱ نشان داده شده است. آب، پس از نگهداری در مخزن ذخیره پایلوت، توسط پمپ ورودی به سمت فیلترهایی که نقش پیش‌تصفیه را به‌عهده داشتند، رانده شد. سپس توسط پمپ تغذیه به‌سوی غشای نانو، هدایت شده و توسط غشا فیلتر می‌گردد. آب خروجی از نانوفیلتر همان آب تصفیه شده است.

**جدول ۱**- مشخصات غشای مورد استفاده در آزمایش

| نام محصول | مساحت فعال غشا ($m^2$) | دبی آب تصفیه شده* ($m^3/d$) |
|---|---|---|
| FILMTEC- NF900-4040 | ۷/۶ | ۷/۶ |

* فشار ۴/۸ بار و دما ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.




**شکل ۱**- بلوک دیاگرام پایلوت مورد استفاده در آزمایش

[1] ARDA Ozone Generator
[2] FilmTec

## ۳- نتایج و بحث

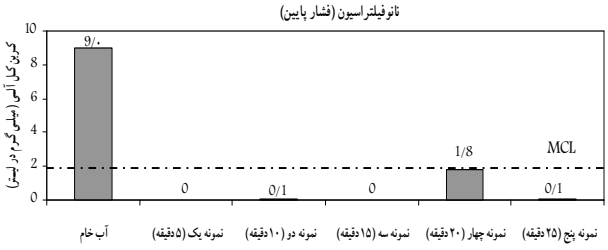
### ۳-۱- نانوفیلتراسیون در فشارهای عملیاتی ۴ و ۸ بار با آب خام

هدف از تحقیق در این بخش بررسی تأثیر نانوفیلتراسیون با فشار عملیاتی ۴ بار بر حذف ترکیبات آلی در تصفیه آب بود. پارامتر کربن آلی کل به عنوان شاخصی برای ترکیبات آلی آب در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که آب خام در آزمایش مورد نظر، آب خام تصفیه‌خانهٔ شماره ۳ تهران‌پارس است که در فصول مختلف سال دارای مقادیر متفاوت کربن کل آلی است که بیشترین مقدار را در فصل تابستان و در ماههای مرداد و شهریور دارد و معمولاً در بازه ۸ تا ۱۱میلی‌گرم در لیتر متغیر است. نمونه آب خام مورد آزمایش، دارای کربن آلی کل ۹ میلی‌گرم در لیتر بود. آزمایش‌های مربوط به کیفیت فیزیکی- شیمیایی آب خام در جدول ۲ ارائه شده است.

**جدول ۲**- ویژگی‌های شیمیایی- فیزیکی آب خام

| قابلیت هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر) | pH | کدورت (NTU) | سختی کل (میلی‌گرم بر لیتر) |
|---|---|---|---|
| ۵۰۰ | ۸/۲۱ | ۲/۶ | ۱۳۸ |

همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌گردد، پس از شروع آزمایش نمونه‌گیری از خروجی نانوفیلتر با فاصله زمانی ۵ دقیقه انجام گرفت. مقادیر TOC به‌دست آمده برای تمامی نمونه‌های آب تصفیه‌شده توسط نانوفیلتر در فشار عملیاتی ۴ بار، کمتر از استاندارد ثانویه آب شرب سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا برای حداکثر غلظت مجاز[3] کربن آلی کل- کمتر از ۲ میلی‌گرم در لیتر بود. بیشترین میزان TOC در نمونه چهار مشاهده شد که حتی در این مورد نیز، این مقدار کمتر از حد استاندارد ۲ میلی‌گرم در لیتر بود.



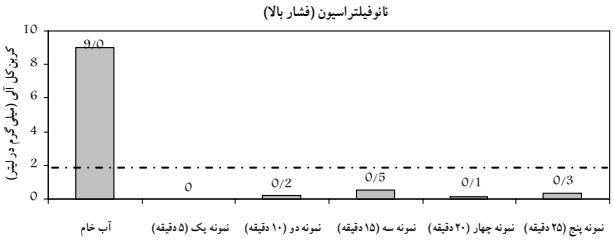

**شکل ۲**- فرایند نانوفیلتراسیون در فشار عملیاتی ۴ بار برای حذف کربن کل آلی آب خام

آزمایش مورد نظر نشان می‌دهد که نانوفیلتراسیون به تنهایی قادر به کاهش میزان کربن کل آلی نمونه تا حد مطلوب است و فشار عملیاتی ۴ بار نیز برای این موضوع کفایت می‌کند. قابل ذکر

[3] Maximum Concentration Level (MCL)

است با توجه به فشار عملیاتی بالای مورد نیاز در سایر فرایندهای غشایی به ویژه اسمز معکوس، فشارهای عملیاتی مورد استفاده در این آزمایش با در نظر گرفتن اقتصادی بودن آنها لحاظ شده است. میانگین کربن کل آلی خروجی از نانوفیلتر برابر ۰/۴ میلی‌گرم در لیتر است که رقم قابل قبولی است.

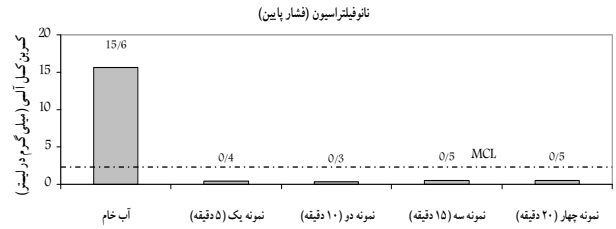
در آزمایش بعدی نمونه آب خام تحت فرایند فیلتراسیون در فشار عملیاتی ۸ بار قرار گرفت. در این مورد نیز تمامی نمونه‌ها دارای TOC خروجی کمتر از ۲ میلی‌گرم در لیتر بود که این موضوع عملکرد موفقیت‌آمیز نانوفیلتر را نشان می‌دهد. میانگین خروجی کربن کل آلی در این مورد ۰/۲۲ میلی‌گرم در لیتر بود. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد، فرایند فیلتراسیون غشایی در فشار عملیاتی ۸ بار در کاهش کربن کل آلی بسیار موفق عمل کرده است. میزان حذف کربن کل آلی در فشار عملیاتی ۸ بار بیشتر از ۴ بار است که خود نشان‌دهنده تأثیر بالای غربال‌گری در مکانیسم حذف مواد آلی از یک سو و نیز نقش فشار عملیاتی در عبور دادن ذرات از میان منافذ غشا از سوی دیگر است. در واقع می‌توان گفت رابطه مستقیمی میان فشار عملیاتی و میزان حذف کربن کل آلی وجود دارد.




**شکل ۳**- فرایند نانوفیلتراسیون در فشار عملیاتی ۸ بار برای حذف کربن کل آلی آب خام

### ۳-۲- نانوفیلتراسیون در فشارهای عملیاتی ۴ و ۸ بار با آب مصنوعی

به منظور کنترل نتایج قبلی، آزمایش‌های بالا با آب مصنوعی انجام شد. همان‌طور که در شکلهای ۴ و ۵ مشاهده می‌شود، تمامی نمونه‌ها دارای کربن کل آلی کمتر از حد استاندارد ۲میلی‌گرم در لیتر هستند. این نتایج نشان می‌دهد که نانوفیلتر به‌تنهایی و بدون




**شکل ۴**- فرایند نانوفیلتراسیون در فشار عملیاتی ۴ بار برای حذف کربن کل آلی آب مصنوعی

**شکل ۵**- فرایند نانوفیلتراسیون در فشار عملیاتی ۸ بار برای حذف کربن کل آلی آب مصنوعی

انجام پیش‌تصفیه قدرت فراوانی در حذف مواد آلی دارد. میانگین کربن آلی خروجی از نانوفیلتر برای فشارهای عملیاتی ۴ و ۸ بار به ترتیب ۰/۴ و ۱/۱۵ به‌دست آمد که رضایت‌بخش است. خصوصیات شیمیایی و فیزیکی آب مصنوعی در جدول ۳ قابل مشاهده است.

نتایج حاصل از آزمایش‌های بالا را می‌توان در جدول ۴ مشاهده کرد.

**جدول ۳**- ویژگی‌های شیمی ـ فیزیک آب مصنوعی

| قابلیت هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر) | pH | کدورت (NTU) | سختی کل (میلی‌گرم بر لیتر) |
|---|---|---|---|
| ۳۱۰ | ۷/۴۲ | ۰ | ۱۴۰ |

**جدول ۴**- نتایج نانوفیلتراسیون بر حذف کربن آلی کل

| ردیف | فشار عملیاتی (بار) | TOC ورودی (میلی‌گرم در لیتر) | TOC خروجی* (میلی‌گرم در لیتر) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | نمونه یک | نمونه دو | نمونه سه | نمونه چهار | نمونه پنج |
| ۱ | ۴ | ۹ | ۰ | ۰/۱ | ۰ | ۱/۸ | ۰/۱ |
| ۲ | ۸ | ۹ | ۰ | ۰/۲ | ۰/۵ | ۰/۱ | ۰/۳ |
| ۳ | ۴ | ۱۵/۶ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۵ | – |
| ۴ | ۸ | ۱۹/۵ | ۱/۳ | ۱/۵ | ۰/۶ | ۱/۲ | – |

*فواصل زمانی نمونه‌ها ۵ دقیقه می‌باشد.

### ۳-۳- تأثیر پیش‌ازن‌زنی بر حذف کربن آلی کل

روش انجام آزمایش‌ها به این شکل بود که پس از اندازه‌گیری TOC نمونه‌های آب مصنوعی، فرایند پیش‌اکسیداسیون با دُزهای مختلف ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر ازن بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. دستگاه ازن زنی برای تأمین غلظت مورد نظر ازن، به مدت زمان مشخصی نیاز دارد. در این آزمایش به منظور تأمین غلظت مورد نظر، براساس محاسبات صورت گرفته حدود یک ساعت ازن‌زنی انجام

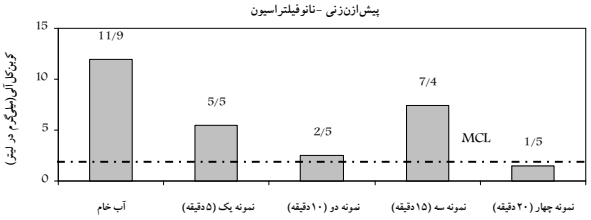
شد. نمونه‌ها پس از ازن‌زنی از نانوفیلتر عبور داده شدند. در ادامه مقدار کربن آلی کل خروجی و اولیه اندازه‌گیری شد. تمامی آزمایش‌های این بخش در فشار عملیاتی ثابت ۴ بار انجام گرفت.

تأثیر پیش‌ازن‌زنی بر میزان حذف کربن آلی کل در غلظت ۲میلی‌گرم در لیتر ازن در شکل ۶ نشان داده شده است. در این آزمایش میزان TOC ورودی برابر ۱۵/۱ میلی‌گرم در لیتر بود. بیشترین میزان حذف کربن آلی کل در دُز پیش‌ازن‌زنی ۲ میلی‌گرم در لیتر، در نمونه ۲ به‌دست آمد که در آن میزان TOC برابر یک میلی‌گرم در لیتر بود. میانگین کربن کل خروجی از نانوفیلتر برابر ۳/۳ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد که بیشتر از حد استاندارد و غیر قابل قبول است، چرا که مطابق استاندارد ثانویه آب آشامیدنی، مقدار TOC باید کمتر از ۲ میلی‌گرم در لیتر باشد.

**شکل ۶**- بررسی اثر پیش‌ازن‌زنی با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر و نانوفیلتراسیون در حذف کربن کل آلی در فشار عملیاتی ۴ بار

دلایل افزایش TOC خروجی از نانوفیلتر در این روش را می‌توان این گونه فرض کرد که پیش‌ازن‌زنی باعث شکسته شدن مولکول‌های بزرگ آلی به انواع کوچک‌تر می‌شود. در واقع اکسیداسیون مواد آلی به وسیله ازن به صورت کامل پیش نمی‌رود و واکنش تولید آب و دی‌اکسید کربن در میانه راه متوقف می‌شود. از طرفی باتوجه به اینکه مدت کمی از راه‌اندازی غشا می‌گذرد و مشکلاتی مانند گرفتگی غشا به‌وسیله مواد آلی در آن پدیدار نشده است، مکانیسم اصلی در حذف مواد آلی را می‌توان پدیده غربال‌گری غشا دانست. در این صورت شکسته‌شدن مواد آلی به مولکول‌های کوچک‌تر می‌تواند دلیل مناسبی برای افزایش میزان کربن آلی خروجی از نانوفیلتر باشد.

در شکل ۷، اثر پیش‌ازن‌زنی با غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر، بر حذف کربن کل آلی مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که مشاهده می گردد، پیش‌ازن‌زنی با دُز ۴ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش کربن آلی کل خروجی از نانوفیلتر شده است. این موضوع مطالب ذکر شده در قسمت بالا را تأیید می‌کند. افزایش غلظت ازن به میزان دو برابر آزمایش قبلی، باعث اکسیداسیون بیشتر مواد آلی شده و فرایند شکسته‌شدن مواد آلی را نیز سرعت بخشیده است. همین موضوع باعث شده که تقریباً تمامی نمونه‌ها دارای کربن کل آلی بیش از حد استاندارد باشند. علاوه بر آن میانگین کربن کل آلی خروجی از غشا نیز دو برابر میزان استاندارد یعنی ۴/۲ میلی‌گرم در لیتر است. در جدول ۵، نتایج حاصل از فرایند دوگانهٔ پیش‌ازن‌زنی - نانوفیلتراسیون مشاهده می‌شود.




**شکل ۷**- بررسی اثر پیش‌ازن‌زنی با غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر و نانوفیلتراسیون در حذف کربن کل آلی در فشار عملیاتی ۴ بار

**جدول ۵**- نتایج پیش‌ازن‌زنی- نانوفیلتراسیون بر حذف کربن آلی کل

| ردیف | غلظت پیش‌ازن زنی (میلی‌گرم در لیتر) | TOC ورودی (میلی‌گرم در لیتر) | TOC خروجی* (میلی‌گرم در لیتر) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | نمونه یک | نمونه دو | نمونه سه | نمونه چهار |
| ۱ | ۲ | ۱۵/۱ | ۴/۶ | ۱ | ۱/۴ | ۶/۳ |
| ۲ | ۴ | ۱۱/۹ | ۵/۵ | ۲/۵ | ۷/۴ | ۱/۵ |

*فواصل زمانی نمونه‌ها ۵ دقیقه می‌باشد.

تحقیقات مشابهی در سطح دنیا در این مورد انجام شده که چند مورد آن به شرح زیر است .چن و همکاران در سال ۲۰۰۵ در آزمایش‌های خود به این نتیجه رسیدند که ازن قادر است مواد آلی درشت‌مولکول را به انواع کوچک‌تر تبدیل نماید که باعث کاهش گرفتگی غشا خواهد شد. غشاهای پلیمری آلی در مقابل ازن‌زنی بسیار آسیب‌پذیر هستند ولی غشاهای سرامیکی مقاومت بسیار خوبی از خود نشان داده‌اند[۸]. یاویچ[1] در سال ۱۹۹۸ در مطالعات خود به این نتیجه رسید که ازن قادر است مواد آلی درشت‌مولکول را به انواع کوچک‌تر تبدیل نماید که این موضوع، گرفتگی غشا را کاهش خواهد داد [۹]. کارنیک[2] و همکاران در سال ۲۰۰۵ متوجه شدند، ترکیب ازن و فیلتراسیون باعث افزایش کیفیت آب خروجی و کاهش میزان ترکیبات جانبی ازن‌زنی خواهد شد. آنها همچنین پی بردند که کاهش MWCO[3] با افزایش زمان تماس ازن‌زنی میسّرخواهد شد [۱۰].

[1] Yavich
[2] Karnik
[3] Molecular Weight Cut Off (MWCO)

## ۴- نتیجه‌گیری

• پیش‌ازن‌زنی باعث شکسته‌شدن مواد آلی درشت‌مولکول به انواع ریزتر می‌شود که قادر به عبور از منافذ نانوفیلتر هستند.

• پیش‌ازن‌زنی باعث افزایش کربن کل آلی خروجی از نانوفیلتر می‌شود.

• افزایش غلظت و یا زمان تماس ازن، باعث افزایش میزان کربن کل آلی خروجی از نانوفیلتر خواهد شد.

• نانوفیلتراسیون به تنهایی قادر است کربن کل آلی آب را به کمتر از ۲ میلی‌گرم در لیتر برساند.

## ۵- قدردانی

به این وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران به‌خاطر تأمین هزینه‌های این تحقیق قدردانی می‌شود.

## ۶- مراجع

1- Tchobanoglous, G., and Burton, F. (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse*, 4th Ed., McGraw-Hill, Metcalf and Eddy Inc., New York.

2- Edwards, M., and Benjamin, M. M. (1992). "Effect of Pre-ozonation on coagulant-NOM-interactions." *J. AWWA,* 84 (8), 63-72.

3- Manttari, M., and Nystrom, M. (2006). "Negative retention of organic compound in nanofiltration." *Desalination,* 199(1-3), 41-42.

4- Torabian, A., Ghadimkhani, A. A., Rashidi Mehrabadi, A., Shokouhi, M., and Heidarzadeh, R. (2007). "Effect of pre-ozonation on total organic carbon removal in surface water treatment in Iran." *WIT, Water Resource Management,* Bologna, Italy.

**۵- ترابیان، ع.، شکوهی هرندی، م.، نبی بیدهندی، غ.ر.، قدیم‌خانی، ع. ا.، و صفایی‌فر، م. (۱۳۸۶). " بررسی کارایی یک غشای نانوفیلتراسیون در حذف نیترات از آب آشامیدنی در شرایط عملی مختلف." *م. آب و فاضلاب*، ۶۱، ۱۵-۲۴.**

6- Frimmel, F. H., and Christman, R. F. (1988). *Humic substances and their role in the environment*, 1st Ed., John Wiley and Sons, New York.

7- Chen, K. C. (2003). "Ozonation, ultrafiltration and biofiltration for the control of NOM and DBP in drinking water." *J. AWWA.,* 82, 78-88.

8- Chen, K.C., and Masten, S.J. (2005). "Effect of combined ozonation-ultra filtration on membrane fouling and water quality." *J. of the Chinese Institute of Environmental Engineering*, 15(4), 263-268.

9- Yavich, A. A. (1998). "The use of ozonation and biological fluidized bed treatment for the control of NOM in drinking water." *AWWA*, 81, 45-52.

10- Karnik, B. S., Pavies, S. H., Baumann, M. J., and Masten, S. J. (2005). "The effect of combined ozonation and filtration on disinfection by-product formation." *Water Research*, 39(13), 2839-2850.