

# شیوه ارزشیابی عملکرد لامپ فرابنفش با روش شیمیایی در گندزدایی آب و فاضلاب

دکتر فروغ واعظی<sup>۱</sup> ، دکتر علیرضا مصداقی نیا<sup>۱</sup> ، دکتر کرامت اله ایماندل<sup>۱</sup> ، بنفشه گلستان<sup>۲</sup>

واژه های کلیدی: پرتو فرابنفش ، پرتونابی ، اکتینومتری ، گندزدایی آب و فاضلاب ، ایران

## چکیده

تغییرات فوتوشیمیایی حاصل از تابش پرتو فرابنفش در طول موج معین بر روی مواد شیمیایی اختصاصی و حساس ، اصول پرتوسنجی و یا اکتینومتری را تشکیل می دهد. در این بررسی عملکرد لامپ فرابنفش به دو روش مورد ارزشیابی قرار گرفت. در روش نخست ، محلول مخلوط پراوکسودی سولفات پتاسیم و بوتانول نوع سوم زیر تاثیر پرتو قرار گرفت و تغییرات pH محلول های اشعه دیده در زمان های مختلف تعیین و رابطه خطی بین آنها مشخص و ترسیم شد. در روش دوم ، محلول اسیدی مولیبدات آمونیم و اتانول زیر تاثیر پرتو قرار گرفت و شدت رنگی آبی ایجاد شده در برابر حجم های مختلف پرمنگنات پتاسیم مصرفی برای از بین بردن رنگ ارزیابی و رابطه خطی بین آنها ، با رسم نمودار ، تعیین و عملکرد لامپ ارزشیابی شد.

یافته های بررسی کنونی نشان می دهند که هرچند روش نخست دقیق تر است ولی روش دوم ، به دلیل آسانی در اجرا ، دستیابی به مواد اولیه و عدم نیاز به هرگونه دستگاه اندازه گیری ، برای ارزیابی عملکرد لامپ های فرابنفش در گندزدایی آب و فاضلاب عملی تر است.

## سرآغاز

در گندزدایی آب و فاضلاب به کمک لامپ های فرابنفش ، برخلاف روش کلرزنی ، کنترل عملیات از راه سنجش باقی مانده گندزدا امکان پذیر نبوده و استناد به نتایج تست های تعیین دانسیته میکروبی آب و پساب نیز ، به دلیل وقت گیر بودن ، منطقی نیست. بنابراین تعیین

۱- گروه بهداشت محیط ، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی ، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران ، صندوق پستی ۱۴۱۵۵-۶۴۴۶.

۲- گروه اپیدمیولوژی و آمار حیاتی دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی ، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران ، صندوق پستی ۱۴۱۵۵-۶۴۴۶.

سریع پیمانه<sup>۱</sup> پرتو در فواصل زمانی پرتوتابی آب یا فاضلاب، تنها روش درست در کنترل عمل گندزدایی و دارای اهمیت فراوان است (۴). بدیهی است پرتوسنجی که تنها با بکارگیری دستگاه رادیومتر امکان پذیر است، به علت نبود دسترسی به این دستگاه، در هر زمان و مکان قابل اجرا نیست. کاربرد مواد شیمیایی حساس به نور برای پرتوسنجی لامپ های فرابنفش، که بر مبنای تغییرات شیمیایی به تناسب میزان پرتو تابیده شده استوار است، برای پایش پیمانه پرتو و عملکرد لامپ در تصفیه خانه های آب و فاضلاب بدون نیاز به رادیومتر، توصیه شده است با اجرای این گونه روش های پرتوسنجی که به اکتینومتری معروفند، شدت تغییر رنگ، تغییر pH و یا دیگر تغییرات فوتوشیمیایی به وجود آمده در محلول های شیمیایی اندازه گیری می شود و باتوجه به زمان پرتودهی محلول، پیمانه پرتو سنجش می شود (۱ و ۲).

### نمونه گیری و روش بررسی

مهمترین وسایل بکار برده شده عبارتند از:

- لامپ کم فشار بخار جیوه با قدرت ۳۰ وات مدل سانکیو- دنگی<sup>۲</sup> به طول ۸۶/۵ و قطر ۲/۷ سانتی متر.

- دستگاه رادیومتر - فوتومتر مدل L-1700 مجهز به دکتور واکيوم - فتودیود.

- دستگاه pH سنج - کرومومتر (ثانیه شمار) - دماسنج و جک آزمایشگاهی

مهمترین مواد شیمیایی بکاررفته عبارتند از: پراوکسودی سولفات پتاسیم - بوتانول نوع سوم، مولیبدات آمونیم - اتانول - پرمنگنات پتاسیم.

- طراحی دستگاه در اشل آزمایشگاه: برای انجام آزمایش های پرتوسنجی لامپ UV درون پوششی از جنس پولیکا به قطر ۵ سانتی متر و با طول مساوی با لامپ داخلی قرار داده شد و روی این لوله پولیکا، دو پنجره مستطیلی شکل هر کدام با مساحت ۸ X ۳ سانتی متر مربع و با فاصله مساوی از مرکز لامپ (۹/۵ سانتی متر) تعبیه گردید.

- تهیه محلول ۰/۰۱ مولار پراوکسودی سولفات: ۰/۶۷۵ گرم پراوکسودی سولفات پتاسیم ( $K_2S_2O_8$ ) را در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر وارد می کنیم. برای کمک به اشیاع اکسیژن در محلول و انحلال کامل نمک، از بهم زن مغناطیسی استفاده شد. سپس ۲/۴ میلی لیتر از الکل بوتیلیک نوع سوم  $[(CH_3)_3COH]$  ضمن هم زدن، در محلول وارد و حجم کلی مخلوط با آب مقطر دی یونیزه به ۲۵۰ میلی لیتر رسید.

- تهیه محلول مولیبدات آمونیم: ۵ گرم هپتامولیبدات آمونیم  $[(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O]$  را در کمی آب مقطر حل و سپس ۲۵ میلی لیتر اسید کلریدریک غلیظ به آن اضافه شد. حجم مخلوط با استفاده از آب مقطر دی یونیزه به یک لیتر رسید و در یک شیشه رنگی نگاه داری

مرحله نخست : اندازه گیری شدت تابش لامپ فرابنفش به روش رادیومتری برای کالیبراسیون: شدت تابش UVB و UVC (تابش جرمیسیدال) لامپ در ابتدا و انتهای بررسی با استفاده از دستگاه رادیومتر اندازه گیری شد. نتایج سنجش در شترنگه (۱) ارائه شده است. پیش از هرباراندازه گیری لامپ به مدت ۳ تا ۵ دقیقه برای گرم شدن و رسیدن به حالت ثابت روشن ماند.

مرحله دوم : اندازه گیری شدت تابش با محلول پراوکسودی سولفات - بوتانل : هر بار ۲۰ میلی لیتر از محلول پرسولفات - بوتانل را در یک بشر ۵۰ میلی لیتری ریخته تا ارتفاع محلول در ظرف به حدود ۲ سانتی متر برسد. ظرف ها در فاصله معین از لامپ مورد تشعشع قرار گرفت و کاهش pH محلول با استفاده از دستگاه pH سنج ، اندازه گیری شد. محلول ها به دلیل ناپایدار بودن در روز آزمایش تهیه شدند.

اطلاعات به دست آمده از سنجش تابش لامپ در شترنگه (۲) ارائه شده است. در مجموع ۲۱ نمونه از محلول اکتینومتر یاد شده در سه فاصله معین از لامپ (۱۰ ، ۲۰ ، و ۴۰ سانتی متری) مورد پرتوتابی قرار گرفت. نمودار یک ارتباط خطی pH ( غلظت یون هیدروژن ) محلول های پراوکسودی سولفات بکار رفته را با زمان پرتوگیری در فاصله ۱۰ سانتی متری از لامپ و نگاره دو رابطه خطی pH محلول های پرتودیده را با پیمانانه پرتو نشان می دهد. دوز پرتو فرابنفش حاصل ضرب زمان پرتوتابی و شدت تابش لامپ است و برحسب میلی وات ثانیه بر سانتی متر مربع بیان می شود. شدت پرتوش در این بخش از آزمایش ها مطابق با مقادیر ارائه شده برای لامپ در پایان دوره بررسی برابراست ( شترنگه ۱).

مرحله سوم : اندازه گیری شدت تابش با محلول مولیبدات - اتانل : در یک بشر ۵۰ میلی لیتری ، به ۵ میلی لیتر محلول مولیبدات ، ۱ میلی لیتر اتانول و ۵ میلی لیتر آب مقطر دی یونیزه اضافه شد تا ارتفاع مایع در ظرف به حدود ۱/۵ سانتی متر برسد. نمونه های تهیه شده طی دوره های زمانی مختلف مورد پرتوش قرار گرفت. از آنجایی که رنگ آبی ایجاد شده بر اثر تشعشع از راه تیترومتری با محلول پرمنگنات پتاسیم از بین نمی رود ، حجم تیرانت منصرغی میخیزی از شدت تابش و پیمانانه پرتو به کاررفته خواهد بود. آزمایش های اکتینومتری با مولیبدات در اتاق تاریک انجام شد. ابتدا برای تعیین زمان مناسب پرتوتابی ، محلول های اکتینومتر طی دوره های زمانی از ۲ تا ۱۲ دقیقه در دو فاصله ۶ و ۲۰ سانتی متری از لامپ ، پرتوتابی شد ( شترنگه ۳ ) و مشخص شد هنگامی که زمان پرتوتابی از ۱۰ دقیقه بیشتراست ، تغییری در میزان پرمنگنات مورد نیاز به وجود نمی آید تیرانت با نرمالیه ۰/۰۰۵ به کاررفت. به عبارت دیگر گسترش رنگ آبی در محلول اکتینومتر به بیشتر از

۱۰ دقیقه زمان تماس با پرتو نیاز ندارد. پس از تعیین زمان مناسب پرتوتابی دوباره ۱۰ نمونه یکسان از محلول اکتینومتر ، این بار در فواصل مختلف از حداقل ۶ تا حداکثر ۴۵ سانتی متری از لامپ ، مورد پرتوش قرار گرفت ( شترنگه ۴ ). نمودار ۳ تبعیت رنگ به وجود آمده از شدت پرتو و نمودار ۴ ارتباط خطی نتایج حاصله را با پیمانه پرتو فرابنفش نشان می دهد. شدت پرتوش اعمال شده ، با مقادیر ارائه شده برای لامپ در ابتدای دوره بررسی برابر است ( شترنگه ۱ ).

### یافته ها و گفتگو و بهره گیری پایانی

در روش اکتینومتری با محلول پراکسودی سولفات اساس کار تولید اسید سولفوریک از مخلوط محلول های پراکسودی سولفات بابتانل نوع سوم متناسب با میزان پرتوگیری از لامپ بخار جیوه است. در حقیقت مهمترین برتری این روش حساسیت ویژه محلول اکتینومتر در برابر طول موج ۲۵۴ نانومتر ، یا تابش عمده لامپ های فرابنفش است (۳). شترنگه (۲) نشان می دهد که در فاصله معین از لامپ با افزایش زمان پرتو تابی ، pH محلول اکتینومتر به شدت کاهش پیدا می کند. برای آسانی در پیدا کردن روابط خطی مورد نظر ، غلظت یون هیدروژن محلول های اکتینومتر محاسبه و میزان تغییرات پرتون تولید شده برحسب زمان و پیمانه پرتو رسم شده است.

در روش اکتینومتری با محلول مولیبدات - اتانول تغییر رنگ مخلوط محلول های یاد شده متناسب با میزان پرتوش فرابنفش اساس کار را تشکیل می دهد. شدت رنگ آبی ایجاد شده به راه های مختلف درخور اندازه گیری است. در بررسی کنونی محلول رنگی با استفاده از محلول رقیق پرمنگنات پتاسیم تا از بین رفتن کامل رنگ آبی ( برگشت رنگ اولیه) تیتیر شده و حجم تیترانت مورد نیاز به عنوان شاخصی از شدت نور منبع تابش در نظر گرفته شده است (۲). نمودار (۴) رابطه خطی نتایج را با پیمانه پرتو نشان می دهد.

با دراختیار داشتن هر کدام از نمودارهای (۲) و (۴) ، تعیین شدت و پیمانه پرتو در عملیات گنلزدایی با لامپ های فرابنفش ، به صورتی قابل اطمینان و نسبتاً ارزان ، امکان پذیر خواهد بود.

پیمانه سنجی با استفاده از مواد شیمیایی که دراین بررسی به کار رفته است به ویژه برای تصفیه خانه های آب و فاضلاب در جوامع کوچک و دور افتاده ، که معمولاً در یک کشور شمار آنها بیشتر از واحدهای تصفیه با ظرفیت زیاد است ، از رادیومتری مناسب تر و با صرفه تر است با توجه به اینکه گنلزدایی فاضلاب با پرتوفرابنفش بر روش مرسوم کلرزنی برتری دارد ، با استفاده از روشی که دراین بررسی برای پرتوسنجی پیشنهاد شد می توان به سرعت پیمانه پرتو را تعیین و نتیجه گنلزدایی را پیش بینی کرد.

از آنجایی که دراین بررسی منحنی های کالیبراسیون اکتینومتری در شرایط کار با واحد

گندزدایی بدون تماس بدست آمده ، در صورت نیاز به تعیین شدت پرتو در واحدهای غوطه ور کافی است که محلول اکتینومتر را در یک کووت از جنس کوارتز ریخته و برای مدت معین در برابر پنجره بازرسی واحد قرار داد. در گندزدایی فاضلاب حداقل پیمانه پرتو مورد نیاز برای تضمین عملکرد گندزدایی ۳۰ میلی وات - ثانیه بر سانتی متر مربع است که باید در دورترین بخش از واحد غوطه ور تامین شود. به این ترتیب با توجه به زمان انتخاب شده برای پرتو دهی اکتینومتر و پیمانه به دست آمده از نمودارهای (۲) و (۴) ، می توان به کمک هر یک از دو روش پیشنهاد شده ، از چگونگی عملکرد لامپ ها و کارایی گندزدایی اطمینان حاصل کرد.

نکته درخور اشاره در بررسی کنونی سنجش مجموع میزان پرتوش UVB و UVC به وسیله رادیومتر است. به عبارت دیگر از آنجایی که اندازه گیری به تفکیک پرتو ۲۵۴ نانومتر امکان پذیر نبود ، به ناچار کالیبراسیون روش های اکتینومتری با استناد به نتایج سنجش رادیومتری انجام شد. نکته دیگری که باید به آن توجه شود ، تاثیر تغییر کیفیت آب مقطر بر نتایج کار اکتینومتری است. به بیان دیگر نتایج آزمایش هایی که با استفاده از دو نوع متفاوت آب مقطر انجام شده اند غالباً با یکدیگر مشابه و درخور مقایسه نخواهند بود. بنابراین پیشنهاد می شود که عمل پایش شدت نور لامپ های UV ، از ابتدا تا پایان عمر مفید یک لامپ ، با استفاده از آب مقطر و همچنین مواد شیمیایی با کیفیت ثابت انجام شود.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از آقای مهندس شاهرخ نظم آرا ، کارشناس آزمایشگاه بهداشت محیط، به خاطر همکاری موثر در مراحل کار آزمایشگاهی در این بررسی ، سپاسگزاری می شود.

شماره ۱- شدت تابش لامپ فرابنفش در ابتدا و پایان دوره بررسی در فواصل مختلف از لامپ ، به وسیله دستگاه رادیو متر

۱۲۰	۱۰۰	۸۰	۶۰	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	۲۰	۱۵	۱۰	*۶	فاصله از لامپ ( سانتی متر)
۵۰	۶۷	۹۱	۱۴۰	-	۲۸۰	-	۵۷۰	۵۸۰	۸۰۰	۱۱۰۵	۲۰۰۰	شدت تابش اولیه جرمیسیدال ** (میکرووات بر سانتی متر مربع)
۳/۴	۵	۶/۶	۱۰	۱۷/۵	۲۰/۵	۵۸/۷	۶۷	۱۳۶/۴	۲۱۱	۴۶۰	۸۸۳	شدت تابش نهایی جرمیسیدال ** (میکرووات بر سانتی متر مربع)

\* کوناهاترین فاصله قابل تعیین به وسیله دکتور ، در ابتدای بررسی

\*\* مجموع رادیاسیون UVB و UVC برای نقطه ای از لامپ که در فاصله ۱۲ سانتی متری از مرکز لامپ بوده در دمای ۲۵<sup>o</sup> C سنجش شده است.

شترنگه ۲- مقادیر pH محلول‌های پراکسودی سولفات پتاسیم - بوتانل پرتوتابی شده طی دوره‌های زمانی مختلف و فواصل معین از لامپ

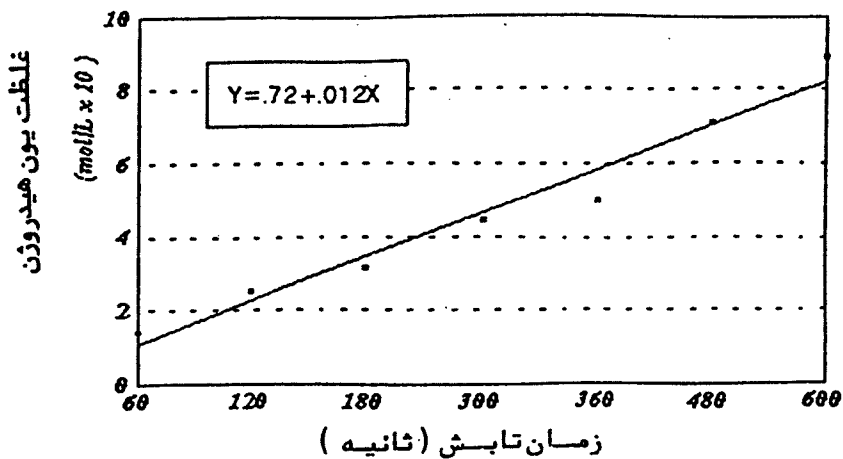
زمان (ثانیه)	۶۰	۱۲۰	۱۸۰	۳۰۰	۳۶۰	۴۸۰	۶۰۰
فاصله از لامپ	--- pH ---						
۱۰ سانتی‌متر	۳/۸۵	۳/۶	۳/۵۰	۳/۳۵	۳/۳۰	۳/۱۵	۳/۰۵
۲۰ سانتی‌متر	۴/۱۰	۴/۰	۳/۹۰	۳/۸۰	۳/۷	۳/۶۵	۳/۵۵
۴۰ سانتی‌متر	۴/۲۰	۴/۱۵	۴/۱۰	۴/۰۵	۴/۰	۳/۹۵	۳/۹۰

شترنگه ۳- نتایج تیتراسیون محلول‌های مولیدات آمونیم - اتانل پرتوتابی شده در زمان‌های مختلف و فواصل مختلف و فواصل معین از لامپ

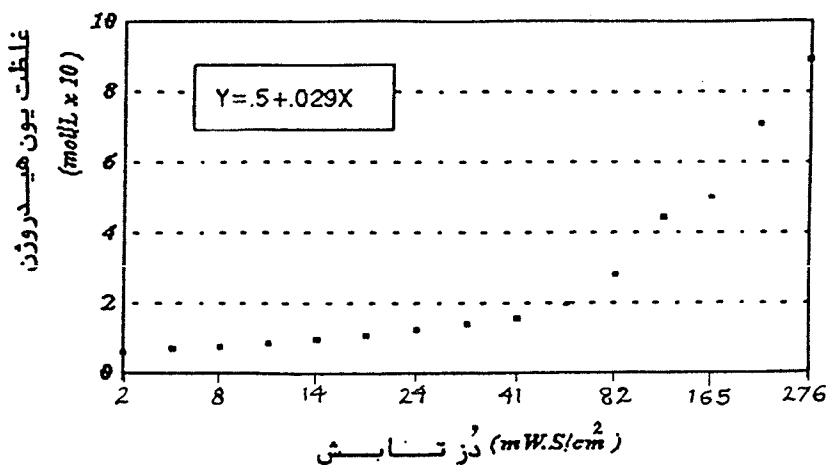
زمان (دقیقه)	۲	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۲
فاصله از لامپ	حجم پرمنگنات پتاسیم مصرفی برای محور رنگ محلول‌ها								
۶ سانتی‌متر	۱/۸	۲/۸	۳/۴	۳/۵	۳/۶	۳/۷	۳/۷۵	۳/۸	۳/۸
۲۰ سانتی‌متر	۰/۲	۰/۴	۰/۵	۰/۶	--	۰/۶۵	۰/۷	۰/۸	۰/۸

شترنگه ۴- نتایج تیتراسیون محلول‌های پرتودیده از مولیدات - اتانل با پرمنگنات پتاسیم در فواصل مختلف از لامپ در زمان ۱۰ دقیقه

فاصله از لامپ (cm)	۶	۸	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵
حجم پرمنگنات مصرفی (ml)	۳/۸	۲/۵	۲/۳	۱/۲	۰/۸	۰/۷	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۴	۰/۴

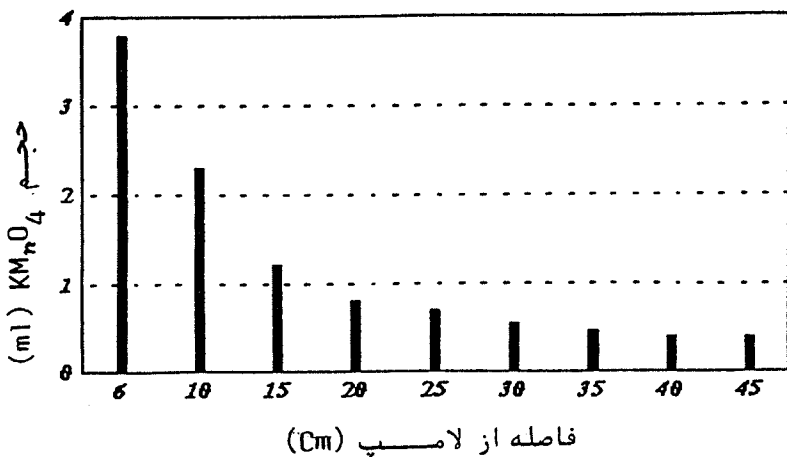


نمودار ۱ - ارتباط زمان پرتوتابی با تغییرات  $[H^+]$  pH محلول های پراوکسودی سولفات پتاسیم پرتودیده در فاصله ۱۰ سانتی متری از لامپ

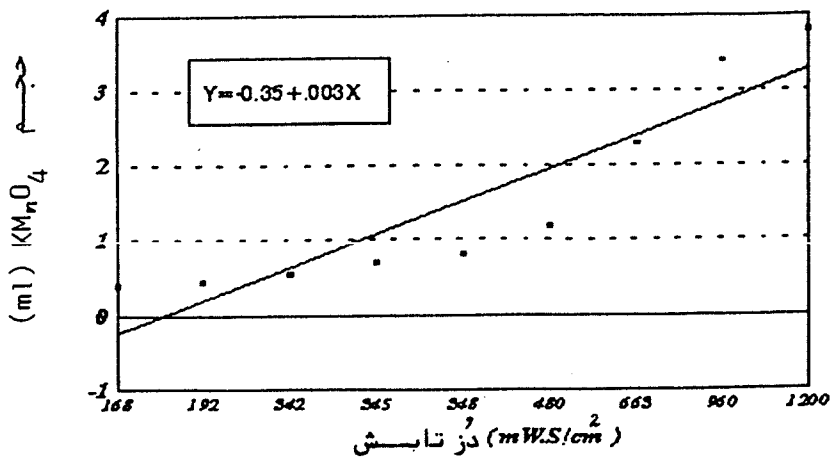


نمودار ۲ - ارتباط پیمانانه تابش فرابنفش و  $[H^+]$  pH محلول های پراکسودی سولفات پتاسیم پرتودیده در فواصل معین از لامپ





نمودار ۳ - تغییر حجم محلول پرمنگنات پتاسیم مصرفی برای از بین بردن رنگ محلول های مولیبدات - اتانول پرتودیده برحسب فاصله از لامپ ( زمان تماس = ۱۰ دقیقه )



نمودار ۴ - ارتباط پیمانه تابش فرابنفش با حجم محلول پرمنگنات پتاسیم مصرفی برای از بین بردن رنگ محلول های مولیبدات - اتانول پرتودیده در فواصل مختلف از لامپ

## کتابنامه

- 1-Moseley , H. (1988): Non-Ionizing Radiation , Adam Hilger Bristol and Philadelphia p-110-151.
- 2-Radley , J.A. and Grant , J. (1954): Fluorescence Analysis in UV Light , Chapman & Hall LTD. P. 43-48.
- 3-Schuchmann , M.G. , Schuchmann , H.P. and Sonntag , C. (1990): A Chemical Actinometer for Use in Connection with UV Treatment in Drinking Water Processing , J. Aqua , 39 (5) , P. 309-313. London.
- 4-WPCF (1986): Wastewater Disinfection , Manual of Practice-FD-10 , chapter 7.