

Ultraviolet Light in the Use of Water Disinfection

*H. Ghafourian**, *R. Dabbagh**, *G. Nabi***, *N. Mehrdadi***

** Atomic Energy Organization of Iran*

*** Faculty of University of Tehran*

Abstract

Ultraviolet light is an effective method for water disinfection in swimming pools, potable water and industry. For many reasons, UV light and UV compounded with Chlorine (UV/Chlorine) has been brought to attention in recent years.

In this research, a swimming pool water disinfection was carried out by means of a system with the use of a reactor which was made of stainless steel (SS-304) and with many other required standards. Operation of the system was carried out at first in the pilot plant and then installation in essential water treatment integrated. Inactivation of pollution indicator, E.Coli or total coliform and pseudomonas aeruginosa was studied with 6000, 16000, and 30000 μ W.s/cm² UV dose and then in the presence of 0.3, 0.6, 0.9 and 1.2 mg/l free Chlorine (UV/Chlorine). In swimming pools usually minimum residual of free chlorine is about 1.5 - 2.5 mg/l. Optimum dose for UV/Chlorine system was 16000 μ W.s/cm². Most probable number (MPN) method by multiple tube fermentation technique was used for pollution estimation.

The samples polluted for secondary pollution with 54000 MPN/100 ml for E.Coli and 1800 MPN/100 ml pseudomonas aeruginosa. The number of microbes decreased to less than two (MPN table) after 45 minutes contact time in the presence of residual free Chlorine in the samples. In practical conditions, in which the disinfectant system was installed in essential water treatment circuit under 1.4 atm. Pressure, the microbial density was about 840 MPN/100 ml for total coliform and it caused lower turbidity, TSS and TDS in tap water.

کاربرد پرتوهای فرابنفش در گندزدایی آب

حسین غفوریان* رضا دباغ* غلامرضا نبی** ناصر مهردادای**

چکیده

استفاده از پرتوهای فرابنفش از جمله روش‌های مؤثر در امر گندزدایی آب است. در این تحقیق از پرتوهای فرابنفش به تنهایی و سپس توأم با کلر^۱ جهت گندزدایی آب یک استخر شنا استفاده شده است. برای این منظور یک سیستم تک لامپی و تک ساخت از فولاد زنگ نزن SS-304 طراحی شده و بهره‌برداری از سیستم در ابتدا خارج از مدار اصلی آب و با استفاده از یک مخزن ۲۰۰ لیتری که با آب استخر پر شده بود انجام شد. در مرحله بعد دستگاه تصفیه بیولوژیک آب در مدار اصلی تصفیه و تحت فشار ۱/۴ اتمسفر (۲۱ psi) قرار گرفته و بهره‌برداری در شرایط عملی صورت گرفت. شاخص‌های کنترل آلودگی آب استخر در این بررسی شمارش (MPN) مجموع کلیفرم‌ها و باکتری‌های سودوموناس آئروژینوزا بود. نتایج به دست آمده نشان داد که با اعمال دز تابش دهی^۲ $۱۶۰۰۰ \mu\text{W.s/cm}^2$ برای پرتوهای فرابنفش و استفاده از $۰/۶ \text{ mg/l}$ کلر آزاد باقی مانده جهت جلوگیری از آلودگی‌های احتمالی ثانویه، گندزدایی مطلوبی در استخر شنای مورد نظر به دست آمد. این در حالی است که حداقل غلظت کلر آزاد باقیمانده در آب استخرها به طور معمول در محدوده $۲/۵ - ۱/۵ \text{ mg/l}$ است.

مقدمه

پرتوهای گاما، اشعه ایکس، تابش‌های الکترونی^۱ و پرتوهای فرابنفش^۳ نیز از جمله راه کارهایی است که در دهه‌های اخیر جهت گندزدایی آب و فاضلاب و همچنین ضد عفونی سایر تجهیزات استریل مورد نیاز توسعه زیادی پیدا کرده‌اند. تابش فرابنفش طیفی از امواج الکترومغناطیسی هستند که مابین ناحیه نامرئی و اشعه ایکس واقع شده‌اند. این تابش‌ها با توجه به غیر یونیزان بودن توان گندزدایی بالایی از خود ارائه

یکی از مشکلاتی که انسان همواره در زندگی روزمره با آن روبرو بوده است تأمین آب سالم و پاک جهت آشامیدن و مصارف مختلف است. به همین علت جوشاندن آب به عنوان یکی از ابتدایی‌ترین روش‌ها از هنگامی که انسان به نقش آب در انتقال آلودگی‌های میکروبی پی برده رایج شده است. نیاز به مقادیر بیشتر آب سالم و مناسب موجب به وجود آمدن روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی گندزدایی آب شد به گونه‌ای که استفاده از کلر، ازن، پراکسید هیدروژن و غیره به عنوان روش‌های شیمیایی و استفاده از حرارت و تابش دهی از روش‌های مرسوم فیزیکی است.

* - عضو هیأت علمی سازمان انرژی اتمی ایران
** - عضو هیأت علمی دانشگاه تهران

- 1- (UV/Chlorine)
- 2- Electron Beams
- 3- Ultraviolet Light

تنهایی و سپس توأم با کلر جهت گندزدایی آب یک استخر شنا استفاده شده است. باید توجه داشت که از همین شیوه نیز می توان جهت تصفیه بیولوژیکی آب آشامیدنی، آب مورد نیاز صنایع مختلف نظیر داروسازی و صنایع غذایی و نیز تصفیه فاضلاب استفاده کرد.

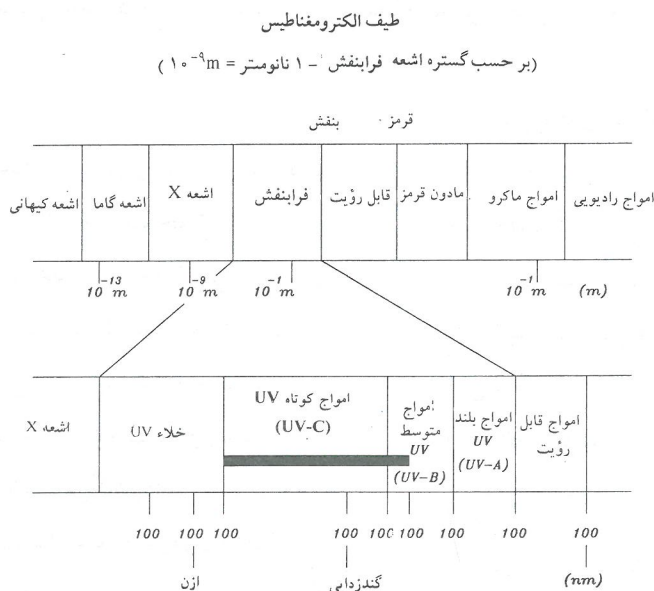
مواد و روش ها

در سیستم های تصفیه آب با پرتوهای فرابنفش برای تولید شعه فرابنفش از نوع دور (UV-C) از لامپ های کم فشار محتوی بخار جیوه استفاده می شود. در حدود ۹۰ درصد از طیف UV ساطع شده از این لامپ ها در محدوده میکرو بکشی^۱ یعنی طول موج ۲۵۴ نانومتر است [۷]. بهره برداری از این لامپ ها مشابه با لامپ های فلورسنت بوده و ابعاد تقریبی یک نوع از آنها به طول ۹۰ سانتی متر و به قطر ۲/۵ سانتی متر است (شکل ۳). برای جلوگیری از تماس آب با لامپ به علت افت دمای لامپ و مسائل ایمنی، لامپ ها را داخل لوله هایی از جنس شیشه های محتوی سیلیس زیاد یا کوارتز قرار می دهند (شکل ۴). این پوشش ها در حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد گذردهی برای اشعه فرابنفش از خود نشان می دهند [۱۰].

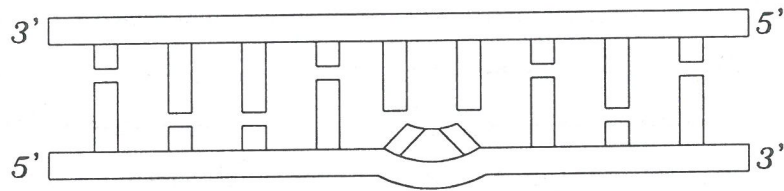
می دهند. با توجه به کاربردهای مختلف، چهار ناحیه متفاوت در طیف اشعه فرابنفش وجود دارند که عبارتند از UV-A، UV-C، UV-B و UV-C خلاء که در این میان UV-C با لایحه طول موج ۲۵۴ نانومتر آن دارای بیشترین قدرت میکروب کشی است [۱]. در شکل ۱ موقعیت تابش های فرابنفش در میان امواج الکترومغناطیس و نیز نواحی مختلف آن به همراه تأثیرات آنها نشان داده شده است. مکانیسم تأثیر پرتوهای فرابنفش مربوط به پدیده دیمریزاسیون است که طی این فرایند بازهای پیریمیدین (تیمین و سیتوزین) مجاور هم در طول یک رشته از زنجیره DNA به هم متصل می شوند. با این اتصال، میکروارگانیزم ها در عمل رونوشت برداری از رشته DNA جهت تکثیر و فرایندهای مورد نیاز خود دچار اشکال شده و از بین می روند. در شکل ۲، نمایی از پدیده دیمریزاسیون نشان داده شده است [۲، ۳، ۴ و ۵]. در امر گندزدایی آب، استفاده از اشعه فرابنفش به سبب سهولت تولید و کاربرد آن، کارایی کافی، عدم ایجاد ترکیبات جانبی در آب (قابل مقایسه با تولید THMs توسط کلر در آب)، عدم نیاز به مخزن اختلاط و زمان ماند طولانی و خیلی از مزایای دیگر مورد توجه است [۱، ۷، ۸، ۹]. البته نظیر تمام روش های موجود این شیوه نیز دارای نقایصی است که عمده ترین آن عدم وجود باقی مانده ماده گندزدا در آب است.

در پروژه تحقیقاتی حاضر از پرتوهای فرابنفش در ابتدا به

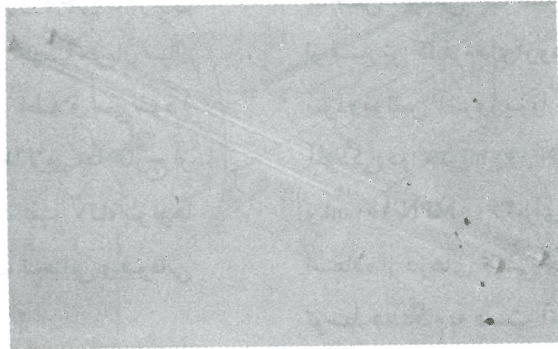
1- Germicidal



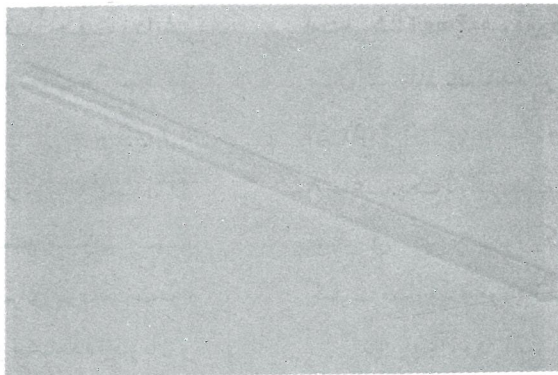
شکل ۱- طیف امواج الکترومغناطیس با گستره ای از نواحی مختلف تابش های فرابنفش



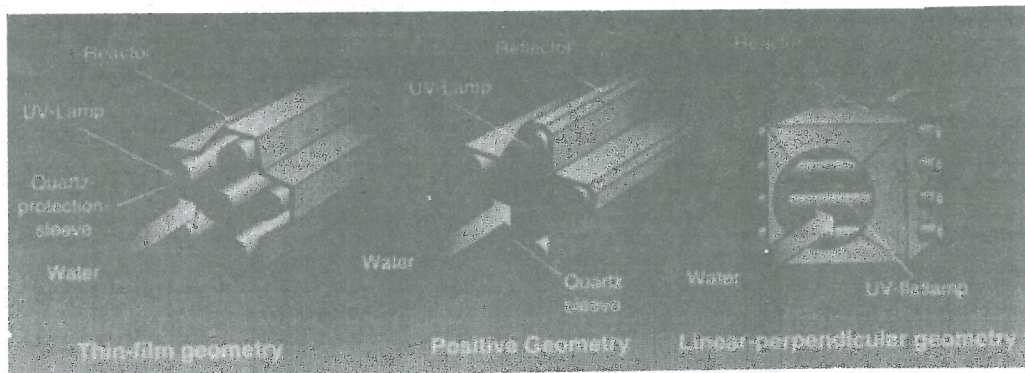
شکل ۲- پدیده دیمریزاسیون بازهای تیسین در طول رشته DNA



شکل ۳- نمونه‌ای از لامپ‌های کم فشار بخار جیوه که در ساخت دستگاه UV از آن استفاده شده است



شکل ۴- نمونه‌ای از لوله کوارتز جهت حفاظت لامپ‌های مولد UV



شکل ۵- انواعی از آرایش‌های مختلف لامپ‌های UV-C در محفظه‌های گندزدایی

در این تحقیق محفظه دستگاه ساخته شده جهت تصفیه بیولوژیک آب از جنس فولاد زنگ نزن (SS-304) به شکل استوانه بوده و لامپ اشعه فرابنفش در مرکز محفظه مزبور نصب شده است. جهت سنجش شدت پرتوها از دستگاه رادیومتر دیجیتالی Spectroline DRC-100x که به صورت مستقیم شدت پرتوها را اندازه گیری می کند استفاده شده است. نحوه قرارگیری لامپ UV در محفظه موجب به وجود آمدن انواع مختلفی از سیستم ها می شود. نوع استفاده شده در این پروژه جریان موازی با لامپ^۱ می باشد. چنانچه لامپ ها عمود بر جهت جریان سیال باشند به این حالت جریان عمود بر لامپ^۲ اطلاق می شود (شکل ۵). ممکن است در بعضی از سیستم ها لامپ ها خارج از جریان آب قرار گرفته و علاوه بر تابش مستقیم UV، پرتوها مجدداً توسط بازتاب دهنده ها از قسمت تحتانی و فوقانی محفظه به درون آب منعکس گردند [۱۰، ۱۱].

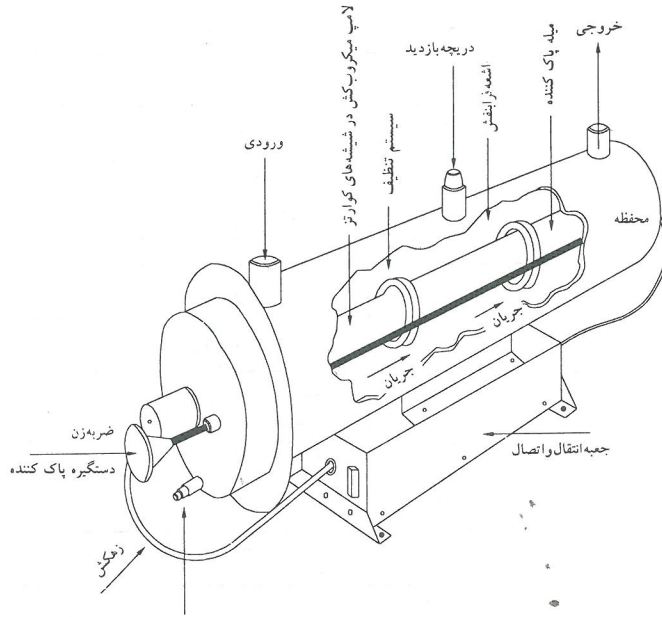
به مرور زمان با توجه به رسوب مواد مختلف موجود در آب بر روی جدار پوششی لامپ UV (کوارتز) و کاهش گذردهی کوارتز معمولاً یک سیستم نظیف^۳ جهت زدایش مواد رسوبی از جنس تفلون روی لوله کوارتز نصب می شود. در شکل ۶ نمایی از تجهیزات داخلی سیستمی که از پرتوهای فرا بنفش جهت گندزدایی آب استفاده می کند ارائه شده است [۱۲]. معمولاً هر دو هفته یک بار، استفاده از سیستم نظیف جهت تمیز نمودن جدار لوله کوارتز کافی است. برای بررسی نحوه کارکرد دستگاه و روشن بودن لامپ ها و مشاهده جریان و کیفیت آب از یک دریچه بازدید^۴ در قسمت فوقانی دستگاه استفاده می شود (شکل های ۶ و ۷). در استفاده از دستگاه های UV جهت تصفیه آب بهتر است آب مورد نظر از لحاظ کیفی مورد تجزیه قرار گیرد، زیرا عواملی همچون کدورت، میزان مواد معلق و عناصری چون ترکیبات آهن بر روی قدرت تصفیه دستگاه تأثیر خواهند گذاشت [۱۳].

انشعاب های ورودی و خروجی برای آب به قطر ۲/۵ سانتی متر (یک اینچ) بوده و برای نمونه گیری، از شیرهای برداشت نصب شده قبل و بعد از سیستم استفاده شده است. جهت کنترل فشار هیدرولیکی وارده بر سیستم از فشار سنج های عقربه ای کمک گرفته شد (شکل ۷). قطعات الکتریکی مورد

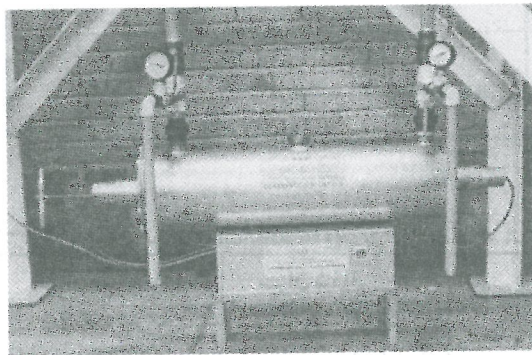
نیاز جهت مدار راه اندازی لامپ UV در جعبه مکعبی قسمت تحتانی دستگاه تعبیه شده و بررسی عملکرد و کارآیی دستگاه در دو حالت مختلف انجام گرفته است. ابتدا برای بررسی تأثیر غلظت میکروبی در کارکرد دستگاه با توجه به اینکه عملاً ایجاد آلودگی در استخر شنا مقدور نمی باشد توسط یک مخزن ذخیره به ظرفیت ۲۰۰ لیتر که از آب استخر پر شده بود استفاده شد (شکل ۸). ایجاد آلودگی توسط میکروارگانیسم های شاخص آلودگی آب استخر یعنی مجموع کلیفرم ها^۵ (می توان از شمارش کلیفرم های رودهای^۶ یا E Coli نیز استفاده کرد) و سودوموناس آئروژینوزا^۷ انجام شد [۱۴ و ۱۵]. غلظت این آلودگی در حد 10^5 MPN/100 ml برای مجموع کلیفرم ها و 3600 MPN/100 ml برای سودوموناس آئروژینوزا می باشد. با استفاده از دزهای تابشی مختلف، دز مناسب جهت گندزدایی توسط دستگاه به دست آمد. در این مرحله جهت برآورد بهینه غلظت کلر آزاد باقیمانده از دز $6000 \mu\text{W.s/cm}^2$ برای پرتوهای فرابنفش استفاده شد. با تغییر غلظت کلر، میزان مناسب در آب استخر شنا $0/6 \text{ mg/l}$ برآورد گردید. باید توجه داشت که عملاً میزان کلر آزاد باقیمانده در آب استخر به طور متوسط در حدود $1/5 - 2/5 \text{ mg/l}$ می باشد. در استخرهای شنا معمولاً آب هر ۶ الی ۸ ساعت یک بار در یک مدار بسته به گردش در می آید تا تصفیه فیزیکی و بیولوژیک مورد نیاز روی آن صورت گرفته و کیفیت مطلوب و مورد نظر به دست آید [۱۶].

برای برآورد تأثیر آلودگی ثانویه پس از عبور آب از دستگاه و با حضور کلر آزاد باقی مانده در آب، نمونه ها تا غلظت 54000 MPN / 100 ml و 1800 MPN / 100 ml برای سودوموناس آئروژینوزا آلوده شدند. دز استفاده شده برای اشعه فرابنفش در این مرحله $16000 \mu\text{W.s/cm}^2$ بود. در این مورد نیز کلر آزاد باقی مانده با غلظت $0/6 \text{ mg/l}$ استفاده شد. در حالت دوم بهره برداری، دستگاه UV در مدار اصلی تصفیه آب استخر قرار گرفت (شکل ۷). در این مرحله کل فشار

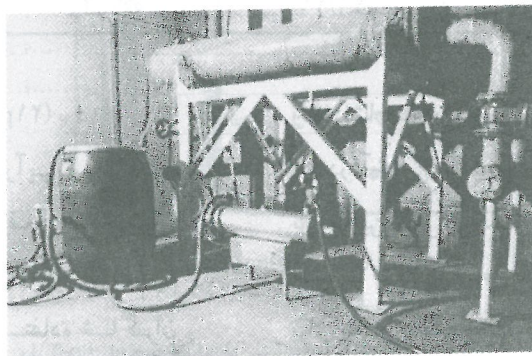
- | | |
|---------------------------|-------------------|
| 1- Parallel | 2- Perpendicular |
| 3- Wipper | 4- Sight Port |
| 5- Total Coliform | 6- Fecal Coliform |
| 7- Pseudomonas Aeruginosa | |



شکل ۶- نمای شماتیک از قسمت های مختلف یک دستگاه گندزدایی آب با پرتوهای فرابنفش



شکل ۷- دستگاه نصب شده در مدار اصلی تصفیه آب استخر شنا جهت گندزدایی آب با پرتوهای فرابنفش با نمایی از سیستم
تنظیم لوله کوارتز و نمایش فشار کارکرد دستگاه



شکل ۸- بهره برداری از دستگاه UV به حالت پایلوت جهت بررسی عملکرد دستگاه در غلظت های مختلف میکروبی

جدول ۱- آنالیز فیزیکوشیمیایی آب استخر شنا و منابع آبی مورد استفاده

| ردیف | مشخصه اندازه گیری شده | واحد اندازه گیری | آب استخر | آب شبکه شهری | آب چاه |
|------|-----------------------|------------------------|----------|--------------|--------|
| ۱ | کل مواد معلق (TSS) | mg/l | ۲۶ | ۸ | ۲۸ |
| ۲ | کل مواد محلول * (TDS) | mg/l | ۸۱۰ | ۴۲۰ | ۵۸۰ |
| ۳ | کدورت | NTU | ۴ | ۳ | ۶ |
| ۴ | آهن | mg/l | ۰/۰۱۵ | - | ۰/۰۷۲ |
| ۵ | منگنز | mg/l | - | - | ۲/۴۸ |
| ۶ | سختی کل (TH) | mg/l CaCO ₃ | ۳۰۰ | ۱۹۰ | ۲۶۰ |
| ۷ | سختی کلسیم (CH) | mg/l CaCO ₃ | ۲۱۰ | ۱۰۰ | ۱۸۰ |
| ۸ | قلیائیت کل | mg/l CaCO ₃ | ۱۲ | ۹۲ | ۱۹۸ |
| ۹ | هدایت الکتریکی ** | μS/cm | ۱۲۴۰ | ۴۸۰ | ۶۸۰ |
| ۱۰ | دما | °C | ۲۹ | ۲۲ | ۲۵ |
| ۱۱ | pH | - | ۶/۷ | ۷/۵ | ۷/۲ |
| ۱۲ | اکسیژن محلول (DO) ** | mg/l | ۶/۲ | ۶/۴ | ۳/۸ |
| ۱۳ | COD | mg/l | ۲۱ | ۴ | ۴۱ |

* باقیمانده تبخیر در ۱۸۰°C

** در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد

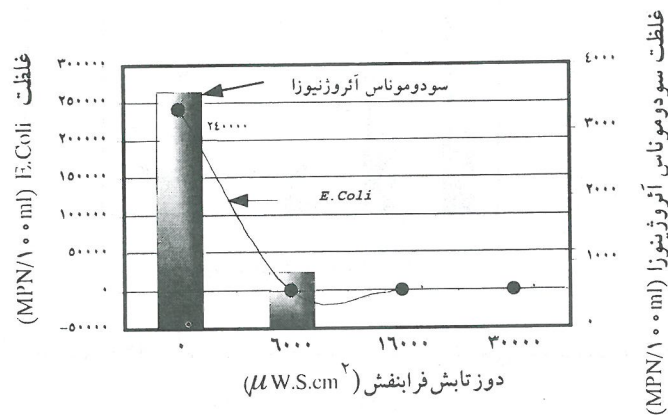
جدول ۲- گذردهی، شفافیت و عمق مؤثر نفوذ (d_{eff}) در منابع آب استخر برای پرتوهای فرابنفش (UV-C)

| منبع آب | مشخصه | میزان عبور UV (در یک سانتی متر ضخامت آب) | میزان شفافیت % (در یک سانتی متر ضخامت آب) | μ (cm ⁻¹) | عمق مؤثر نفوذ (d _{eff}) cm |
|-----------|--------|--|---|-----------------------|--------------------------------------|
| شبکه شهری | ۰/۷۳۷۵ | ۷۳/۷۵ | ۰/۱۳۲۲ | ۷/۵۶ | |
| چاه | ۰/۷۱۶۴ | ۷۱/۶۴ | ۰/۱۴۴۸ | ۶/۹۰ | |
| استخر | ۰/۷۱۲۱ | ۷۱/۲۱ | ۰/۱۴۷۴ | ۶/۷۸ | |

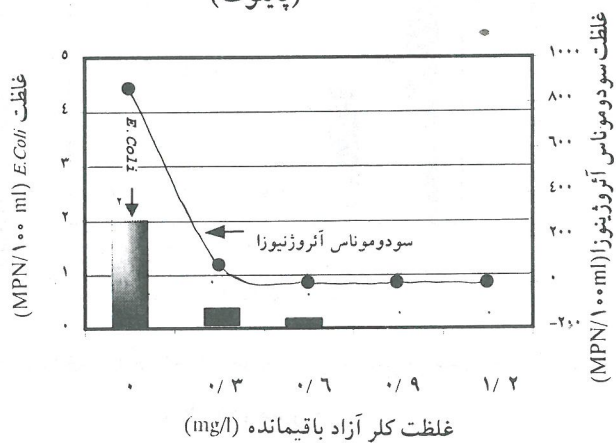
هیدرولیکی وارده بر دستگاه ۱/۴ اتمسفر (۲۱ psi) بود.

این شیوه بهره برداری جهت بررسی کارایی و عملکرد دستگاه جهت تصفیه میکروبی در شرایط واقعی انجام شده است. در این مرحله به علت قرار گرفتن دستگاه در مدار اصلی، ایجاد آلودگی به صورت مصنوعی به علت استفاده شناگران مقدور نمی باشد به همین علت جهت رسیدن به آلودگی نسبی که از نظر استانداردهای موجود قابل قبول بوده و عملکرد دستگاه

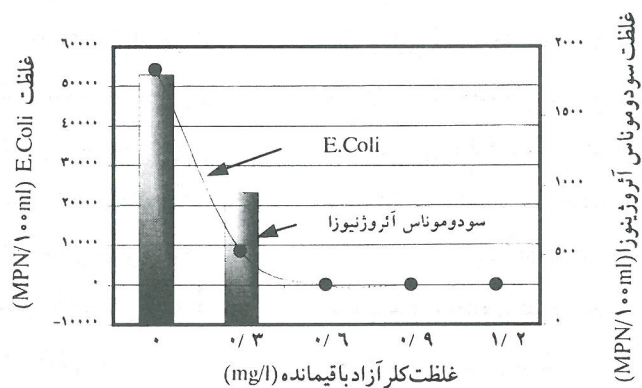
رانیز نشان دهد تزریق کلر به آب به نحوی صورت گرفته است که در آخرین جلسه بهره برداری از استخر، میزان کلر به صفر برسد. این عمل موجب ایجاد آلودگی طبیعی توسط شناگران به صورت موقت و تا حد قابل قبول می شود. (۱۰۰۰MPN/۱۰۰ml) برای مجموع کلیفرمها). نتایج به دست آمده نشان دادند که در این حالت نیز با اعمال دز ۱۶۰۰۰ μ W.s/cm² برای UV، گندزدایی مناسب و مؤثر به دست می آید.



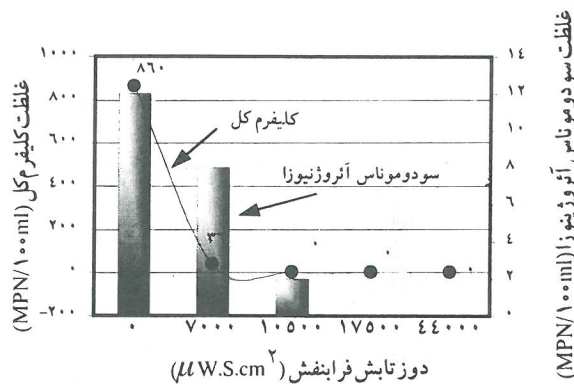
شکل ۹- کاهش تعداد باکتری E.Coli و Pseudomonas Aeruginosa در آب استخر با دزهای مختلف تابشی پرتوهای فرابنفش (پایلوت)



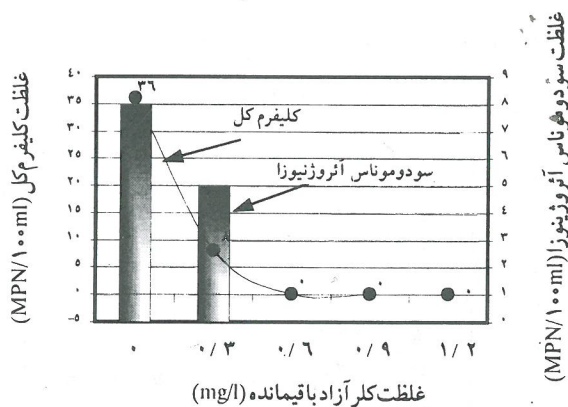
شکل ۱۰- تأثیر غلظت‌های مختلف کلر بر روی E.Coli و Pseudomonas Aeruginosa بعد از گندزدایی آب استخر شنا با دز ۶۰۰۰ μ W.s/cm² پرتوهای فرابنفش (UV/Chlorine)



شکل ۱۱- تأثیر کلر باقیمانده در کاهش آلودگی ثانویه ایجاد شده ناشی از باکتری‌های E.Coli و Pseudomonas Aeruginosa پس از گندزدایی آب با دز تابشی UV-C ۱۶۰۰۰ μ W.s/cm² (پایلوت)



شکل ۱۲- کاهش ارگانسیم های شاخص آلودگی آب استخر در آلودگی طبیعی ایجاد شده و با نصب سیستم در مدار اصلی تصفیه آب



شکل ۱۳- تأثیر کلر آزاد باقیمانده بر روی آلودگی طبیعی موجود در آب پس از گندزدایی آن با دز تابشی $6000 \mu W.s/cm^2$ UV-C (در مدار اصلی)

نتایج و بحث

$16000 \mu W.s/cm^2$ دزی مناسب برای UV است. در شکل ۱۰ نتایج تأثیر غلظت های مختلف کلر آزاد باقی مانده پس از گندزدایی آب با دز $6000 \mu W.s/cm^2$ UV ارائه شده است. به طوری که ملاحظه می شود غلظت $0.6 mg/l$ کلر آزاد باقی مانده موجب از بین رفتن کامل باکتری های باقی مانده پس از پرتوتابی با UV شده است. با احتساب بروز آلودگی ثانویه پس از پرتوتابی آب با $16000 \mu W.s/cm^2$ اشعه فرابنفش، تأثیر غلظت های مختلف کلر در حالتی که سیستم با آب مخزن ذخیره تغذیه شده است در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

شکل های ۱۲ و ۱۳ نتایج حاصل از پرتوتابی آب با دزهای مختلف و نیز غلظت های مختلف کلر در دز $6000 \mu W.s/cm^2$

نتایج به دست آمده از این پروژه تحقیقی نشان دادند که استفاده از پرتوهای فرابنفش توأم با کلر (UV/Chlorine) جهت استخرهای شنا کاملاً مناسب و عملی است. جهت طراحی و نصب سیستم UV لازم است ابتدا تجزیه کیفی آب مورد نظر صورت گیرد. در جدول ۱ تجزیه کیفی آب استخر و منابع آب مورد استفاده و در جدول ۲ میزان شفافیت و عمق مؤثر نفوذ^۱ برای منابع آبی ارائه شده است. در شکل ۹ کاهش تعداد باکتری های شاخص آلودگی آب استخر در حالتی که از مخزن ذخیره جهت آلودگی استفاده شده بود ملاحظه می شود. در این نمودار تأثیر دزهای مختلف UV بر روی کاهش تعداد باکتری ها بررسی شده است. با توجه به نمودار، دز

1- Effective Penetration Depth, d_{eff}

مورد نیز وجود $0/6 \text{ mg/l}$ کلر آزاد باقی مانده در آب استخراج ایجاد آلودگی ثانویه جلوگیری خواهد کرد. شفافیت یا درجه کدورت و تصفیه فیزیکی و شیمیایی آبی که باید گذردایی شود در امر تصفیه بیولوژیک آب با پرتوهای فرابنفش از اهمیت خاصی برخوردار است. به طوری که افزایش کدورت آب باعث افزایش جذب UV در آب شده و ظرفیت تصفیه کاهش خواهد یافت.

را در حالتی که دستگاه در مدار اصلی تصفیه آب قرار گرفته است نشان می دهد. در این مرحله نیز نتایج به دست آمده مطلوب و مطابق با حالت استفاده از مخزن ذخیره (طرح هادی^۱) جهت ایجاد آلودگی در مقیاس بالا با میکروارگانیسم های شاخص آلودگی آب استخراج بود. با توجه به شرایط موجود ظرفیت تصفیه دستگاه $0/9$ مترمکعب در ساعت (۴GPM) به دست آمد. در شرایط عملی بهتر است جهت اطمینان از نحوه عملکرد دستگاه و مسائل پیش بینی نشده، بهره برداری از دستگاه UV با دز $30000 \mu \text{ W.s/cm}^2$ صورت پذیرد. در این

1- Pilot Plant

منابع و مراجع

- 1- Wolf, R.L. (1990). " *Ultraviolet Disinfection of Potable Water* ", Environmental Science & Technology, 24(6): 768-773.
- 2- Crandall, R.A. (1986). " *The Use of Ultraviolet Light in the Treatment of Water in Public Spas and Hot Tubs*", Journal of Environmental Health, 49 (1):16-23.
- 3- DeRobbertis, E.D.P., and De Robbertis, E.M.F. (1980). " *Cell and Molecular Biology* ", Seventh Edition, Holt - Sanders Japan Ltd. pp. 378-381.
- 4- Harris, D. G. (1987). " *Ultraviolet Inactivation of Selected Bacteria and Viruses with Photo Reactivation of the Bacteria* ", Water Res., 21(6): 687-692.
- 5- Reynolds, T. D. (1982). " *Unit Operations and Processes of Environmental Engineering* ", PWS Publishers, pp. 535-536.
- 6- Johnson, I.D. (1975). " *Disinfection of Water and Wastewater* ", Ann Arbor Science Pub. Inc.
- 7- Ellis, K.V. (1991). " *Water Disinfection, A Review with Some Consideraion of the Requirements of Third World* ", Ultraviolet Radiation, Critical Reviews in Environmental Control, Vol.20, Issues 5-6, CRC Press, pp. 370-376.
- 8- Qualls, R.G. and Johnson, I.D. (1985). " *Modelling and Efficiency of Ultraviolet Disinfection Systems* ", Water Res. 19(8): 1039-1046.
- 9- Sommer, R. and Cabaj, A. (1993). " *Evaluation of the Efficiency of a UV Plant for Drinking Water Disinfection*", Wat. Sci. Tech. 27(3-4): 357-362.
- 10- Lorch, W. (1987). " *Handbook of Water Purification* ", Second Edition, Ellis Horwood Limited, pp. 530-595.
- 11- WPCF, (1986). " *Wastewater Disinfection Manual of Practice* ", FD-10, pp. 127-162.
- 12- Cheremisinoff, and Yong. (1975). " *Pollution Engineering Practice Handbook* ", Ann Arbor Science Pub. Inc. pp. 404-411.
- 13- Weber, (1972). " *Physico - Chemical Processes for Water Quality Control* ", John Wiley Inc. pp. 424-425.
- 14- APHA, AWWA, WPCF. (1989). " *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ", 17 th Edition, Unit 9213F and 9221.
- 15- Dingman, J. D., (1990). " *Public Pool Disinfection* ", Journal of Environmental Health, 52(6): 341-343.
- 16- Salavato, I.A. (1992). " *Environmental Engineering and Sanitation* ", John Wiley & Sons, Inc, pp. 1012-1064.