

## اشاره

بخشی از موج‌های الکترومغناطیس به عنوان پرتوهای فرابنفش شناخته می‌شود. این پرتوها در ناحیه‌ی نامرئی طیف الکترومغناطیس و در گستره‌ی طول موجی ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر قرار دارند. پرتوهای فرابنفشی که دارای طول موج ۲۵۴nm هستند، فعالیت‌گندزدایی و میکروب‌کشی دارند. این پرتوها با اثر بر رشته‌های DNA یا RNA در هسته‌ی سلول‌ها، سبب غیرفعال شدن رشته‌های وراثتی در موجودات زنده می‌شوند. حساسیت موجودات زنده‌ی گوناگون نسبت به پرتوهای فرابنفش، با یکدیگر متفاوت است. از سوی سازمان بهداشت جهانی، برای پالایش آب و میزان پرتودهی به آن، استاندارد مشخص شده است. پرتوهای فرابنفش جهت گندزدایی آب آشامیدنی، فاضلاب‌ها و آب استخرها در پایان فرایند پالایش کاربرد فراوان دارند و به عنوان یکی از روش‌های گندزدایی فیزیکی مستقل یا تکمیلی در کنار روش‌های دیگر مورد توجه قرار گرفته‌اند. از آن‌جا که استفاده از این پرتوها کیفیت فیزیکی، شیمیایی یا زیست‌شناختی منابع آب را تغییر نمی‌دهد روشی مطمئن، سریع و سازگار با محیط‌زیست به شمار می‌رود و از این رو، به روش‌های دیگر ترجیح داده می‌شود.

کلید واژه‌ها: پرتوهای فرابنفش، گندزدایی، پالایش آب

# پرتوهای فرابنفش و گندزدایی آب

نوشته: محمدعلی رضایت

## تکمیل فرایند پالایش آب

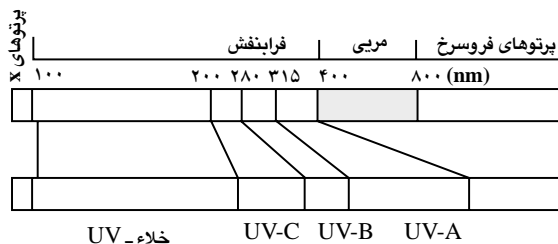
معنی از بین بردن یا غیرفعال کردن موجودات زنده‌ی ذره‌بینی و بیماری‌زای موجود در آن است. این فرایند با استفاده از مواد شیمیایی هم‌چون کلر و ترکیب‌های آن، برم، پتاسیم پرمنگنات و اوزون انجام می‌گیرد. در گندزدایی، عوامل فیزیکی از جمله گرما،

هنگامی که آب مراحل گوناگون پالایش را پشت سر می‌گذارد، بسته به آن‌که به چه مصرفی می‌رسد، باید گندزدایی شود. برای نمونه، آب آشامیدنی باید پس از حذف مواد شناور و محلول در آن، از هرگونه آلودگی میکروبی نیز به دور باشد. گندزدایی آب به

پرتوهای گاما و پرتوهای فرابنفش نیز مورد توجه قرار می گیرند. عملکرد گندزدایی، تابع شرایطی هم چون غلظت، نوع موجودات زنده ی ذره بینی، زمان تماس، نوع ماده یا عامل گندزداست. حدود یک سده است که دانشمندان دریافته اند که پرتوهای فرابنفش با طول موج مشخص عامل میکروب کش مؤثری هستند. اگرچه که ایجاد این پرتوها در آغاز پرهزینه بود، اما با گسترش لامپ هایی که شدت بالایی داشته، از طول عمر زیادی برخوردارند، استفاده از پرتوهای یاد شده به عنوان یک عامل گندزدا، نخست برای آب و سپس برای مایع های دیگر مورد توجه قرار گرفت. هم اکنون که بیش از ۳۰ سال از پژوهش های گسترده ی آزمایشگاهی در زمینه ی استفاده از پرتوهای فرابنفش برای از بین بردن موجودات زنده ی ذره بینی می گذرد، طراحی دستگاه تولید پرتوهای فرابنفش متناسب با نیازهای واقعی، استفاده از آن را برای گندزدایی آب امکان پذیر کرده است.

### ماهیت پرتوهای فرابنفش

بخشی از امواج الکترومغناطیس، در ناحیه ی نامریی طیف نوری که بین پرتوهای X و نور بنفش مرئی قرار دارد، با نام پرتوهای فرابنفش شناخته می شود. طول موج پرتوها در این ناحیه از ۱۰۰ تا ۴۰۰ nm در تغییر است و چهار نوع پرتوی فرابنفش را در بر می گیرد که عبارتند از: UV-A، UV-B، UV-C و X-UV. این پرتوها بسته به مقدار طول موج خود، هر یک کاربرد ویژه ای دارند چنان که پرتوهای UV-A به عنوان ماده ی جاذب حشره ها در حشره کش ها به کار می رود، هم چنین پرتوهای UV-A در کنار پرتوهای UV-B در لامپ هایی که برای درمان سوختگی ناشی از نور خورشید مناسبند کاربرد دارند. بخشی از پرتوهای UV-B در گستره ی طول موجی ۲۰۰ تا ۳۱۵ nm، همراه با پرتوهای UV-C خاصیت میکروب کشی داشته، جهت گندزدایی کاربرد یافته اند.



شکل ۱

نور خورشید به طور طبیعی شامل این پرتوهاست. در واقع، عمل گندزدایی و کنترل رشد میکروب ها در طبیعت توسط خورشید انجام می گیرد.

پرتوهای فرابنفش در لامپ های جیوه و در نتیجه ی تخلیه ی الکتریکی در بخار جیوه ی این لامپ ها به طور مصنوعی تولید می شوند. این تخلیه ی الکتریکی به تولید چند طیف مشخص و ناپیوسته می انجامد که دو طیف آن با طول موج های ۱۸۵ nm و ۲۵۴ nm در ناحیه ی پرتوهای فرابنفش قرار می گیرد. طیف با طول موج ۲۵۴ nm نسبت به طیف های دیگر شدیدتر بوده، خاصیت میکروب کشی دارد.

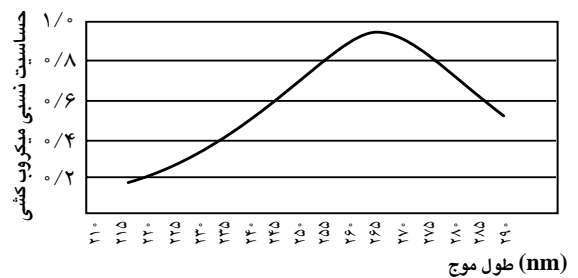
لامپ های تولیدکننده ی پرتوهای فرابنفش بر سه نوعند: لامپ های کم فشار، لامپ های با فشار متوسط و لامپ های پرفشار. لامپ های کم فشار خود به دو شکل لامپ های کاتد گرم و کاتد سرد دیده می شوند. بازدهی این لامپ ها نسبت به انرژی که مصرف می کنند زیاد است. چنان که، حدود ۹۵ درصد طول موج تولید شده از آن ها در ناحیه ی ۲۵۴ nm قرار می گیرد. کارایی این لامپ ها به شدت به ولتاژ ورودی، دمای محل استفاده و عمر لامپ و تعداد دفعه های روشن و خاموش شدن آن ها بستگی دارد. کارایی لامپ های پرفشار مستقل از این عوامل است. اما بازدهی آن ها نسبت به انرژی مصرفی شان کم است. به هر حال، نفوذپذیری پرتوهای نشر شده از این لامپ ها به خاطر شدت بالای آن ها بیش تر از لامپ های کم فشار است.

### سازو کار اثر پرتوهای فرابنفش در فرایند گندزدایی

در این زمینه چهار سازو کار پیشنهاد شده است که به این قرارند: (آ) تخریب دیواره ی سلولی (ب) تغییر در چگونگی نفوذپذیری سلول (پ) تغییر در ماهیت کلوییدی پروتوپلاسم (ت) اختلال در فعالیت آنزیم ها.

پاره شدن و تخریب دیواره ی سلولی سبب مرگ سلول می شود و این امر از بین رفتن موجودات زنده ی ذره بینی را در پی دارد. برخی از ترکیب های گندزدا نفوذ انتخابی دیواره ی سیتوپلاسم سلول را تغییر می دهند و سبب می شوند که مواد غذایی حیاتی برای سلول مانند فسفر و نیتروژن به جای ورود به سلول، از آن خارج شوند. برخی دیگر از عوامل گندزدا مانند عوامل اسیدی، قلیایی یا پرتودهی، ماهیت کلوییدی سیتوپلاسم را تغییر می دهند. از آن جا که انرژی پرتوهای یاد شده به انرژی

الکترون‌های پیوندی ترکیب‌های آلی نزدیک است، برخی پیوندها در برابر این پرتوها گسسته شده، پیوندهای جدیدی در ترکیب‌ها تشکیل می‌شوند. پیوندهای دوگانه و سه‌گانه میان اتم‌های کربن با هم یا با اتم‌های دیگر از جمله پیوندهای بسیار آسیب‌پذیر در برابر پرتوهای فرابنفش هستند. جذب پرتوهای فرابنفش توسط ترکیب‌های آلی و تشکیل طیف‌های جذبی برای هر ماده به همان ماده بستگی داشته، با طیف ترکیب‌های آلی دیگر تفاوت دارد. پرتوهای فرابنفش بر انواع موجودات زنده‌ی ذره‌بینی شامل باکتری‌ها، ویروس‌ها، قارچ‌ها، کپک‌ها، مخمرها و جلبک‌های موجود در آب، هوا و سطوح مؤثرند. این پرتوها با طول موج ۲۶۵nm، بیش‌ترین اثر غیرفعال‌کنندگی را روی موجودات یاد شده دارند. هم‌چنین پرتوهایی با طول موج بین ۲۰۰ تا ۳۱۵ نانومتر نیز در این زمینه به خوبی عمل می‌کنند. نمودار ۱، میزان حساسیت نسبی میکروب‌کشی پرتوهای فرابنفش را بر حسب طول موج آن‌ها نشان می‌دهد.



نمودار ۱

پرتوهای فرابنفش بر رشته‌های وراثتی موجودات زنده‌ی ذره‌بینی، یعنی DNA و RNA اثر گذاشته، سبب غیرفعال شدن آن‌ها می‌شوند. رشته‌های وراثتی در همه‌ی موجودات زنده از تک سلولی‌ها گرفته تا پرسلولی‌ها از واحدهایی به نام نوکلئوتید تشکیل شده‌اند که شامل یک باز آلی، یک مولکول قند پنج کربنی و بخش فسفریل هستند. قندها و فسفریل وظیفه‌ی پیوند دادن واحدهای نوکلئوتید را به عهده دارند و بازهای آلی به کمک پیوند هیدروژنی، دو رشته‌ی وراثتی را کنار یک‌دیگر نگاه می‌دارند. همه‌ی این بازها پرتوهای UV با طول موج ۲۶۰nm را جذب می‌کنند. بازهای آلی موجود در نوکلئوتیدها به دو دسته‌ی بازهای پورین و بازهای پیریمیدین تقسیم می‌شوند. آدنین و گوانین از جمله بازهای پورین بوده، سیتوزین و تیمین و اوراسیل از بازهای پیریمیدین به‌شمار می‌روند. در نتیجه‌ی جذب پرتوهای UV،

هرجا که در طول رشته‌های وراثتی بازهای پیریمیدین کنار هم باشند به هم می‌پیوندند. بنابراین دو رشته در جاهایی که دو باز تیمین یا یک باز تیمین با یک باز اوراسیل در برابر هم باشند، به هم متصل شده، رشته‌ی وراثتی دیگر قادر به تکثیر نخواهند بود و در نتیجه تولید مثل موجود زنده پایان می‌یابد. روی هم رفته، دو نوع سازوکار برای از بین رفتن موجودات زنده‌ی ذره‌بینی توسط پرتوهای UV شناخته شده است که عبارتند از:

\* واکنش‌های ترمیم در نور که معمولاً به پرتوهایی با طول موج پایین‌تر از ۵۱۰nm نیاز دارند.

\* واکنش‌های ترمیم در تاریکی که مجموعه‌ای از فرایندهای ترمیمی روی ژنوم موجودات زنده را دربر می‌گیرند.

برای نمونه، هنگامی که دو باز تیمین یا باز تیمین با اوراسیل دوپار (دی‌مر) تشکیل داده‌اند، از بین رفتن موجود زنده با سازوکار ترمیم در نور انجام می‌گیرد.

بنابر پژوهش‌های مولمانز<sup>۱</sup>، حساسیت DNA نسبت به پرتوهای UV-C تابع طول موج این پرتوهاست. گذشته از پرتوهایی با طول موج ۲۶۵nm که بر DNA اثر تخریبی دارند، انرژی پرتوهای نشر شده در طول موج‌های نزدیک به ۲۲۰nm نیز سبب نابودی موجودات زنده‌ی ذره‌بینی می‌شود. در این طول موج‌ها پروتئین‌ها و آنزیم‌ها نیز آسیب می‌بینند.

### میزان پرتودهی

به منظور بررسی میزان پرتودهی از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$D = I \times t$$

که در آن، D میزان پرتودهی پرتوهای فرابنفش، I شدت پرتوهای اعمال شده و t مدت زمان پرتودهی است. دو عامل بر شدت پرتوهای اعمال شده اثر می‌گذارند که عبارتند از:

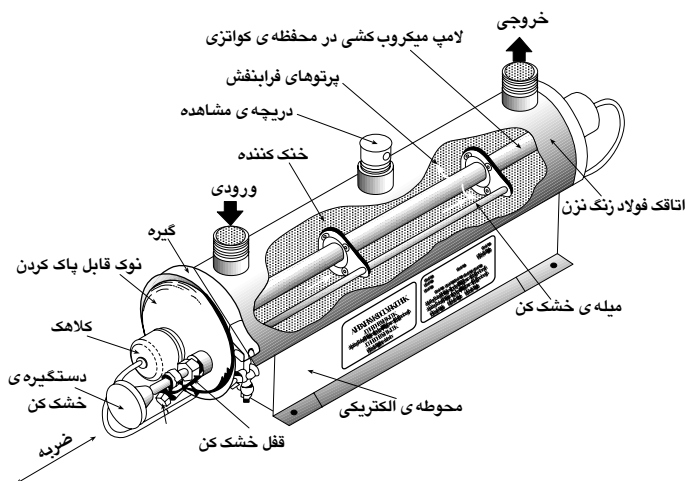
(آ) کیفیت آب که با شفافیت آب پالایش یافته در ارتباط است. هرچه آب، شفاف‌تر باشد پرتوهای فرابنفش بیش‌تری می‌توانند بدون برخورد به مانع از میان آب بگذرند.

(ب) بازده‌ی لامپ فرابنفش. بازده‌ی این لامپ‌ها با تمیز کردن پوشش کوارتزی لامپ و عوض کردن لامپ تأمین می‌شود. هم‌چنین کنترل دستگاه و تجهیزات قطع و وصل لامپ نیز در این زمینه اهمیت دارد.

مدت زمان پرتودهی، t، با سرعت جریان آبی که از اتاقک

گندزدایی می‌گذرد در ارتباط است. با تغییر این زمان می‌توان میزان پرتودهی را بر حسب نیاز تغییر داد. بنابراین با تنظیم زمان پرتودهی یا شدت آن یا هر دوی این عوامل، در عمل، هیچ موجود زنده‌ای در جریان گندزدایی نمی‌تواند زنده بماند. عواملی که بر گذشتن پرتوهای UV از آب اثر می‌گذارند، بر کارایی این پرتوها مؤثرند. این عوامل به این قرارند:

(آ) تیرگی آب (ب) غلظت ترکیب‌های آلی موجود در آب (پ) میزان آهن موجود در آب (ت) غلظت یون‌های نیترات و نیتريت موجود در آب. بالا بودن هر یک از این عوامل، به شدت از میزان عبور پرتوها می‌کاهد. از سوی دیگر، تمیز بودن لامپ‌های تولیدکننده‌ی این پرتوها نیز امر مهمی است. امروزه، نصب بازوهای متحرک خودکار، پاک کردن لامپ‌ها را ممکن ساخته است بی‌آن‌که نیازی به باز کردن دستگاه باشد.



شکل ۲ شمایی از دستگاه گندزدایی

## استانداردهای تعیین شده در کاربرد پرتوها

بنا به قرارداد ارایه شده از سوی سازمان بهداشت جهانی، گندزدایی آب با پرتوهای UV بر دو نوع است:

گندزدایی نوع آ، که شامل گندزدایی آب آلوده به موجودات زنده‌ی ذره‌بینی مانند باکتری‌ها و ویروس‌هاست. آلودگی این نوع آب ناشی از یک منبع آلوده مانند فاضلاب خام نبوده، هدف از گندزدایی آن، تبدیل فاضلاب به آب آشامیدنی نیست.

گندزدایی نوع ب، که شامل فرایندهای تکمیلی روی آب آشامیدنی است که سالم بودن آن توسط مراجع دارای صلاحیت

## تأیید شده است. مقایسه‌ی روش‌های گندزدایی

کاربرد پرتوهای UV به عنوان یک روش گندزدایی فیزیکی در پالایش منابع آب و فاضلاب به‌طور مستقل یا تکمیلی در کنار روش‌های دیگر، از دیرباز مورد توجه بوده است. به تازگی، از این پرتوها همراه با هیدروژن پراکسید جهت از بین بردن ترکیب‌های آلی کلردار نیز استفاده می‌شود.

از جمله روش‌های شیمیایی متداول در گندزدایی آب می‌توان به کلرزنی و استفاده از گاز اوزون اشاره کرد. اگرچه که کلرزنی روشی ساده و ارزان است اما کلرگازی خورنده و سمی است و استفاده از آن در گندزدایی آب، سبب تغییر مزه و بوی آب می‌شود. هم‌چنین در واکنش با مواد آلی، ترکیب‌های آلی کلرداری تشکیل می‌دهد که بیش‌تر آن‌ها سرطان‌زا هستند.

استفاده از اوزون نسبت به کلر ایمن‌تر است. اوزون در واکنش با ترکیب‌های آلی موجود در آب، ترکیب‌های سمی تولید نمی‌کند، رنگ و بو و مزه‌ی غیرطبیعی آب را از بین می‌برد و سبب افزایش شفافیت آب می‌شود.

عملکرد پرتوهای UV نسبت به روش‌های گندزدایی دیگر سریع‌تر است. این روش به‌صرفه بوده، نیاز به تجهیزات گسترده، فضای زیاد و نیروی کارشناس ندارد. سامانه‌ی فرابنفش نیز در محیط زیست آلودگی‌های ثانوی ایجاد نمی‌کند و در کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب گندزدایی شده تغییری به وجود نمی‌آورد. بنابراین استفاده از پرتوهای فرابنفش به عنوان سالم‌ترین و کاراترین روش گندزدایی آب در دنیا شناخته شده است. هم‌اکنون در کشور ما این روش برای گندزدایی آب در مقیاس کم مانند تهیه‌ی آب معدنی و آب‌هایی که در صنایع دارویی، بهداشتی، آرایشی و صنایع الکترونی استفاده می‌شود و انتظار می‌رود که به‌خاطر برتری‌های آن بر روش‌های دیگر، در آینده‌ی نزدیک کاربرد آن در زمینه‌های گوناگون گسترش یابد.



1. Muelemans



1. Wallis, P.M., Disinfection of Giardia lamblia & Giardia Muris Cysts by UV light, President, Hyperion Reaserch Ltd., Medicine Hat, Alberta Canada, TIA 3G8.