

## Efficiency of Concentrated Sunlight to Decrease Pathogenic Bacteria by Photolysis and Solar Photocatalytic Processes; a Case Study

Kianmehr M.<sup>1</sup> *PhD*, Afshania M.<sup>2</sup> *PhD*, Biglari H.<sup>2</sup> *MSc*, Mohamadzade A.L.<sup>3</sup> *PhD*, Yaghoobi M.\* *MSc*

\*Student Research Committee, Environmental Health Engineering Department, Public Health Faculty, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran

<sup>1</sup>Medical Physics Department, Medical Faculty, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran

<sup>2</sup>Environmental Health Engineering Department, Public Health Faculty, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran

<sup>3</sup>Basic Sciences Department, Medical Faculty, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran

### Abstract

**Aims:** As a highly developed oxidation process, the solar photo-catalytic process is highly used to reduce the environmental pollutants. In addition, it most sufficiently analyzes many organic pollutants and pathogenic microbial agents, completely. The aim of this study was to determine the efficiency of the photo-catalytic process in the removal of microbial pollutant of the refinery wastewater of Gonabad Behshiran Dairy Factory.

**Materials & Methods:** In the cross-sectional study, samples of the refinery wastewater of Gonabad Behshiran Dairy Factory were prepared in spring and summer 2015. The processes were photolysis through concentrated sun light (P1), photo-catalytic at the presence of concentrated sun light (P2), photo-catalytic at the presence of normal sun light (P3), and photolysis with normal sun light (P4). Data was analyzed by SPSS 20 software using ANOVA.

**Findings:** Passing from spring to summer, there were increases in the intensity of solar radiation, UV, and IR, while there was more change in UV. Using concentrated sun light, microbial removal efficiency hugely increased in such a way that there was a significant correlation between radiation intensity and microbial removal efficiency in P2 and P3 processes.

**Conclusion:** Compared to normal sun light, the concentrated sun light considerably reduces microbial load. In addition, TiO<sub>2</sub> Nano-particles in photo-catalytic process lead to a higher disinfection rate.

**Keywords:** Photolysis; Photo-catalytic Process; Pathogenic Bacteria; Disinfection

---

\* Corresponding Author

Tel: +985137223028

Fax: -

Address: Public Health Faculty, Gonabad University of Medical Sciences, Next to the Asian Road, Gonabad, Iran.

Postal Code: 96917-93718

yaghoobim1@hotmail.com

Received: January 14, 2016

Accepted: April 19, 2016

ePublished: June 7, 2016

# کارایی نور خورشید متمرکز شده در کاهش باکتری‌های بیماریزا طی فرآیندهای فتولیز و فتوکاتالیستی خورشیدی؛ مطالعه موردی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۸  
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۳۱  
نویسنده مسئول: yaghoobim1@hotmail.com

## مقدمه

ایران به عنوان یکی از کشورهای خاورمیانه در ناحیه خشک جهان قرار دارد به طوری که ۲۵٪ خاک ایران در مناطق فراخشک و ۴۰٪ آن در مناطق خشک است [۱]. با توجه به محدودیت منابع آب تجدیدپذیر و در دسترس، دولت بر مصرف بهینه از منابع تجدیدپذیر به ویژه بازچرخش و استفاده مجدد از آب، تغذیه آب‌های زیرزمینی و استفاده مجدد از فاضلاب انسانی و صنعتی تصفیه شده، به عنوان یکی از سیاست‌های اقتصادی - اجتماعی، در امور کشاورزی و سایر فعالیت‌ها تاکید دارد [۱، ۲].

بر اساس قانون توزیع عادلانه آب، فاضلاب و آب‌های برگشتی به عنوان یکی از منابع آبی محسوب می‌شوند [۳]. طبق برآورد وزارت نیرو در سال ۱۳۹۲، حجم آب برگشتی و پساب‌های تولیدی در سال ۱۴۰۴ معادل ۴۱ میلیارد متر مکعب در سال است [۴]. بدیهی است که در صورت برنامه‌ریزی مناسب و بهره‌برداری از این پتانسیل، تا حدی از فشار وارده بر منابع آب تجدیدشونده ایران کاسته می‌شود. مطابق اصل پنجاهم قانون اساسی، حفاظت محیط زیست که نسل امروز و نسل‌های بعد باید در آن حیات رو به رشدی داشته باشند، وظیفه عمومی تلقی شده و فعالیت‌هایی که با آلودگی و تخریب محیط زیست ملازمه پیدا کند، ممنوع است [۵]. بنابراین اگر تخلیه فاضلاب‌ها و پساب‌ها به محیط به عنوان یک منبع آلاینده فرض شود، برنامه‌ریزی بهره‌برداری از آنها یکی از موضوع‌های مرتبط با اصل ۵۰ قانون اساسی به شمار می‌آید.

با توجه به اهمیت عوامل میکروبی بیماری‌زا در ایجاد بیماری‌ها در انسان، استفاده از فرآیندهایی که در آنها بتوان بار میکروبی را کاهش داد، از اهمیت فراوانی برخوردار است. فرآیند اکسیداسیون فتوکاتالیستی با استفاده از فتوکاتالیست‌های نیمه‌رسانا به عنوان فرآیند اکسیداسیون پیشرفته شناخته می‌شود و کاربردهای زیادی در کاهش آلاینده‌های محیطی دارد [۶]. راکتورهای فتوکاتالیستی در تخریب کامل آلاینده‌های آلی با وزن ملکولی پایین حتی آنهایی که از نانوفیلترها عبور کنند، کاربرد دارد [۸]. هنگامی که مواد نیمه‌رسانا مانند فتوکاتالیست‌ها در معرض نور خاصی قرار بگیرند، واکنش‌های شیمیایی (مثل تجزیه ملکول‌های آلی) را آغاز کرده یا سرعت می‌بخشند [۹]. استفاده از نانوذرات برای حذف آلاینده‌های میکروبی از آب و فاضلاب در مقیاس وسیعی انجام گرفته و تداوم دارد [۱۴-۱۰]. مطالعه اثرات محیطی این مواد روی میکروارگانیسم‌ها و محیط زیست کاملاً ضروری است چرا که بدون دانستن اثرات آنها در دوزهای مشخص امکان توسعه و ایجاد قوانین مدیریتی و استانداردهای مرتبط نیز مشکل است و در صورتی که به آب و

## مجتبی کیان مهر PhD

گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران

## مجتبی افشارنیا PhD

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران

## حامد بیگلری MSc

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران

## علیرضا محمدزاده PhD

گروه میکروبی‌شناسی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران

## مریم یعقوبی \* MSc

کمیته تحقیقات دانشجویی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران

## چکیده

**اهداف:** فرآیند فتوکاتالیستی خورشیدی فرآیند اکسیداسیون پیشرفته‌ای است و کاربردهای زیادی در کاهش آلاینده‌های محیطی دارد و طیف وسیعی از آلاینده‌های آلی و عوامل میکروبی بیماریزا را با کارایی مطلوبی به طور کامل تجزیه می‌نماید. این پژوهش با هدف تعیین کارایی فرآیند فتوکاتالیستی در حذف آلودگی میکروبی پساب خروجی تصفیه خانه کارخانه لبنیات بهشیران شهر گناباد انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** این مطالعه به صورت مقطعی و در فصل بهار و تابستان سال ۱۳۹۴ انجام و نمونه‌ها از پساب خروجی تصفیه‌خانه کارخانه لبنیات بهشیران شهر گناباد تهیه شد. فرآیندها به صورت فتولیز با استفاده از نور متمرکز شده خورشید (P1)، فتوکاتالیستی در مواجهه با نور متمرکز شده خورشید (P2)، فتوکاتالیستی در مواجهه با نور معمولی خورشید (P3) و فتولیز با نور معمولی خورشید (P4) انجام شد. داده‌های حاصل از این مطالعه در نرم‌افزار SPSS 20 وارد شدند و برای تجزیه و تحلیل داده از آزمون آماری آنالیز واریانس استفاده شد.

**یافته‌ها:** هر چه از فصل بهار به سمت فصل تابستان نزدیک شدیم، شدت تابش خورشید، UV و IR بیشتر شد؛ در مورد اشعه UV این تغییر بیشتر دیده شد. با استفاده از نور خورشید متمرکز شده، راندمان حذف میکروبی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت، به طوری که در فرآیندهای P2 و P3 بین شدت تابش و راندمان حذف میکروبی ارتباط معنی‌داری مشاهده شد.

**نتیجه‌گیری:** استفاده از نور خورشید متمرکز شده در مقایسه با نور خورشید معمولی به طور قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش بار میکروبی شده و از طرفی در فرآیند فتوکاتالیستی وجود نانوذرات  $TiO_2$  باعث افزایش سرعت گندزدایی می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** فتولیز، فرآیند فتوکاتالیستی، باکتری بیماریزا، گندزدایی

قطر ۹۰ و عمق ۱۰ سانتی‌متر بود که نقطه کانونی آن از فرمول  $f = D^2/16d$  به دست آمد [۲۳] (f برابر با فاصله نقطه کانونی بر حسب سانتی‌متر، D برابر با قطر دیش بر حسب سانتی‌متر و d برابر با عمق دیش بر حسب سانتی‌متر).

فرآیندها به صورت فتولیز با استفاده از نور متمرکز شده خورشید (P1)، فتوکاتالیستی در مواجهه با نور متمرکز شده خورشید (P2)، فتوکاتالیستی در مواجهه با نور معمولی خورشید (P3) و فتولیز با نور معمولی خورشید (P4) انجام شد. برای انجام فرآیند فتوکاتالیستی از نانوذرات  $TiO_2$  (US Research Nanomaterials؛ ایالات متحده) استفاده شد. این نانومواد در فاز آنا تا از دارای سطح مخصوص  $240-200 \text{ m}^2/\text{g}$ ، اندازه نانوذرات ۲۵-۱۰ نانومتر و درجه خلوص ۹۵٪ بودند. قبل از شروع فرآیندهای P2 و P3، نمونه‌های حاوی  $TiO_2$  به منظور ایجاد سوسپانسیون و رسیدن به تعادل جذب برای مدت ۶۰ دقیقه روی دستگاه همزن برقی با حداکثر دور ۱۰ و در محیط تاریک قرار داده شدند. بعد از فرآیند فتوکاتالیستی، برای آماده‌سازی نمونه‌ها برای کشت میکروبی، ابتدا نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم از نمونه‌های حاوی  $TiO_2$  با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ در  $3000 \text{ rpm}$  به مدت ۵ دقیقه جداسازی شدند؛ سپس برای سنجش کارایی فرآیندهای فتوکاتالیستی در گندزایی از روش پور پلیت (Pour Plate) در محیط کشت R2A آگار برای تخمین تعداد باکتری‌های هتروتروف استفاده شد. روش و نحوه انجام کشت میکروبی مطابق با کتاب روش‌های استاندارد آب و فاضلاب (بخش B۹۲۱۵) انجام شد [۲۴]. همچنین نمونه برداری برای کشت میکروبی در فاصله‌های زمانی مشخص (هر ۳۰ دقیقه) از شروع فرآیند از ساعت ۱۰:۳۰ تا ۱۴:۳۰ انجام شد. برای محاسبه راندمان حذف میکروبی از معادله  $(Ci - C_u) \times 100 / C_i = \text{درصد حذف}$  استفاده شد [۲۵] ( $C_i$  و  $C_u$  به ترتیب غلظت اولیه و نهایی بار میکروبی بر حسب CFU/mL).

داده‌های حاصل از این مطالعه در نرم‌افزار SPSS 20 وارد شدند و برای تجزیه و تحلیل داده از آزمون آماری آنالیز واریانس استفاده شد.

## یافته‌ها

تصفیه فاضلاب در کارخانه لبنیات بهشیران به روش لجن فعال با هوادهی گسترده بود. نمونه‌های دریافتی از پساب خروجی دارای بار میکروبی  $9300-12300 \text{ cfu/ml}$ ، دمای  $20-25^\circ\text{C}$ ، اکسیژن محلول  $7/8-16/5 \text{ mg/l}$ ، کدورت  $2-5 \text{ NTU}$  و pH معادل  $6/5-7/5$  بودند.

هر چه از فصل بهار به سمت فصل تابستان نزدیک شدیم، شدت تابش خورشید، UV و IR بیشتر شد؛ در مورد اشعه UV این تغییر بیشتر دیده شد (نمودار ۱).

فاضلاب تخلیه شوند برای انسان و محیط زیست خطرناک هستند، لذا در ارتباط با استفاده از آنها در حذف آلاینده‌ها و نهایتاً دفع آنها به محیط زیست باید مطالعات لازم انجام گیرد. مکانیسم اصلی تاثیر نانو ذرات روی باکتری‌ها از طریق آسیب به پروتئین، DNA و تخریب دیواره سلولی است [۱۵، ۱۶].

برای انجام واکنش‌های فتوکاتالیستی، انرژی پرتوافکنی مورد استفاده باید از انرژی باند گپ  $TiO_2$  ( $3/2 \text{ eV}$ ) بیشتر باشد. لذا طول موج نور باید کمتر از ۴۱۰ نانومتر باشد که این در محدوده نور فرابنفش (UV) و نور فرابنفش نزدیک است. در بسیاری از مطالعات آزمایشگاهی از نور UV مصنوعی با محدوده طول موج بین ۲۵۰ تا ۴۰۰ نانومتر به عنوان منبع نور استفاده می‌شود [۱۹-۱۷]. مقداری از انرژی نور خورشید که در محدوده UV نزدیک است و توسط  $TiO_2$  جذب می‌شود، شامل ۴ تا ۶٪ طیف خورشیدی است [۸].

گردآورنده‌های متمرکزکننده (سیستم‌های متمرکزکننده خورشید)، تابش مستقیم خورشید و بخشی از تابش پراکنده را با کمک طراحی‌های مهندسی پیشرفته متمرکز می‌نمایند. در این نوع کلکتورها از سطوح منعکس کننده برای افزایش شدت پرتوهای خورشیدی جمع‌آوری شده استفاده می‌شود [۲۲-۲۰]. در دیش استرلینگ متمرکز کردن پرتوهای خورشید، به منظور دستیابی به شدت تابش بالاتر است. از جمله تفاوت‌های این پژوهش در واقعی بودن شرایط آزمون، استفاده از نور خورشید متمرکز شده به عنوان منبع تابش است.

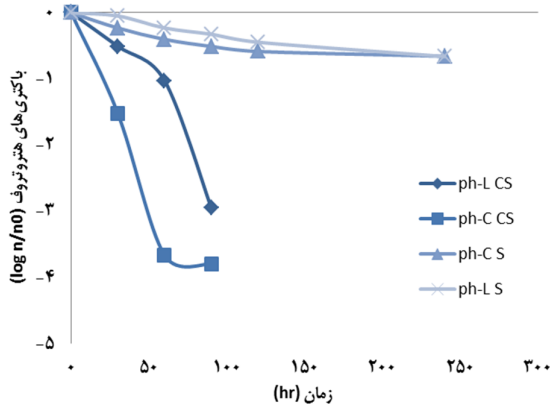
این پژوهش با هدف تعیین کارایی فرآیند فتوکاتالیستی در حذف آلودگی میکروبی پساب خروجی تصفیه خانه کارخانه لبنیات بهشیران شهر گناباد انجام شد.

## مواد و روش‌ها

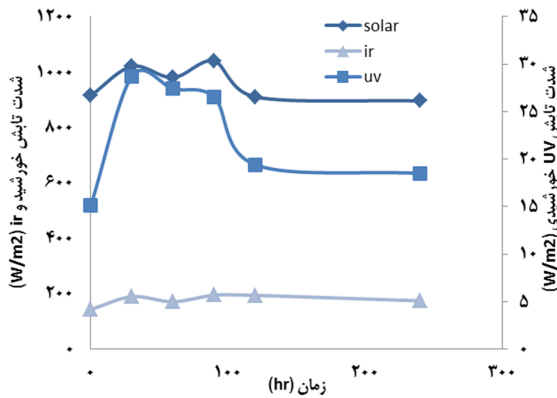
این مطالعه به صورت مقطعی و در فصل بهار و تابستان سال ۱۳۹۴ انجام شد. نمونه‌ها از پساب خروجی تصفیه‌خانه کارخانه لبنیات بهشیران شهر گناباد (بر اساس کتاب روش‌های استاندارد آب و فاضلاب، بخش A۹۰۶۰) تهیه و نمونه‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و در آزمایشگاه آب و فاضلاب دانشکده بهداشت مورد آزمون قرار گرفت.

شدت تابش خورشید در زمان آزمایش توسط دستگاه‌های پیرانومتر (TES-1333؛ کره جنوبی)، UV متر (Hagner EC1 UV؛ کره جنوبی) و IR متر (Hagner EC1 IR؛ کره جنوبی) اندازه‌گیری شد. تمامی آزمایش‌ها در ساعاتی از روز که آسمان صاف و بدون ابر بود، انجام شد. برای متمرکز ساختن نور خورشید از دیش پوشیده شده با فویل آلومینیومی استفاده شد. فویل آلومینیوم دارای قدرت انعکاسی بالایی است که با CF معادل یک، ۹۵٪ نور تابیده شده را بازتاب می‌کند [۱۲]. سولار دیش مورد استفاده در این پژوهش به

ارتباط بین شدت تابش UV خورشیدی و راندمان حذف میکروبی وجود نداشت (نمودار ۳).



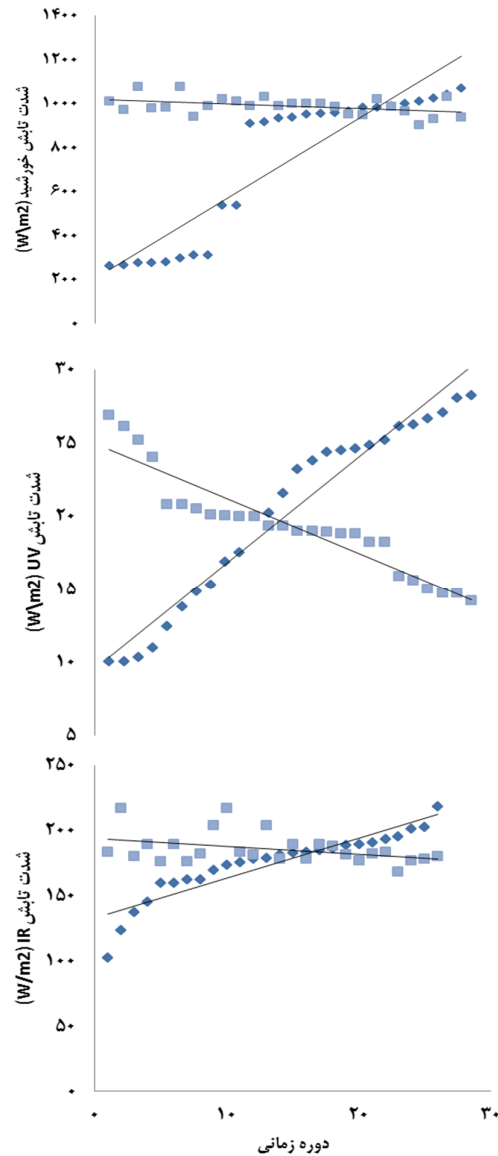
**نمودار ۲** اثر فرایندهای تجزیه نوری مختلف بر حذف میکروبی (TiO<sub>2</sub>): فرآیند P1: (0.5mg/l): فرآیند فتولیز با نور خورشید متمرکز شده؛ P2: فرآیند فتوکاتالیستی با نور متمرکز شده خورشید؛ P3: فرآیند فتوکاتالیستی با نور معمولی خورشید؛ P4: فرآیند فتولیز با نور معمولی خورشید



**نمودار ۳** میانگین شدت تابش خورشید، IR خورشیدی و UV خورشیدی در زمان آزمایش

### بحث

میکروب‌ها به طور طبیعی در آب و سطوحی که با آب در تماسند رشد می‌کنند. این رشد نشان دهنده مقادیر بالای باکتری‌های هتروتروف در نمونه‌های آب بوده و این باکتری‌ها به طور گسترده‌ای به عنوان شاخص کیفیت آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسیاری از این باکتری‌ها به صورت بالقوه بیماری‌زا بوده و باعث عفونت‌های فرصت‌طلب در انسان و به خصوص در بیمارانی که سیستم ایمنی بدن آنها ضعیف شده است، می‌شوند و از طرفی بسیاری از بیماری‌های واگیر از طریق آلودگی میکروبی آب منتقل می‌شوند، از این رو کنترل بیماری‌های منتقله از طریق آب از اهمیت بسزایی برخوردار است [۲۶].



**نمودار ۱** میانگین شدت تابش UV (خورشید، ب) UV (پ) IR در زمان مطالعه (W/m<sup>2</sup>)

تجزیه نوری میکروارگانیسم‌های هتروتروف در مدت زمان ۲۴۰ دقیقه در چهار فرآیند در نمودار ۲ نشان داده شده است. غلظت نانوذرات TiO<sub>2</sub> در فرایندهای فتوکاتالیستی ۰/۵ میلی گرم بر لیتر بود.

با استفاده از نور خورشید متمرکز شده، راندمان حذف میکروبی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت، به طوری که در فرایندهای P2 و P3 بین شدت تابش و راندمان حذف میکروبی ارتباط معنی‌داری مشاهده شد (ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۸۷ و  $p < ۰/۰۵$ ). همچنین در فرآیند P1 بین راندمان حذف میکروبی و شدت تابش UV خورشیدی ارتباط معنی‌داری وجود داشت (ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۵۶ و  $p < ۰/۰۵$ ). در فرایندهای P2 و P3

۱ لیتری باشد، در مواجهه با نور خورشید کاهش سریع در تعداد کلیفرم‌های مدفوعی مشاهده می‌شود. این غیرفعال‌سازی در عرض ۳-۶ ساعت با عدم فعال‌سازی مجدد رخ می‌دهد [۱۶]. فوتتا سینز در مطالعه‌ای غیرفعال‌سازی انگل کریپتوسپوریوم را با استفاده از راکتور خورشیدی ۲۵ لیتری مجهز به گردآورنده سهموی پارابولیک مورد بررسی قرار داد. کاربرد این راکتور در بهبود کیفیت میکروبی آب آشامیدنی در مقایسه با فرآیند SODIS (گندزدایی با نور خورشید) در ظروف PET (پلی‌اتیلن)، با ۸ ساعت مواجهه نور خورشید حدود ۱۰ برابر، آب را بهتر تصفیه می‌کند [۳۲]. لونن غیرفعال‌سازی پروتوزوا، قارچ‌ها و باکتری‌ها را در آب آشامیدنی با استفاده از خاصیت فتوکاتالیکی خورشید مورد بررسی قرار داد. در این بررسی بعد از ۸ ساعت مواجهه با نور خورشید، کاهش قابل توجهی در جمعیت پروتوزوا، قارچ‌ها و باکتری‌ها مشاهده شد ولی در مورد کیست تک‌باخته انگلی آکانتامیبا پلی‌فاگا هیچ تغییری رخ نداد [۳۳].

با توجه به نتایج، می‌توان از فرآیند فتوکاتالیستی با نور متمرکز شده خورشید در تصفیه هر چه بهتر فاضلاب‌ها و پساب ناشی از آن، استخراج‌های شنا و منابع آبی استفاده نمود. به نظر می‌رسد به‌کارگیری نتایج این طرح می‌تواند ما را در دستیابی به استانداردهای زیست‌محیطی و در نتیجه کاهش چالش‌های مرتبط با سلامت جوامع انسانی کمک کند.

### نتیجه‌گیری

استفاده از نور خورشید متمرکز شده در مقایسه با نور خورشید معمولی به طور قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش بار میکروبی شده و از طرفی در فرآیند فتوکاتالیستی وجود نانوذرات  $TiO_2$  باعث افزایش سرعت گندزدایی می‌شود.

**تشکر و قدردانی:** بدین طریق از شورای پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی گناباد برای حمایت مالی و آزمایشگاه آب و فاضلاب مهندسی بهداشت محیط تقدیر و تشکر می‌گردد.

**تاییدیه اخلاقی:** به دلیل کارکردن روی پساب کارخانه لبنیات و جمعیت باکتری‌ها، کار تحقیقاتی حاضر فاقد هرگونه ملاحظه اخلاقی است.

**تعارض منافع:** هیچ گونه تعارض منافی توسط نویسندگان بیان نشده است.

**منابع مالی:** این پژوهش با حمایت مالی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی گناباد انجام گرفته است.

### منابع

1- Sharzeae G. Instructions for planning, managing and determining the tariffs to reuse wastewater effluent. Tehran: Power Ministry; 2013. p. 194.

نور خورشید قادر به حذف بخش عظیمی از عوامل میکروبی در آب است. استفاده از آن برای ضدعفونی کردن آب به عنوان یکی از روش‌های موثر برای حذف عوامل بیماری‌زا از قبیل باکتری‌ها و انگل‌ها به خصوص توسط افرادی که در مناطق روستایی یا مناطقی که دسترسی به آب بهداشتی وجود ندارد زندگی می‌کنند، می‌تواند موثر باشد [۱۶].

در این مطالعه از نور خورشید برای کاهش باکتری‌های بیماری‌زا استفاده شد و بررسی‌های انجام شده در این آزمایش نشان می‌دهد که استفاده از سولار دیش برای متمرکز ساختن نور خورشید در فرآیند فتولیز خورشیدی می‌تواند نقش موثری را ایفا نماید. همچنین استفاده از نور خورشید متمرکز شده نقش موثری در افزایش کارایی فرآیند فتوکاتالیستی خورشیدی دارد. مطالعات انجام شده توسط پژوهشگران نیز موید این مطلب است که افزایش فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات  $TiO_2$  به طور کامل به شدت منبع تابش بستگی دارد [۲۷-۳۰].

در فرآیند P2 تقریباً ۹۷٪ باکتری‌های هتروتروف در ۳۰ دقیقه اول غیرفعال شدند، اما در فرآیند P3 که از نور معمولی خورشید استفاده شد، در این مدت زمان فقط ۴۱٪ کاهش بار میکروبی مشاهده شد. همچنین در مقایسه فرآیندهای P1 و P4 استفاده از متمرکز کننده نور خورشید باعث افزایش راندمان حذف میکروبی از ۱۰/۵٪ به ۶۸/۹٪ بعد از ۳۰ دقیقه مواجهه می‌شود.

در فرآیندهای P1 و P2 حدود ۳ ساعت برای حذف کامل باکتری‌های هتروتروف مورد نیاز بود اما سرعت کاهش بار میکروبی در فرآیند P2 سریع‌تر است، به طوری که در فرآیند P1 بعد از یک ساعت از شروع واکنش، ۹۰/۵۸٪ و در فرآیند P2، ۹۹/۹۸٪ کاهش بار میکروبی مشاهده شد. گلاور و همکاران نشان دادند که گندزایی با فرآیند P3 (نور معمولی به همراه  $TiO_2$ ) موثرتر از فرآیند P4 (نور معمولی) است که با مطالعه ما مطابقت دارد، اما در مطالعه ایشان از نور خورشید متمرکز شده استفاده نشده است [۱۵].

همچنین مندرز هرمدیا و همکاران در گندزدایی آب آشامیدنی آلوده شده به اووسیت تک‌باخته انگلی *Cryptosporidium parvum*، دریافتند که فرآیند استفاده از نور خورشید به همراه نانوذرات  $TiO_2$  موثرتر از فرآیندهایی است که از نانوذرات استفاده نمی‌شود به طوری که بعد از ۸ ساعت مواجهه با نور خورشید تنها ۳۷/۷٪ راندمان گندزدایی به دست آمد اما در صورت استفاده از  $TiO_2$  این مقدار به ۸۱/۳٪ افزایش می‌یابد که این مطلب با نتایج این مطالعه همخوانی دارد [۳۱]. رید و همکاران در بررسی خاصیت فتواکسیداسیون نور خورشید در هند و جنوب آفریقا بیان داشته‌اند که فتواکسیداسیون نوری می‌تواند یک رویکرد عملی و ارزان قیمت برای بهبود کیفیت میکروبی آب آشامیدنی در مناطقی با تابش طولانی مدت خورشید باشد. در صورتی که میزان اکسیژن محلول ۱۳ تا ۴۰٪ حجم اشباع هوا در ظروف پلاستیکی شفاف ۲۵-

- Robertson PK. The application of TiO<sub>2</sub> photocatalysis for disinfection of water contaminated with pathogenic micro-organisms: a review. *Res Chem Intermed*. 2007;33(3-5):359-75.
- 19- Ollis DF, Pelizzetti E, Serpone N. Photocatalyzed destruction of water contaminants. *Environ Sci Technol*. 1991;25(9):1522-9.
- 20- Mohammed IL. Design and development of a parabolic dish solar water heater. *Int J Eng Res Appl*. 2012;2(1):54-8.
- 21- Li L, Dubowsky S. A new design approach for solar concentrating parabolic dish based on optimized flexible petals. *Mech Mach Theory*. 2011;46(10):1536-48.
- 22- Mohamed FM, Jassim AS, Mahmood YH, Ahmed MA. Design and study of portable solar dish concentrator. *Int J Recent Res Rev*. 2012;3:52-9.
- 23- Jabbar S, Munir A, Khan N. Design of Parabolic Heat Collector. Available from: <http://www.superior.edu.pk/ICEET/pdf/research/Design%20of%20Parabolic.pdf>
- 24- Rand M, Greenberg AE, Taras MJ. Standard methods for the examination of water and wastewater. USA: American Public Health Association; 1976. pp. 190-5.
- 25- Nguyen AT, Juang R-S. Photocatalytic degradation of p-chlorophenol by hybrid H<sub>2</sub>O and TiO<sub>2</sub> in aqueous suspensions under UV irradiation. *J Environ Manag*. 2015;147:271-7.
- 26- Alighadri M, Sadeghi T, Bagheri Ardebiliyan P, Iranpour E, Khodaverdi Sh, Alipanah A. Heterotrophic bacteria in drinking water distribution system in Ardabil. *Health Mag*. 2015;6(15):226-36.
- 27- Shukla SS, Dorris KL, Chikkaveeraiah BV. Photocatalytic degradation of 2, 4-dinitrophenol. *J Hazard Mater*. 2009;164(1):310-4.
- 28- Rodriguez-Chueca J, Ormad MP, Mosteo R, Canalis S, Ovelleiro JL. Escherichia coli inactivation in fresh water through photocatalysis with TiO<sub>2</sub>-Effect of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> on disinfection kinetics. *CLEAN-Soil, Air, Water*. 2015.
- 29- Pinho LX, Azevedo J, Brito A, Santos A, Tamagnini P, Vilar VJP, et al. Effect of TiO<sub>2</sub> photocatalysis on the destruction of Microcystis aeruginosa cells and degradation of cyanotoxins microcystin-LR and cylindrospermopsin. *Chem Eng J*. 2015;268:144-52.
- 30- Malato S, Maldonado MI, Fernández-Ibáñez P, Oller I, Polo I, Sánchez-Moreno R. Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: The pilot plants of the Plataforma solar de Almería. *Mater Sci Semicond Process*. 2016;42(1):15-23.
- 31- Méndez-Hermida F, Ares-Mazás E, McGuigan KG, Boyle M, Sichel C, Fernández-Ibáñez P. Disinfection of drinking water contaminated with Cryptosporidium parvum oocysts under natural sunlight and using the photocatalyst TiO<sub>2</sub>. *J Photochem Photobiol B Biol*. 2007;88(2-3):105-11.
- 32- Fontán-Sainz M, Gómez-Couso H, Fernández-Ibáñez P, Ares-Mazás E. Evaluation of the solar water disinfection process (SODIS) against Cryptosporidium parvum using a 25-L static solar reactor fitted with a compound parabolic collector (CPC). *Am J Trop Med Hyg*. 2012;86(2):223-8.
- 33- Lonnen J, Kilvington S, Kehoe SC, Al-Touati F, McGuigan KG. Solar and photocatalytic disinfection of protozoan, fungal and bacterial microbes in drinking water. *Water Res*. 2005;39(5):877-83.
- 2- Babran S, Honarnakhsh N. Water status crisis in world and Iran. *Rahbord*. 2008;48:219-23.
- 3- Shahraki F, Mahdavi R, Rezaee M. Effect of irrigation with wastewater on certain soil physical and chemical properties. *Water Wastewater*. 2006;53:23-9.
- 4- Moosavi S, Noori M, Samadi H, editors. Challenges of unconventional use of water in agriculture. Tehran: 1<sup>st</sup> National Conference on Challenges of Agriculture and Water Resources; 2013.
- 5- Environmental standards and effluent reuse the recycled water. In: Office of Deputy for Strategic Supervision MoE, editor. Islamic Republic of Iran Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision; 2010. p. 533.
- 6- Zazouli MA, Safarpour M, Veisi A, Habibkhani P. Bacterial contamination in bottled water and drinking water distribution network in Semnan. *J Mazandaran Univ Med Sci*. 2013;22(1):62-70.
- 7- Chatterjee D, Dasgupta S. Visible light induced photocatalytic degradation of organic pollutants. *J Photochemistry Photobiol C Photochemistry Rev*. 2005;6(2):186-205.
- 8- Malato S, Fernández-Ibáñez P, Maldonado MI, Blanco J, Gernjak W. Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: Recent overview and trends. *Catal Today*. 2009;147(1):1-59.
- 9- Materials Science Forum. Environmental application of photocatalysis. Chaturvedi S, Dave PN, editors. Switzerland: Trans Tech Publication; 2013.
- 10- Lawrie K, Mills A, Figueredo-Fernández M, Gutiérrez-Alfaro S, Manzano M, Saladin M. UV dosimetry for solar water disinfection (SODIS) carried out in different plastic bottles and bags. *Sens Actuators B Chem*. 2015;608:15-20.
- 11- Giannakis S, Darakas E, Escalas-Cañellas A, Pulgarin C. Solar disinfection modeling and post-irradiation response of Escherichia coli in wastewater. *Chem Eng J*. 2015;281:588-98.
- 12- García-Fernández I, Fernández-Calderero I, Polo-López MI, Fernández-Ibáñez P. Disinfection of urban effluents using solar TiO<sub>2</sub> photocatalysis: A study of significance of dissolved oxygen, temperature, type of microorganism and water matrix. *Catal Today*. 2015;240:30-8.
- 13- Fiorentino A, Ferro G, Alferez MC, Polo-López MI, Fernández-Ibáñez P, Rizzo L. Inactivation and regrowth of multidrug resistant bacteria in urban wastewater after disinfection by solar-driven and chlorination processes. *J Photochem Photobiol B Biol*. 2015;148:43-50.
- 14- Ferro G, Fiorentino A, Alferez MC, Polo-López MI, Rizzo L, Fernández-Ibáñez P. Urban wastewater disinfection for agricultural reuse: effect of solar driven AOPs in the inactivation of a multidrug resistant E. coli strain. *Appl Catal B Environ*. 2015;178:65-73.
- 15- Gelover S, Gómez LA, Reyes K, Teresa Leal M. A practical demonstration of water disinfection using TiO<sub>2</sub> films and sunlight. *Water Res*. 2006;40(17):3274-80.
- 16- Reed RH. The inactivation of microbes by sunlight: solar disinfection as a water treatment process. *Adv Appl Microbiol*. 2004;54:333-65.
- 17- Matthews RW. Photocatalytic oxidation of organic contaminants in water: an aid to environmental preservation. *Pure Appl Chem*. 1992;64(9):1285-90.
- 18- McCullagh C, Robertson JM, Bahnemann DW,