مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان/ دوره شانزدهم/ بهار ۱۳۹۰/ ۴۷-۳۸

# مقایسه کارآیی فرآیندهای فتوشیمیایی و سونوشیمیایی توأم با پراکسید هیدروژن در حذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ از محیط‌های آبی: مطالعه کینتیکی

**رضا رضایی[۱]، افشین ملکی[۲]، مهدی شیرزاد سیبنی[۳]، مرضیه رحیمی[۴]، مهناز محمدی[۴]**

۱- مربی، مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران

۲- دانشیار، مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران

۳- مربی، مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران (مؤلف مسؤول)

تلفن: ۰۸۷۱-۶۶۲۶۹۶۹ mehdi_dshirzad@yahoo.com

۴- کارشناس مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران

## چکیده

***زمینه و هدف:*** یکی از عمده‌ترین آلاینده‌ای محیط زیست که در پساب صنایع مختلف از جمله نساجی وجود دارند رنگها می‌باشند که برای انسان و محیط زیست آلودگی ایجاد کرده‌اند. لذا هدف از این تحقیق، بررسی کارآیی فرآیندهای فتوشیمیایی و سونوشیمیایی توأم با پراکسید هیدروژن در حذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ از محیط های آبی در سیستم ناپیوسته بود.

***روش بررسی:*** این تحقیق یک نوع مطالعه تجربی- آزمایشگاهی بود، ابتدا طراحی و ساخت راکتور صورت گرفت. سپس pH اپتیمم در شرایط ثابت در سیستم مورد مطالعه تعیین گردید که به ترتیب برابر با ۷ و ۳ برای فرآیند فتوشیمیایی و سونوشیمیایی بود. سپس با ثابت نگه داشتن pH اپتیمم، تأثیر غلظت اولیه پراکسید هیدروژن، رنگزای آبی مستقیم ۷۱ و زمان تماس، بررسی گردید. آنالیز و تفسیر داده‌ها نیز با استفاده از نرم افزار اکسل و ضریب رگرسیون انجام شد.

***یافته‌ها:*** نتایج مشخص ساخت که کارآیی حذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ با افزایش غلظت اولیه رنگزای آبی مستقیم ۷۱، کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش زمان تماس و مقدار اولیه پراکسید هیدروژن، کارآیی حذف افزایش یافت. دیگر یافته‌ها نشان داد که داده‌های کینتیکی از معادله درجه یک (Langmuir-Hinshelwood) بهتر پیروی می‌کند.

***نتیجه‌گیری:*** بطور کلی نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که می‌توان از فرآیندهای فتوشیمیایی و سونوشیمیایی توأم با پراکسید هیدروژن بعنوان یک روش مؤثر در حذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ از محیط‌های آبی استفاده نمود. همچنین در مقایسه با دو فرآیند ذکر شده، استفاده از فرآیند فتوشیمیایی توأم با پراکسید هیدروژن با توجه به کارایی حذف و همچنین قابل دسترس بودن بعنوان یک روش مؤثر و سریع جهت حذف رنگ‌ها از محیط‌های آبی پیشنهاد می‌گردد.

***کلید واژه‌ها:*** رنگزای آبی مستقیم ۷۱، فرآیند پراکسید هیدروژن/ فتوشیمیایی، فرآیند پراکسید هیدروژن/سونوشیمیایی، محیط‌های آبی، سینیتیک

وصول مقاله: ۸۹/۹/۱ اصلاحیه نهایی: ۸۹/۱۰/۱۵ پذیرش مقاله: ۸۹/۱۰/۲۲

## مقدمه

مصرف رنگ در صنایع نساجی دنیا بیش از ده هزار تن در سال تخمین زده می‌شود که با این میزان مصرف، سالیانه ۱۰۰۰ تن از رنگ مصرفی وارد پساب این صنایع می‌گردد. با تخلیه ترکیبات رنگی در آبهای پذیرنده میزان اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)[1] آب نیز افزایش می‌یابد (۱). رنگها همچنین سبب ممانعت از انتقال کامل نور به داخل آب شده و در نتیجه موجب کاهش عمل فتوسنتز و متعاقب آن کاهش

1. Biochemical Oxygen Demand

[ Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-10 ]

اکسیژن محلول در آب می‌گردند. علاوه بر آن اکثر رنگ‌های مصرفی صنایع نساجی منشأ آلی داشته و عمدتاً از نمک‌های دی آزو (Diazo)، فتالوسیانین (Phthalocyanine) و آنتراکینون (Anthroquinone) که دارای حلقه بنزن می‌باشند، تشکیل شده‌اند که می‌تواند سمی و سرطانزا باشند (۲). بنابراین حذف رنگ از این گونه پساب‌ها ضرورت خاصی خواهد داشت. با توسعه و گسترش صنایع تولید رنگ‌های نساجی، رنگ‌های جدیدی وارد بازار شده‌اند که خواص رنگرزی بهتری دارند. بهبود کیفیت رنگ‌ها، ناشی از پایداری ساختارهای مواد رنگزای مورد استفاده بوده که سبب مقاوم شدن آنها در برابر تجزیه بیولوژیکی و شیمیایی می‌گردد. اکثر رنگهای مورد استفاده صنایع نساجی به دلیل ایجاد کمپلکس‌های قوی، غیر قابل تجزیه بیولوژیکی می باشند، رنگزای آبی مستقیم ۷۱ با فرمول شیمیایی ($C_{40}H_{23}N_7Na_4O_{13}S_4$) از گروه تری آزو بوده که شکل آزوی آن گونه غالب در محیط‌های آبی می‌باشد (۳). تحقیقات زیادی بر روی حذف رنگ‌ها، انجام شده و بسیاری از فرآیندهای تصفیه مورد بررسی قرار گرفته است (فرآیند قلیایی کردن، کلرزنی، اکسیداسیون با هوا و فرآیندهای غشایی مانند اسمز معکوس و الکترودیالیز). فرآیندهای تصفیه متداول فاضلاب مانند جذب سطحی، روش مؤثری برای حذف رنگها محسوب نمی‌گردد. همچنین این روشها معمولاً تولید مقادیر قابل توجهی لجن می‌نمایند که مشکلات زیست محیطی دیگری را بدنبال خواهد داشت و در غلظتهای کم، کینتیک واکنش کند بوده و میزان غلظت باقیمانده رنگ هنگام تخلیه خیلی بیشتر از حد مجاز خواهد بود. فرآیندهای غشایی نیز اغلب هزینه بر بوده و راهبری آنها نیاز به نیروی متخصص دارد. وجود چنین مشکلاتی همواره محققین را برآن داشته که به دنبال روشهای جدید در این زمینه باشند. امروزه فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته به دلیل کارایی بسیار بالا و همچنین عدم ایجاد آلودگی‌های ثانویه بسیار مورد توجه قرار گرفته و برای حذف انواع مختلفی از آلایندها از قبیل مواد آلی و رنگها مورد استفاده قرار می‌گیرند (٤). در فرآیند اکسایش پیشرفته با استفاده از تولید رادیکال هیدروکسیل (OH) ترکیباتی که بوسیله اکسیدکننده‌های متداول از قبیل ازن و کلر، اکسید نمی‌شوند از بین می‌برد. رادیکال هیدروکسیل در محیط‌های آبی با استفاده از $H_2O_2/Fe$ (فنتون)، $UV/TiO_2$، $UV/ZnO$ ، $UV/\ H_2O_2$ (فتوشیمیایی) و $US/H_2O_2$ (سونوشیمیایی) تولید می‌شود. از بین این روشها استفاده از فرآیند فتوشیمیایی و سونوشیمیایی می‌تواند بطور همزمان ترکیبات آلی و فلزات سنگین را احیاء و ترکیبات غیر قابل تجزیه بیولوژیکی را به ترکیبات قابل تجزیه بیولوژیکی تبدیل کند (۱۰-۵).

هدف از این تحقیق بررسی کارآیی فرآیندهای فتوشیمیایی و سونوشیمیایی توأم با پراکسید هیدروژن درحذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ از محیط‌های آبی در سیستم ناپیوسته بود. همچنین کینیتیک واکنش با استفاده از معادله درجه یک (Langmuir-Hinshelwood) تعیین گردید.

## روش بررسی

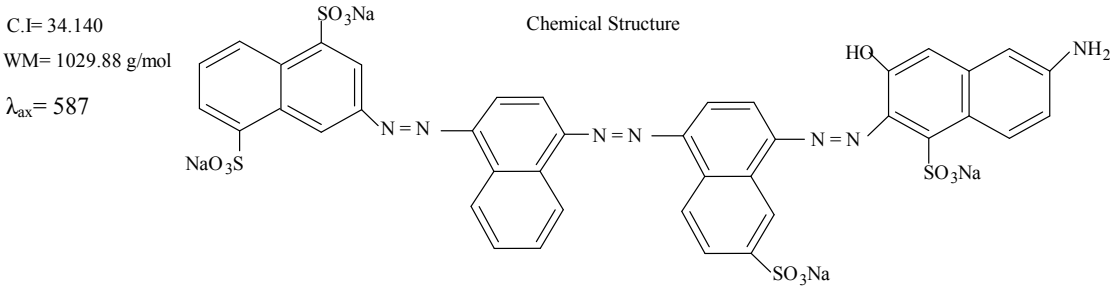
این مطالعه از نوع تجربی- آزمایشگاهی بود، که در سیستم ناپیوسته در دانشگاه علوم پزشکی کردستان، آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت انجام گردید. به طور کلی مراحل تحقیق به شرح زیر بوده است.



[ Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-10 ]

**تهیه مواد شیمیایی مورد نیاز**

رنگزای آبی مستقیم ۷۱ از شرکت الوان ثابت و بقیه مواد شیمیایی مورد نیاز از شرکت (Merck) آلمان تهیه گردید. ماده اکسیدکننده مورد استفاده در این مطالعه پراکسید هیدروژن ($H_2O_2$) ۳۰٪ (Merck) بود. ساختار رنگ با فرمول شیمیایی ($C_{40}H_{23}N_7Na_4O_{13}S_4$) در شکل ۱ نشان داده شده است.

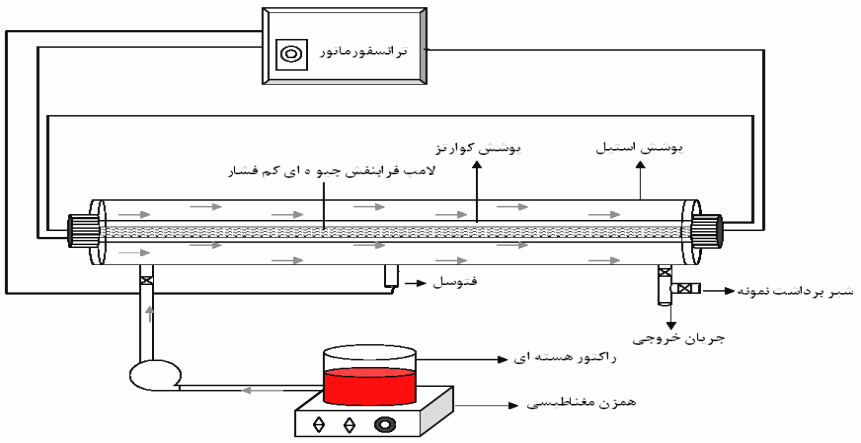



**شکل ۱: ساختار رنگزای آبی مستقیم ۷۱ با فرمول شیمیایی ( $C_{40}H_{23}N_7Na_4O_{13}S_4$)**

**طراحی و ساخت راکتور $UV/H_2O_2$ و $US/H_2O_2$**

شماتیک راکتور $UV/H_2O_2$ در شکل ۲ (الف) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود راکتور مورد مطالعه از دو قسمت تشکیل شده است. قسمت بیرونی که مجهز به همزن جهت اضافه کردن محلول رنگ و آب اکسیژنه می‌باشد، قسمت درونی برای نگهداشتن لامپ UV با پوشش کوارتز تعبیه گردیده است.

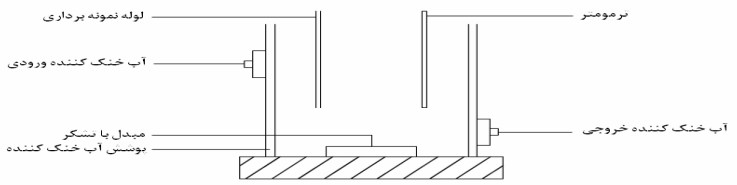
منبع تابش یک لامپ فرابنفش جیوه‌ای کم فشار ۵۵ وات (UV-C) ساخت شرکت Philips می‌باشد. شماتیک راکتور $US/H_2O_2$ در شکل ۲ (ب) نشان داده شده است. منبع تابش امواج فراصوت یک دستگاه سونوراکتور مجهز شده به یک مبدل صفحه‌ای ۴۲ کیلو هرتز با توان ۱۷۰ وات در مقیاس آزمایشگاهی بود.




**(الف)**



[ Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-10 ]




**(ب)**

**شکل ۲: شماتیک راکتور $UV/H_2O_2$ (الف) و $US/H_2O_2$ (ب)**

**تهیه محلول استوک رنگزای آبی مستقیم ۷۱**

محلول مادر رنگزای آبی مستقیم ۷۱ (۱۰۰۰mg/l) با استفاده از حل کردن ۱g/l رنگزای آبی مستقیم ۷۱ در آب بدون یون تهیه شد. برای جلوگیری از تغییرات غلظت، محلول مادر رنگزای آبی مستقیم ۷۱ در یخچال نگه‌داری شد. جهت تنظیم pH از اسید کلریدریک و سود یک نرمال استفاده گردید.

**آزمایشات در ستون ناپیوسته**

عوامل مورد بررسی در این پژوهش شامل مقدار اولیه $H_2O_2$ (۵۰mmol، ۳۰، ۲۵، ۱۰، ۵) غلظت اولیه رنگزای آبی مستقیم ۷۱ (۱۰،۲۰،۳۰،۵۰،۷۰mg/l)، pH اولیه (۳،۵،۷،۹،۱۱) و زمان تماس ۱۵-۲ و ۱۸۰-۱۵ دقیقه به ترتیب در فرآیند $UV/H_2O_2$ و $US/H_2O_2$ می‌باشند. برای آغاز آزمایشات ابتدا pH بهینه در شرایط ثابت برابر با (غلظت رنگزای آبی مستقیم ۷۱ ۳۰mg/l و غلظت هیدروژن پروکساید ۲۵ میلی مولار) با تغییر در مقدار pH در محدوده (۳،۵،۷،۹،۱۱) به ترتیب برابر با ۷، ۳ برای فرآیند $UV/H_2O_2$ و $US/H_2O_2$ تعیین شد. بعد از تعیین pH اپتیمم آزمایشات با ثابت نگه داشتن سه متغیر و تغییر دادن یک متغیر انجام گردید. (برای مثال در pH اپتیمم، و غلظت ثابت هیدروژن پروکساید در سیستم مورد مطالعه، غلظت‌های مختلف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ به راکتور اضافه گردید و در زمانهای تماس مشخص، ۵ ml از محلول جهت تعیین غلظت باقیمانده رنگ برداشته شد). برای اجتناب از برخورد نور خورشید همه نمونه‌ها با فویل آلومینیوم پوشیده شد. سپس غلظت باقیمانده رنگزای آبی مستقیم ۷۱ توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-VIS 1700 Simadzo, Japan) در طول موج ۵۸۷ نانومتر بر اساس کتاب روشهای استاندارد (۱۱) برای آزمایشات آب و فاضلاب اندازه‌گیری گردید. آنالیز و تفسیر داده‌ها نیز با استفاده از نرم افزار اکسل و ضریب رگرسیون انجام شد. همچنین به علت اینکه غلظت اولیه رنگزای آبی مستقیم ۷۱ در این مطالعه پایین بود کینیتیک واکنش با معادله شبه درجه یک Hinshelwood–Langmuir (۱۲و۱۳) توصیف شد. این معادله به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$d[C_0/d_t] = K_1 t$$

این معادله به صورت زیر، خطی می‌شود.

$$Ln\,[C_0/C_t] = K_1 t$$

$K_1$ = ثابت سینتیک $(1/min)$

$T$ = زمان تشعشع $(min)$

$C_t$ = غلظت رنگزای آبی مستقیم ۷۱ در زمان t $(mg/l)$

$C_0$ = غلظت اولیه رنگزای آبی مستقیم ۷۱ در زمان 0 $(mg/l)$

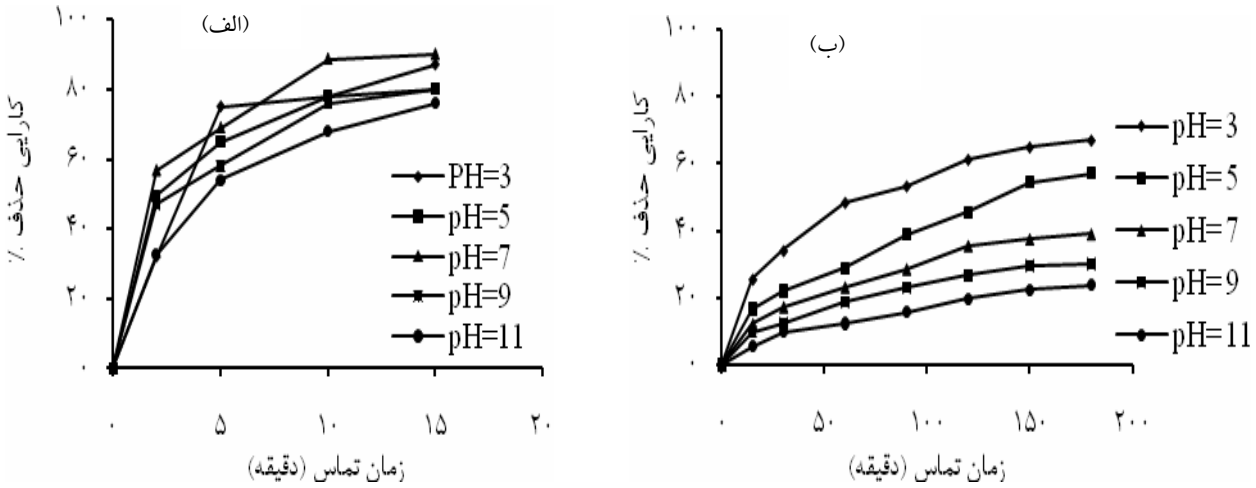


[ Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-10 ]

## یافته‌ها

### تأثیر pH برروی کارایی حذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ در سیستم مورد مطالعه و تعیین pH اپتیمم

تأثیر pH اولیه محلول بر کارایی حذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ با تغییر pH اولیه محلول (۳،۵،۷،۹،۱۱) تحت شرایط ثابت غلظت اولیه رنگزای آبی مستقیم ۷۱ ۳۰ mg/L و غلظت هیدروژن پروکساید ۲۵mmol و مقدار ثابت منعقد کننده ۱۰۰mg/l در زمانهای مختلف بررسی شد در نمودار ۱ (الف) و (ب) نتایج حاصل از تأثیر pH بروی کارایی حذف در فرآیند $UV/H_2O_2$ (الف) و $US/H_2O_2$ (ب) نشان داده شده است. همانطوری که مشاهده می‌گردد با افزایش pH از ۳ به ۱۱ کارایی حذف در $UV/H_2O_2$ و $US/H_2O_2$ به ترتیب از ۸۷٪ به۷۶٪ و از ۶۷ به ۲۷/۳٪ کاهش یافت. در سیستم مورد مطالعه pH اپتیمم به ترتیب برابر با ۷ و ۳ تعیین گردید.



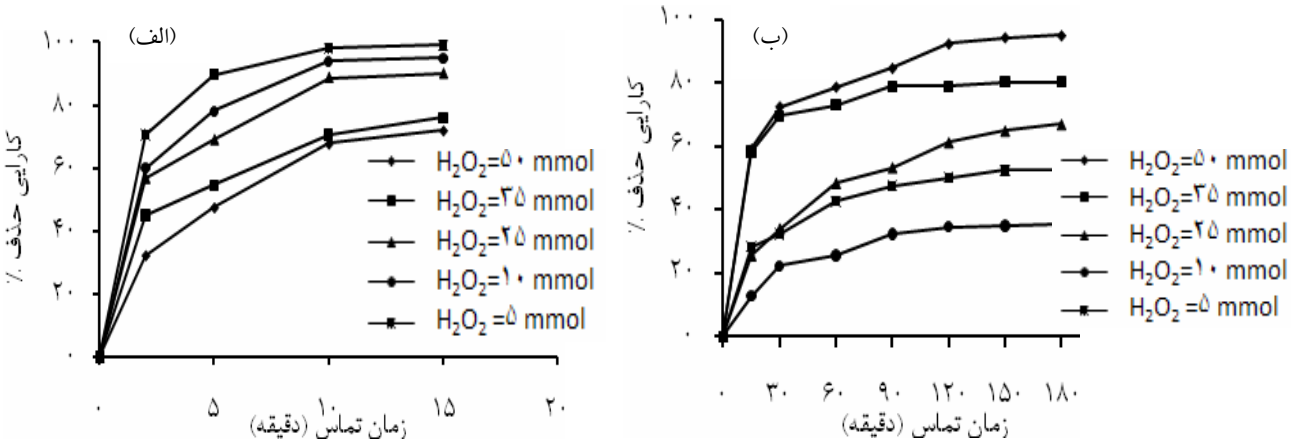

**نمودار۱: تأثیر pH اولیه محلول بر کارایی حذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ در فرآیند $UV/H_2O_2$ (الف) و $US/H_2O_2$ (ب) (غلظت اولیه رنگزای آبی مستقیم ۷۱ ۳۰ mg/L و غلظت اولیه هیدروژن پروکساید ۲۵ mmol)**



[ Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-10 ]

**تأثیر مقدار اولیه $H_2O_2$ بر روی کارایی حذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ در سیستم مورد مطالعه**

تأثیر غلظت اولیه هیدروژن پروکساید بر کارایی حذف در سیستم مورد مطالعه با تغییر در غلظت اولیه هیدروژن پروکساید (۵۰mmol، ۳۰، ۲۵، ۱۰، ۵) در شرایط ثابت غلظت اولیه رنگزای آبی مستقیم ۷۱ ۳۰mg/l و pH ۷ و۳ به ترتیب درفرآیند UV/ $H_2O_2$ و US/$H_2O_2$ در زمانهای مختلف بررسی شد. در نمودار ۲ نتایج حاصل از تأثیر غلظت هیدروژن پروکساید در فرآیند UV/ $H_2O_2$ (الف) و US/$H_2O_2$ (ب) بر روی کارایی حذف نشان داده شده است. همانطور که از نمودار پیدا است کارایی حذف با افزایش غلظت اولیه هیدروژن پروکساید در هر دو فرآیند افزایش یافت. به طوری که وقتی غلظت اولیه هیدروژن پروکساید از ۵ mmol به ۵۰mmol افزایش یافت کارایی حذف از ۷۲٪ به ۹۹٪ و از ۳۵/٤٪ به ۹۵٪ به ترتیب در فرآیند UV/ $H_2O_2$ و US/$H_2O_2$ افزایش یافت.



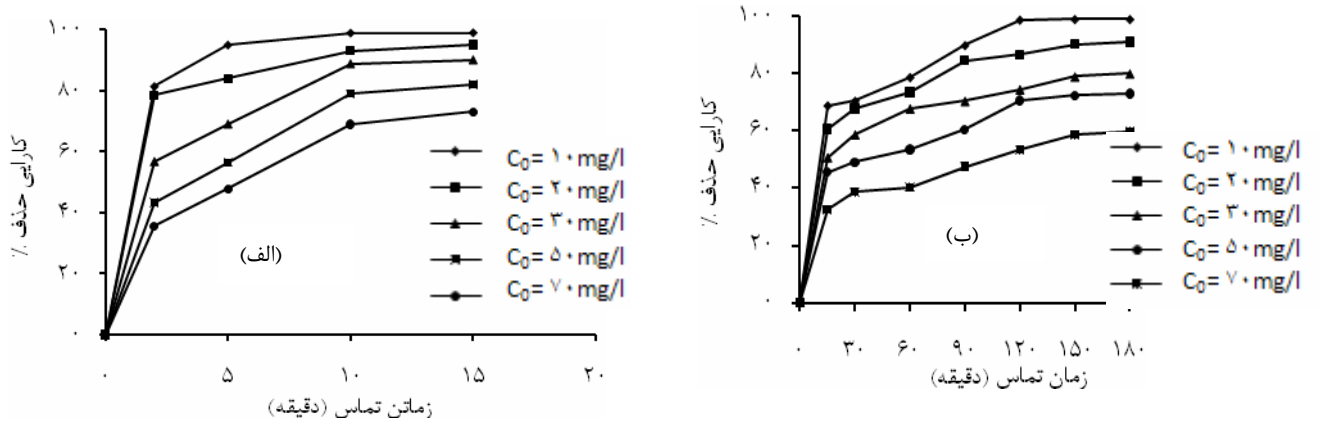

**نمودار۲: تاثیر غلظت اولیه هیدروژن پروکساید بروی کارایی حذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ در فرآیند UV/ $H_2O_2$ (الف) و US/$H_2O_2$(ب) (غلظت اولیه رنگزای آبی مستقیم ۷۱ ۳۰mg/l و pH برابر با ۷ و ۳)**

**تأثیر غلظت اولیه رنگزای آبی مستقیم ۷۱ بر روی کارایی حذف در سیستم مورد مطالعه**

تأثیر غلظت اولیه رنگزای آبی مستقیم ۷۱ بر کارایی حذف در سیستم مورد مطالعه با تغییر در غلظت اولیه رنگزای آبی مستقیم ۷۱ (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ میلی گرم در لیتر) در شرایط ثابت غلظت اولیه هیدروژن پروکساید ۲۵ mmol و pH ۷ و ۳ به ترتیب در فرآیند UV/ $H_2O_2$ و US/$H_2O_2$ در زمانهای مختلف بررسی شد. در نمودار ۳ نتایج حاصل از تأثیر غلظت اولیه رنگ در فرآیند UV/ $H_2O_2$ (الف) و US/$H_2O_2$ (ب) بر روی کارایی حذف نشان داده شده است. همانطور که از نمودار پیدا است کارایی حذف با افزایش غلظت اولیه رنگزای آبی مستقیم ۷۱ در هر دو فرآیند کاهش یافت. به طوری که وقتی غلظت اولیه رنگزای آبی مستقیم ۷۱ از ۱۰mg/l به ۷۰ mg/l افزایش یافت. کارایی حذف از ۹۹٪ به ۷۳٪ و از ۹۹٪ به ۵۹/۶۷٪ به ترتیب درفرآیند UV/ $H_2O_2$ و US/$H_2O_2$ کاهش یافت.

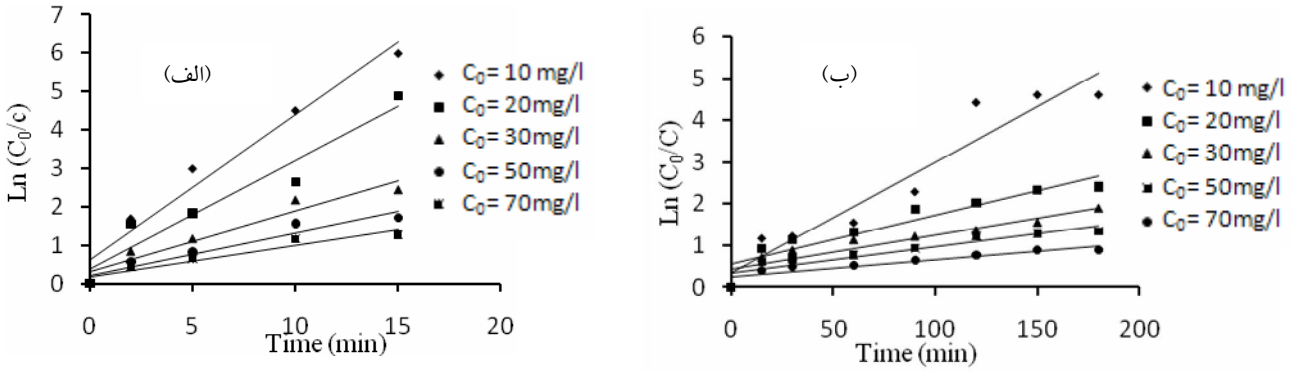


[ Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-10 ]




**نمودار۳: تأثیر غلظت اولیه رنگزای آبی مستقیم ۷۱ بروی کارایی حذف در فرآیند $UV/H_2O_2$ (الف) و $US/H_2O_2$ (ب) (غلظت اولیه هیدروژن پروکساید mmol ۲۵ و و pH ۳و۷ )**

به طور کلی در نمودار ٤ نتایج کینیتیکی بر روی کارایی حذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ در فرآیند $UV/H_2O_2$ (الف) و $US/H_2O_2$ (ب) نشان داده شده است. همچنین ضرایب ثابت کینتیکی نیز در جدول ۱ نشان داده شده است.




**نمودار ۴: نمودار کینتیکی کارایی حذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ در فرآیند $UV/H_2O_2$ (الف) و $US/H_2O_2$ (ب) (غلظت اولیه هیدروژن پروکساید mmol ۲۵ و و pH ۳و۷**

**جدول ۱: ضرایب ثابت کینیتیکی کارایی حذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ در فرآیند $UV/H_2O_2$ و $US/H_2O_2$**

| $UV/H_2O_2$ | | | | $US/H_2O_2$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_0$ (mg/l) | pH | $K_1$ | $R^2$ | $C_0$ (mg/l) | pH | $K_1$ | $R^2$ |
| ۱۰ | ۷ | ۰/۳۷۷ | ۰/۹٦۳ | ۱۰ | ۳ | ۰/۰۲٦ | ۰/۹۲۲ |
| ۲۰ | ۷ | ۰/۲۸۹ | ۰/۹۳۲ | ۲۰ | ۳ | ۰/۰۱۱ | ۰/۸۸۳ |
| ۳۰ | ۷ | ۰/۱۶۸ | ۰/۹۲۹ | ۳۰ | ۳ | ۰/۰۰۸ | ۰/۸٦۷ |
| ۵۰ | ۷ | ۰/۱۱۲ | ۰/۹۲٦ | ۵۰ | ۳ | ۰/۰۰٦ | ۰/۸۵٤ |
| ۷۰ | ۷ | ۰/۰۸۳ | ۰/۹۱۸ | ۷۰ | ۳ | ۰/۰۰٤ | ۰/۸٤٦ |



[ Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-10 ]

## بحث

همانطور که در نمودار۱ مشاهده می‌شود pH محلول نقش مهمی را در سیستم مورد مطالعه ایفا می‌کند، و با افزایش pH از ۳ به ۱۱ کارایی حذف در فرآیند $UV/ H_2O_2$ و $US/H_2O_2$ به ترتیب از ۸۷٪ به ۷۶٪ و از ۶۷ به ۲۷/۳٪ کاهش یافت. در این مطالعه pH اپتیمم به ترتیب برابر با ۷ و ۳ تعیین گردید. کاهش کارایی حذف در هر دو فرآیند با کاهش و افزایش pH به علت تغییر بار در سطح $H_2O_2$ و کاهش رادیکال هیدروکسیل می‌باشد، در pH برابر با ۷ و ۳ سطح $H_2O_2$ دارای بار منفی شده که خود باعث پیوند محکم رنگ با یون $OH^-$ شده در نتیجه غلظت رنگ در سطح $H_2O_2$ کاهش یافته و رادیکال هیدروکسیل افزایش می‌یابد (۱٤). بطوریکه نتایج حاصله با مطالعه‌ای که شو و همکاران بر روی حذف رنگ اسید بلک ۱ با استفاده از $UV/ H_2O_2$ انجام دادند، مطابقت دارد (۱۵). همانطورکه در نمودار۲ الف و ب مشاهده می‌شود کارایی حذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ در هر دو سیستم با افزایش مقدار اولیه $H_2O_2$ افزایش یافت. افزایش کارایی حذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ با افزایش مقدار اولیه $H_2O_2$ بعلت افزایش رادیکال هیدروکسیل بوده که خود باعث افزایش واکنش اکسیداسیون و در نتیجه تجزیه بیشتر رنگزای آبی مستقیم ۷۱ می‌شود. تولید رادیکال هیدروکسیل در فرآیند $UV/ H_2O_2$ برطبق واکنشهای ۵-۱ انجام می‌شود (۱۷و۱٦و۱۲و۹و۸).

$$DB71 + h\upsilon \rightarrow products\ (p) \quad (۱)$$
$$H_2O_2 + h\upsilon \rightarrow 2\cdot OH \quad (۲)$$
$$\cdot OH + DB71 \rightarrow products\ (p) \quad (۳)$$
$$P + \cdot OH \rightarrow final\ products\ (CO_2, H_2O, NO_3^-, SO_4^{2-}) \quad (۴)$$
$$\cdot OH + H_2O_2 \rightarrow H_2O + HO_2\cdot \quad (۵)$$

بطوریکه نتایج حاصله طی مطالعه‌ای که ونیسنا و همکاران بر روی رنگ‌زدایی رنگ راکتیو بلک با استفاده از $US/ H_2O_2$ انجام دادند، مطابقت دارد (۱۴). همچنین نتایج حاصله با مطالعه‌ای که اینس و گونن بر روی کارایی حذف رنگ‌های آزو از صنایع نساجی با استفاده از فرآیند $UV/ H_2O_2$ انجام دادند، مطابقت دارد (۲). حذف رنگ در سیستم مورد مطالعه با افزایش غلظت اولیه رنگ کاهش یافت. دلیل این امر آن است که با افزایش غلظت اولیه رنگ مولکولهای رنگ بیشتری روی سطح $H_2O_2$ اکسید می‌شود. مقدار زیاد اکسید شدن رنگ بر روی سطح $H_2O_2$ از واکنش مولکولهای رنگ با رادیکال هیدروکسیل به علت عدم تماس مستقیم بین آنها جلوگیری می‌کند بنابراین کارایی فرآیند کاهش می‌یابد، همچنین وقتی غلظت اولیه رنگ افزایش می‌یابد طول مسیر فتونهای وارد شده در محلول بر طبق قانون بیر-لامبرت (Beer-Lambert) کاهش می‌یابد (۱۸و۹و۷و۴و۲). به علت اینکه غلظت اولیه رنگ در این مطالعه پایین بود کینیتیک واکنش با معادله شبه درجه یک Hinshelwood–Langmuir توصیف شد. با افزایش غلظت اولیه رنگ، ضریب کینتیکی درجه یک ($K_1$) و همانطور ضریب همبستگی ($R^2$) کاهش یافت، بطوریکه نتایج حاصله با نتایج تحقیقی که مالیک و سانیال بروی کینیتیک تجزیه رنگها از صنایع نساجی انجام دادند مطابقت دارد (۱۲).

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه کارآیی فرآیندهای فتوشیمیایی و سونوشیمیایی توأم با پراکسید هیدروژن و در حذف رنگزای آبی مستقیم ۷۱ از محیط‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی pH محلول نقش مهمی را در



[ Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-10 ]

سیستم مورد مطالعه ایفا می‌کند و کاهش کارایی حذف در هر دو فرآیند با کاهش و افزایش pH به علت کاهش رادیکال هیدروکسیل می‌باشد. بطور کلی نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که می‌توان از فرآیندهای فتوشیمیایی و سونوشیمیایی توأم با پراکسید هیدروژن بعنوان یک روش مؤثر در حذف رنگ رنگزای آبی مستقیم ۷۱ از محیط‌های آبی استفاده نمود. همچنین در مقایسه با دو فرآیند ذکر شده، استفاده از فرآیند فتوشیمیایی توأم با پراکسید هیدروژن با توجه به کارایی حذف و همچنین قابل دسترس بودن بعنوان یک روش مؤثر و سریع جهت حذف رنگ‌ها از محیط‌های آبی پیشنهاد می‌گردد.

**تشکر و قدردانی**

از مدیریت محترم امور تحقیقات و اطلاع رسانی پزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کردستان به خاطر حمایت مالی از این تحقیق و فراهم نمودن امکانات لازم تشکر نموده و از آقای مهندس محمد امین پردل به خاطر همکاری در انجام تحقیق قدردانی می‌گردد.

.

**References**

1. Forgacs E, Cserhti T, Oros G. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. Environment International 2004; 30: 953-71.
2. Ince NH, Gonen DT. Treatability of a Textile Azo Dye by UV/H2O2. Environmental Technology . 1997; 18: 179-85.
3. Bali Uatalkaya E, Sengül F. Photodegradation of Reactive Black 5, Direct Red 28 and Direct Yellow 12 using UV, UV/H2O2 and UV/H2O2/Fe2+: a comparative study. Journal of Hazardous Materials 2004; 114: 159-66.
4. Lin SH, Peng CF. Continuous treatment of textile wastewater by combined coagulation, electrochemical oxidation and activated sludge. Water Research 1996; 30: 587-92.
5. Mahvi AH, Maleki A, Rezaee R, Safari M. Reduction of humic substances in water by application of ultrasound waves and ultraviolet irradiation. Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering 2009; 4: 233-240.
6. Shirzad Siboni M, Samadi MT, Rahmani AR , Khataee AR , Bordbar M, Samarghandi MR, Photocatalytic Removal of Hexavalet Chromium and Divalent Nickel fromAqueous Solution by UV Irradiation in the Presence of Titanium Dioxide Nanoparticles. Iran. J. Health & Environ. 2010; 2:261-70 (Persian).
7. Lucas MS, Peres JA. Degradation of Reactive Black 5 by Fenton/UV-C and ferrioxalate/H2O2/solar light processes. Dyes and Pigments 2007; 74: 622-9.
8. Poon CS, Huang Q, Fung PC. Degradation kinetics of cuprophenyl yellow RL by UV/H2O2/ultrasonication (US) process in aqueous solution. Chemosphere 1999; 38: 1005-14.
9. Shen Y-S, Wang D-K. Development of photoreactor design equation for the treatment of dye wastewater by UV/H2O2 process. Journal of Hazardous Materials 2002; 89: 267-77.
10. Maleki A, Mahvi AH, Mesdaghinia A, Naddafi K. Degradation and toxicity reduction of phenol by ultrasound waves. Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia 2007; 33: 8-21.
11. Jenkins SH,. Standardized methods of water examination. Water Research. 1998; 41: 531-546.
12. Malik PK, Sanyal SK. Kinetics of decolourisation of azo dyes in wastewater by UV/H2O2 process. Separation and Purification Technology 2004; 36: 167-75.
13. Neamtu M, Siminiceanu I, Yediler A, Kettrup A. Kinetics of decolorization and mineralization of reactive azo dyes in aqueous solution by the UV/H2O2 oxidation. Dyes and Pigments 2002; 53: 93-9.
14. Voncina DB, Majcen-Le-Marechal A. Reactive dye decolorization using combined ultrasound/H2O2. Dyes and Pigments 2003; 59: 173-9.



[ Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-10 ]

15. Shu H-Y, Chang M-C, Fan H-J. Decolorization of azo dye acid black 1 by the UV/H2O2 process and optimization of operating parameters. Journal of Hazardous Materials 2004; 113: 201-8.
16. Maleki A, Mahvi AH, Ebrahimi R, Zandsalimi Y. Study of photochemical and sonochemical processes efficiency for degradation of dyes in aqueous solution. Korean Journal of Chemical Engineering 2010: Article in press.
17. Saien J, Soleymani AR. Degradation and mineralization of direct blue 71 in a circulating upflow reactor by UV/TiO2 process and employing a new method in kinetic study. Journal of Hazardous Materials 2007; 144: 506-12.
18. Lee J-W, Choi S-P, Thiruvenkatachari R, Shim W-G, Moon H. Evaluation of the performance of adsorption and coagulation processes for the maximum removal of reactive dyes. Dyes and Pigments 2006; 69: 196-203.

[ Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-10 ]