



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال ششم، شماره‌ی ۲۳  
تابستان ۱۳۹۴، صفحات ۶-۱

## حذف رنگ راکتیو آبی ۲۱ از محلول‌های آبی با استفاده از فرآیند التراسونیک و هیدروژن پراکسید

کیان محمودی رواسان\*

گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

علی مهریزاد

گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران

(دریافت مقاله فروردین ۱۳۹۴ و تایید شهریور ۱۳۹۴)

### چکیده

تحقیق حاضر، کارایی فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته التراسونیک (US)، هیدروژن پراکسید ( $H_2O_2$ ) و کاربرد هم‌زمان التراسونیک/هیدروژن پراکسید ( $US/H_2O_2$ ) را در حذف رنگ راکتیو آبی ۲۱ بررسی می‌کند. آزمایشات تجربی به منظور بررسی اثر حذف رنگ توسط US با در نظر گرفتن اثر پارامترهایی نظیر قدرت و فرکانس دستگاه اولتراسونیک، pH و غلظت اولیه رنگ انجام شد. نتایج آزمایشات نشان داد که در قدرت ۶۰ kW و فرکانس ۱ kHz و در محیط‌های اسیدی و خنثی و در غلظت‌های پائین رنگ، بیش‌ترین میزان تخریب رنگ با سیستم US اتفاق می‌افتد. حذف رنگ توسط  $H_2O_2$  به دلیل تولید رادیکال‌های هیدوکسیل فراوان توسط آب اکسیژنه، در مدت زمان بسیار کوتاهی در محیط‌های خنثی و قلیائی رخ می‌دهد. هم‌چنین استفاده از سیستم  $US/H_2O_2$  منجر به حذف صددرصدی رنگ شد.

**کلیدواژه:** رنگ راکتیو آبی ۲۱، فرآیند اکسیداسیون پیشرفته، التراسونیک، هیدروژن پراکسید

---

\* Email: Auburn\_7777@yahoo.com

## مقدمه

حذف آلودگی‌های آلی نامطلوب از آب در چندین سال اخیر جزء نگرانی‌های مهم بشری بوده است. این آلودگی‌های آلی ممکن است از منابع مختلفی وارد آب شوند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تخلیه نادرست پساب خروجی صنایع شیمیایی مانند پتروشیمی و پالایشگاه‌ها، صنایع نساجی، کاغذسازی و رنگ‌سازی.

- آب زمین‌های کشاورزی با علف هرزکش‌ها، حشره‌کش‌ها و کودهای شیمیائی آلوده شده‌اند. برخی از این آلودگی‌های آلی ممکن است به صورت بیولوژیکی در محیط طبیعی آب تصفیه شوند، اما بسیاری از آن‌ها سمی بوده و به صورت بیولوژیکی قابل تصفیه نیستند. بنابراین این مواد می‌توانند برای مدت طولانی در محیط باقی بمانند و اثرات زیان‌باری بر روی انسان و اکوسیستم به‌بار آورند، لذا لازم است که روش‌های مؤثر، مطمئن، و قابل قبولی برای تصفیه این آلودگی‌های آلی ابداع شود. در سال‌های اخیر تکنیک‌های مختلفی نظیر جذب سطحی، انواع روش‌های اکسیداسیون پیشرفته و تصفیه بیولوژیکی برای حذف آلودگی‌های آلی از آب آشامیدنی و فاضلاب مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته‌اند که هر یک از این روش‌ها داری نقاط ضعف و قدرت هستند. سالانه بیش از صد هزار نوع رنگ با بیش از هفت هزار تن ماده رنگی و رنگ‌رزی به صورت تجاری تولید می‌شود. معمولاً بیش‌تر رنگ‌هایی که وارد آب‌ها می‌شوند [۱]، [۲] رنگ‌های ناشی از پساب کارخانه‌های رنگ‌رزی و نساجی هستند. رنگ‌رزی مصرفی در نساجی به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

مواد رنگ‌رزی گروه اول: تمام مواد رنگ‌رزی در این گروه در آب محلول هستند به جز مواد رنگی دیسپرس که خیلی جزئی محلول می‌باشند و شامل مواد رنگ‌رزی اسیدی، مستقیم، بازی و دیسپرس هستند.

مواد رنگ‌رزی گروه دوم: تمام مواد رنگ‌رزی در این گروه نامحلول هستند که به گروه‌های فرعی دیگری تقسیم می‌شوند. مهم‌ترین مصرف رنگ‌های اسیدی در رنگ‌رزی پشم بوده ولی گاهی برای رنگ‌رزی ابریشم، پلی‌آمیدها، آکریلیک و الیاف پروتئینی دیگر نیز به کار می‌روند. معمولاً محیط حمام رنگ‌رزی این رنگ‌ها اسیدی شامل سولفوریک اسید، فرمیک اسید و استیک اسید می‌باشد. مقاومت این نوع رنگ‌ها بسیار متغیر بوده و به ساختمان شیمیایی آن‌ها بستگی دارد. رنگ‌های بازی شیمیایی به رنگ‌های کاتیونی معروف بوده و به صورت نمک بوده و سیستم کروموفریک در قسمت کاتیون می‌باشد. رنگ‌های بازی از شفافیت به خصوص بر خوردار هستند و رنگ‌های قرمز، بنفش، آبی و سبز را تولید می‌نمایند. در مقابل نور مقامت خوبی از خود نشان نمی‌دهند ولی در عوض اغلب الیاف را توسط آن‌ها می‌توان رنگ نمود. رنگ‌های تری‌فنیل‌متان و دی‌فنیل‌متان از عمده‌ترین رنگ‌های کاتیونی می‌باشند. از مهم‌ترین رنگ‌های مورد استفاده در صنایع رنگ‌رزی و نساجی، رنگ‌های راکتیو فتالوسینانین که در واقع کمپلکس‌های فلزی هستند که در ایجاد رنگ‌های آبی و سبز مورد استفاده قرار می‌گیرند. به دلیل حضور فلز مس در این رنگ‌ها سمی و خطرناک هستند که به‌ویژه برای انسان مضر هستند. بنابراین حذف چنین ترکیباتی از محیط‌های آبی بسیار ضروری می‌باشد. رنگ راکتیو آبی ۲۱ از جمله رنگ‌های اسیدی نساجی و الیاف می‌باشد. به علت ساختمان شیمیایی که دارد حاوی پیوند‌های آروماتیک غیر قابل شکافت توسط روش‌های معمول تجزیه شیمیایی است. [۳]، [۴]. در سال‌های اخیر انهدام این رنگ توسط بعضی روش‌های AOPS در مجاورت کاتالیست  $TiO_2$  مورد مطالعه قرار گرفت [۶].

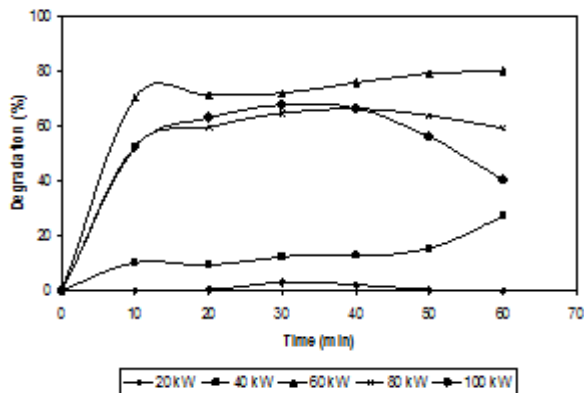
## مواد و روش‌ها

در این کار پژوهشی حذف رنگ راکتیو آبی ۲۱ از محلول‌های آبی با استفاده از فرآیند التراسونیک و هیدروژن پراکسید مورد بررسی قرار گرفت. در هر کدام از مراحل

دنبال شدند. پس از نمونه‌برداری هر ۱۰ دقیقه یک‌بار اندازه‌گیری جذب نمونه‌ها به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر-UV-Vis انجام شد. در این سری از آزمایش‌ها، اثر غلظت اولیه هیدروژن پراکسید، pH و غلظت اولیه محلول رنگ راکتیو آبی ۲۱ بر روی میزان تخریب رنگ مورد بررسی قرار گرفت و در مرحله آزمایش هم‌زمان با هیدروژن پراکسید پس از تهیه ۱۰۰ mL محلول رنگ بشر حاوی محلول در دستگاه التراسونیک قرار داده شد و آزمایش‌ها در مدت زمان ۶۰ دقیقه دنبال شدند. پس از نمونه‌برداری طبق آزمایشات قبلی اندازه‌گیری جذب نمونه‌ها به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر-UV-Vis انجام شد. در این سری از آزمایش‌ها، اثر غلظت اولیه هیدروژن پراکسید، اثر قدرت و فرکانس دستگاه التراسونیک، اثر pH و غلظت اولیه محلول رنگ راکتیو آبی ۲۱ بر روی میزان تخریب رنگ مورد بررسی قرار گرفت.

### یافته‌ها

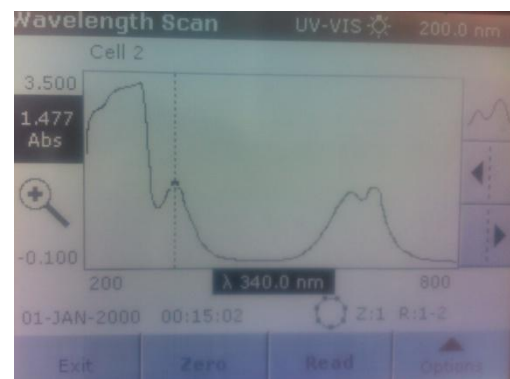
نتایج حاصل از اثر قدرت‌های مختلف دستگاه التراسونیک بر روی میزان تخریب رنگ، در شکل ۱ گزارش شده است.



شکل ۱: اثر تغییرات قدرت US در تخریب رنگ

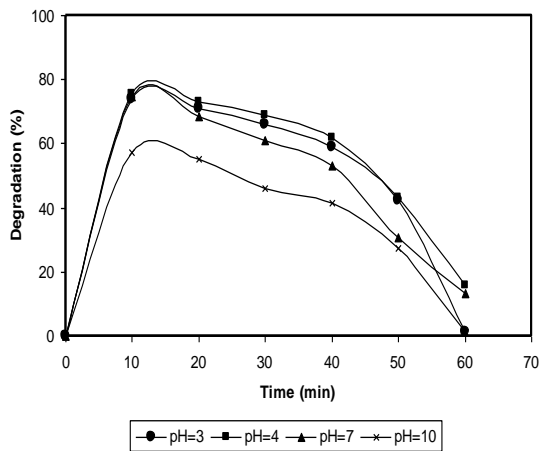
با توجه به شکل ۱ ملاحظه می‌شود که با افزایش قدرت دستگاه از ۲۰ kW به ۶۰ kW میزان تخریب رنگ افزایش می‌یابد ولی افزایش مجدد قدرت دستگاه از ۶۰ kW به ۱۰۰ kW منجر به کاهش جزئی تخریب می‌شود. در حقیقت با افزایش قدرت دستگاه تا محدوده ۶۰ kW میزان تولید

آزمایش پس از آماده کردن محلول مادر با غلظت mg/L رنگ راکتیو آبی ۲۱ بر روی میزان تخریب رنگ مورد بررسی قرار گرفت. در هر کدام از مراحل آزمایش پس از آماده کردن محلول مادر با غلظت ۱۰۰۰ mg/L با استفاده از رابطه رقت با غلظت‌های دلخواه تهیه شد. در این آزمایش طول موج ماکزیم رنگ راکتیو آبی ۲۱ با کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر در محدوده ۲۰۰-۸۰۰ nm برابر 340.0 nm اسکن گردید که بصورت شکل زیر نشان داده می‌شود.



در مرحله آزمایش با استفاده از دستگاه التراسونیک پس از تهیه ۱۰۰ mL محلول رنگ با غلظت مناسب، بشر حاوی محلول در دستگاه التراسونیک قرار داده شد و آزمایش‌ها در مدت زمان ۶۰ دقیقه دنبال شدند. پس از نمونه‌برداری هر ۱۰ دقیقه یک‌بار اندازه‌گیری جذب نمونه‌ها به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Vis انجام شد. لازم به ذکر است چون در این آزمایش‌ها خود دستگاه کار هم‌زدن محلول را انجام می‌داد نیازی به استفاده از هم‌زن مغناطیسی نبود. در این سری از آزمایش‌ها، اثر قدرت و فرکانس دستگاه التراسونیک، pH و غلظت اولیه محلول رنگ راکتیو آبی ۲۱ بر روی میزان تخریب رنگ مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین در مرحله آزمایش با استفاده از هیدروژن پراکسید ابتدا محلول مادر ۱۰۰۰ mg/L از آب اکسیژنه تهیه و از محلول مادر، با استفاده از رابطه رقت محلول‌هایی با غلظت‌های دلخواه تهیه کرده و مورد آزمایش قرار گرفت. آزمایش‌ها در مدت زمان ۶۰ دقیقه

با توجه به شکل‌های ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود که با افزایش فرکانس دستگاه از ۰/۵ kHz به ۱ kHz میزان تخریب رنگ در لحظات اولیه افزایش می‌یابد ولی با گذشت زمان به ویژه هنگامی که قدرت دستگاه التراسونیک ۱۰۰ kW بود میزان تخریب رنگ به طور قابل توجهی کاهش یافت. افزایش دو پارامتر دما و رادیکال هیدروکسیل، سرعت واکنش را افزایش داده و در نتیجه راندمان حذف بالا می‌رود.



شکل ۴: اثر تغییرات pH در تخریب رنگ

([RB21]<sub>0</sub> = 10 mg/L; Cycle = 1 kHz; A = 100 kW)

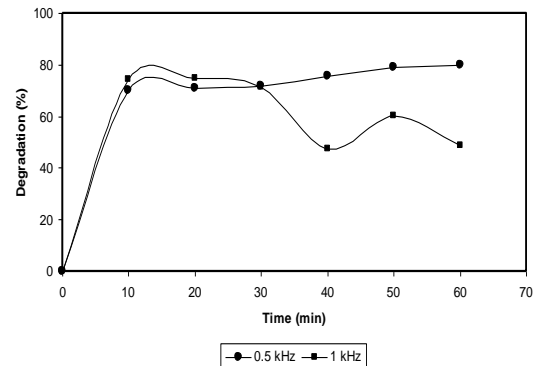
#### نتایج بررسی اثر pH

با توجه به شکل ۴ نتایج حاصل از اثر pH محلول در فرآیند تخریب رنگ را کتیوآبی ۲۱، ملاحظه می‌شود اولاً عمده مقدار تخریب رنگ در لحظات ابتدائی اتفاق می‌افتد و با گذشت زمان از میزان تخریب رنگ کاسته می‌شود به طوری که بعد از گذشت ۶۰ دقیقه تنها درصد ناچیزی از رنگ تخریب می‌شود، ثانیاً درصد تخریب رنگ در محیط‌های اسیدی و خنثی بیش تر از محیط‌های قلیایی است.

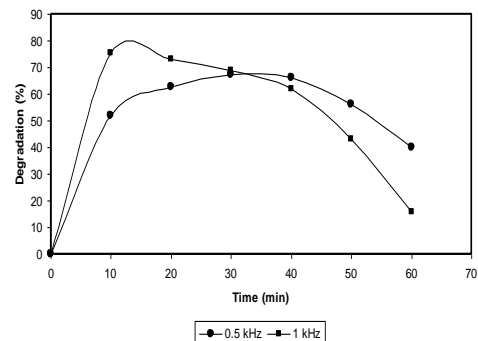
رادیکال‌های هیدروکسیل در اثر فرآیند کاتولیتاسیون افزایش می‌یابد ولی افزایش بیش تر در قدرت دستگاه ممکن است منجر به افزایش ترکیب مجدد رادیکال‌های هیدروکسیل و در نتیجه تولید مولکول‌های هیدروژن پراکسید و یا مولکول‌های آب شود.

#### نتایج بررسی اثر فرکانس

نتایج حاصل از اثر فرکانس‌های مختلف دستگاه التراسونیک در دو قدرت مختلف ۶۰ و ۱۰۰ kW بر روی میزات تخریب رنگ، به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود.



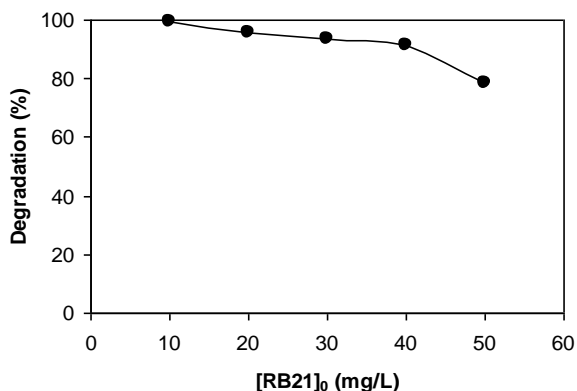
شکل ۲: اثر تغییرات فرکانس US در قدرت ۶۰ kW در تخریب رنگ ([RB21]<sub>0</sub> = 10 mg/L; pH = 4)



شکل ۳: اثر تغییرات فرکانس US در قدرت ۱۰۰ kW در تخریب رنگ ([RB21]<sub>0</sub> = 10 mg/L; pH = 4)

مطابق شکل (۶) هیدروژن پراکسید به عنوان یک اکسیدکننده قوی، رنگ راکتیو آبی ۲۱ را به ترکیبات جانبی تجزیه می‌نماید و در همان لحظات اولیه قسمت اعظم مولکول‌های رنگ تخریب می‌شوند.

#### نتایج بررسی اثر غلظت اولیه محلول رنگ



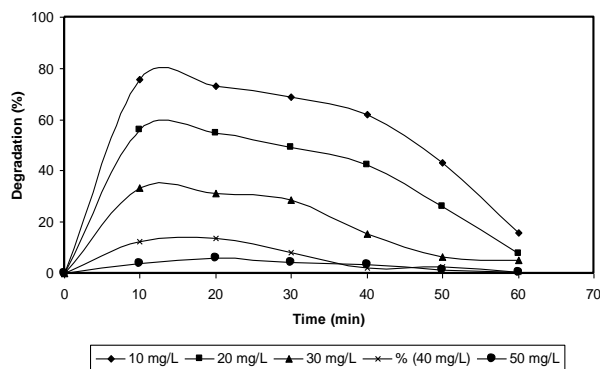
شکل ۷: اثر تغییرات غلظت رنگ راکتیو آبی ۲۱ در تخریب آن ( $[H_2O_2]_0 = 10 \text{ mg/L}$ ;  $pH = 4$ )

همان‌طور که از شکل ۷ ملاحظه می‌شود در همان لحظه اول، درصد بالایی از رنگ راکتیو آبی ۲۱ به‌ویژه در غلظت‌های پائین تخریب شد. در توجیه این پدیده می‌توان گفت با افزایش تعداد مولکول‌های رنگ، این تعداد محدود رادیکال‌ها نمی‌توانند پاسخ‌گوی تخریب تعداد زیادی از مولکول‌های رنگ باشند [۵].

#### نتایج بررسی اثر pH

در این مرحله تغییر pH محلول تنها متغیر مؤثر بر فرآیند بوده و آزمایش‌ها در غلظت ۱۰ mg/L از محلول رنگ و در حضور هیدروژن پراکسید ۱۰ mg/L انجام شد. به طوری که در مقدمه اشاره گردید این رنگ از خانواده رنگ‌های اسیدی است و انتظار می‌رفت که در این محیط (محیط اسیدی) در

#### نتایج بررسی اثر غلظت اولیه محلول رنگ

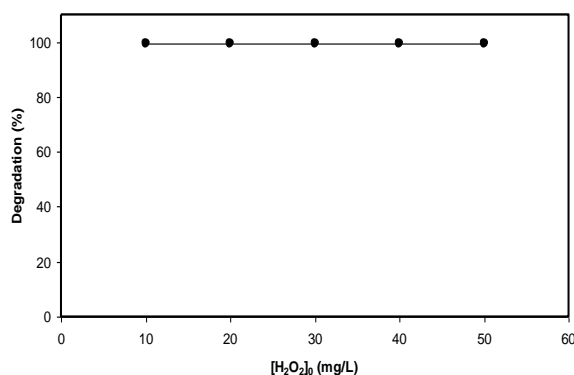


شکل ۵: اثر تغییرات غلظت اولیه رنگ در تخریب آن

$pH = 4$ ; Cycle = 1 kHz; A = 100 kW)

با توجه به شکل ۵ ملاحظه می‌شود که با افزایش غلظت اولیه رنگ میزان تخریب آن کاهش می‌یابد. هم‌چنین ملاحظه می‌شود که با گذشت زمان راندمان تخریب رنگ به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد که دلیل آن را می‌توان به ترکیب مجدد رادیکال‌های هیدروکسیل و ایجاد مولکول‌های هیدروژن پراکسید نسبت داد.

#### نتایج بررسی اثر غلظت اولیه هیدروژن پراکسید



شکل ۶: اثر تغییرات غلظت هیدروژن پراکسید در تخریب رنگ

$([RB21]_0 = 10 \text{ mg/L}; pH = 4)$

## ۲- اثر هیدروژن پراکسید

بررسی اثر غلظت اولیه هیدروژن پراکسید و غلظت رنگ نشان می‌دهد که حضور رادیکال‌های هیدروکسیل باعث تخریب رنگ می‌شود و مناسب‌ترین pH محیط‌های قلیایی می‌باشند.

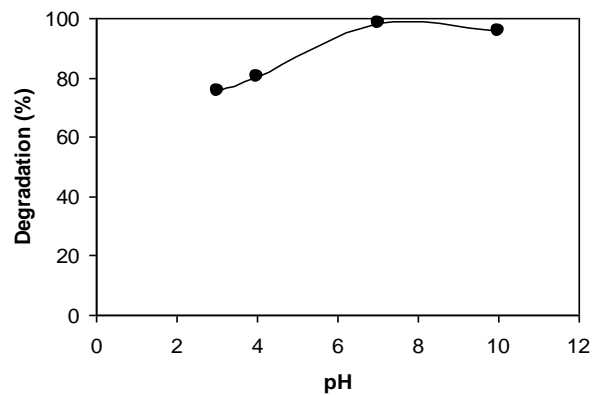
## ۳- اولتراسونیک / هیدروژن

در واقع نتایج به دست آمده حاکی از آن است که قسمت اعظم تخریب رنگ در اثر حضور رادیکال‌های هیدروکسیل تولید شده از محلول هیدروژن پراکسید می‌باشد و استفاده از دستگاه التراسونیک، نقش بسزایی در حذف رنگ ندارد.

## منابع

- [۱] ستوده بیدختی، الف، ۱۳۸۹، فرایند تصفیه آب و فاضلاب
- [2] Elizabeth, B., Allen, D., 1993, Photocatalytic oxidation in aqueous titanium dioxide suspensions: the influence of dissolved transition metals., J. Photochem. Photobiol., Vol. 70, pp.273-283.
- [3] Ralph, M., 1991, photooxidative degradation of coloured organics in water using supported catalysis TiO<sub>2</sub> on sand., Wat., Vol. 25(10), PP. 1169-1176.
- [4] Ralph, M., 1991, Photocatalytic oxidation of organic contaminants in water: an aid to environmental preservation., Pure & Appl. Chem., Vol. 64(9), 1285-1290.
- [5] Kharub, M., 2012, Use of various technologies, methods and adsorbents for the removal of dye., Journal of Environmental Research And Development, Vol. 6 No. 3A.
- [6]- Gui-Juan, L., F., Kang, W., Xiu-Li, R., Xing-Wen, M., 2010, Modification of TiO<sub>2</sub> with titanate coupling agent and its impact on the crystallization behaviour of polybutylene terephthalate., Iranian Polymer Journal, 19(2), PP 115-121.

مقابل انهدام از خود مقاومت نشان دهد. به عبارت دیگر در محیط اسیدی پایدارتر است [۵].



شکل ۸: اثر تغییرات pH در تخریب رنگ

([RB21]<sub>0</sub> = 10 mg/L; [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]<sub>0</sub> = 10 mg/L)

با توجه به شکل ۸ نتایج حاصل از اثر pH محلول در فرآیند تخریب رنگ راکتیوآبی ۲۱ در حضور هیدروژن پراکسید ملاحظه می‌شود که درصد تخریب رنگ در محیط‌های خنثی و قلیایی بیش‌تر از محیط‌های اسیدی است. در واقع می‌توان گفت که در محیط‌های خنثی و قلیایی راندمان تولید رادیکال‌های هیدروکسید به مراتب بیش‌تر از محیط‌های اسیدی است و به همین دلیل در محیط‌های خنثی و بازی درصد تخریب رنگ بالاست.

## بحث و نتیجه گیری

### ۱- اثر دستگاه التراسونیک

مناسب‌ترین قدرت دستگاه ۶۰kW، مناسب‌ترین فرکانس ۱kHz و مناسب‌ترین pH خنثی و اسیدی و با افزایش غلظت اولیه میزان تخریب کاهش می‌یابد.