



فصلنامه علمی ((دفاع هوافضایی))  
دوره ۱، شماره ۱، خرداد ۱۴۰۱

عنوان مقالات

### مقاله پژوهشی

## رفع آلودگی‌های شیمیایی با استفاده از کاتالیست نوری $\text{La}_2\text{CuO}_4$ با ساختار پروسکایت

سیدمیلاذ طباطبایی نژاد، یحیی لجمورک رمه چری

۱. کارشناس ارشد نانوشیمی، گروه علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، ایران.

۲. کارشناس ارشد نانوشیمی، گروه علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، ایران.

### چکیده

در این پژوهش ابتدا نانوساختارهای پروسکایت  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  با استفاده از روش سونوشیمیایی تهیه شدند. روش مذکور جز روش‌هایی در شیمی می‌باشد که مورفولوژی یکدست را ایجاد می‌کند. این سنتز در شرایط نسبت مولی ۱:۲ از مس و لانتانیم انجام شد و زمان ۱۰ دقیقه و توان ۴۵ وات باعث ایجاد مورفولوژی بهتر گردید. پس از سنتز نیمه‌هادی موردنظر با استفاده آنالیزهای شناسایی همانند الگوی پراش اشعه ایکس XRD، اشعه مادون‌قرمز FT-IR، سنجش مغناطیس نمونه ارتعاشی VSM، طیف‌سنجی بازتاب انعکاسی DRS، تئوری BET و میکروسکوپ الکترونی روبشی FE-SEM از تشکیل ساختار موردنظر اطمینان حاصل شد. بعد از اطمینان از تشکیل ساختار موردنظر تست‌های فتوکاتالیستی آن گرفته شد که در پایان رنگزا اسید بلک با میزان ۹۹/۱۱٪ بیشترین میزان تخریب را داشته است.

### اطلاعات مقاله

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۱

### کلمات کلیدی:

کاتالیست نوری، پروسکایت،  $\text{La}_2\text{CuO}_4$ ، نانوفناوری.



نویسنده مسئول:

سیدمیلاذ طباطبایی نژاد

ایمیل:

[s.milad.tabatabaei@gmail.com](mailto:s.milad.tabatabaei@gmail.com)

**استناد به مقاله:** سیدمیلاذ طباطبایی نژاد، یحیی لجمورک رمه چری، رفع آلودگی‌های شیمیایی با استفاده از

کاتالیست نوری  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  با ساختار پروسکایت، مجله علمی دفاع هوافضایی دوره ۱، شماره ۱، خرداد ۱۴۰۱.



## Removal of chemical contamination using La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> photocatalyst with perovskite structure

Seyed Milad Tabatabaeinejad , Yahya lajmorak rameh chari

- 1- Department of Nano Science and Technology, Nano chemistry, Kashan University, Iran.  
 2- Department of Nano Science and Technology, Nano chemistry, Kashan University, Iran.

### Article Information

Accepted: 1401/11/12

Received: 1401/08/01

### Keywords:

Photocatalyst, Perovskite, La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub>, Nanotechnology.



### Corresponding author:

SeyedMiladTabatabaeinejad

### Email:

s.milad.tabatabaei@gmail.com

### Abstract

In this study, first La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> perovskite nanostructures were prepared using sonochemical method. This method is one of the methods in chemistry that creates a uniform morphology. This synthesis was performed in a 2:1 molar ratio of copper and lanthanum and a time of 10 minutes and a power of 45 watts resulted in a better morphology. After synthesizing the desired semiconductor using detection analyzes such as XRD, FT-IR, VSM, DRS, BET theory and FE-SEM of the structure The comment was confirmed. After confirming the formation of the desired structure, photocatalytic tests were taken, which in the end, the dye Acid black1 had the highest amount of 99.11% degradation.

**HOW TO CITE:** Seyed Milad Tabatabaeinejad , Yahya lajmorak rameh chari Removal of chemical contamination using La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> photocatalyst with perovskite structure, Journal of Airspace Defense, Vol. 1, No, 1, 1401.

## ۱. تعاریف و مفاهیم اولیه

بر اساس گزارش اخیر سازمان جهانی بهداشت (WHO) حدود ۸۴۴ میلیون نفر در سراسر جهان به آب آشامیدنی دسترسی ندارند. به دلیل مدیریت نادرست آلودگی آب، آب ناسالم باعث ایجاد بیماری‌های همه‌گیر در کشورهای در حال توسعه می‌شود. آلاینده‌های آلی در فاضلاب به‌طور بالقوه برای هر موجود زنده خطرناک است. مصرف مکرر آب‌های بد تصفیه یا تصفیه نشده می‌تواند باعث سرطان‌زایی طولانی‌مدت یا بیماری در حیوانات و انسان شود. در نتیجه، تصفیه مجدد آب و اصلاح فاضلاب در حال حاضر تمرکز اصلی تحقیقات است [۱]. برتری نانومواد بر مواد بالک را می‌توان با مشخصه سطح بزرگ، فعالیت کاتالیزوری خوب و واکنش‌پذیری بررسی کرد. همچنین نانومواد (معروف به مواد هوشمند) در زمینه‌های مختلفی مانند سلامت، انرژی، محیط‌زیست، نساجی، کشاورزی و مواد غذایی کاربرد دارند. نانوذرات اکسید فلز مانند  $\text{La}_2\text{O}_3$ ،  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{CuO}$ ،  $\text{ZnO}$  امیدوارکننده‌ای هستند که عمدتاً برای کاربردهای انرژی و محیطی هستند [۲]. در میان بیشتر فوتوکاتالیست‌های اکسید فلز، اکسیدهای پروسکایتی فعالیت فوتوکاتالیستی بالایی را نشان می‌دهند. سایر جنبه‌های مهم پروسکایت‌ها امکان جایگزینی جزئی کاتیون‌ها برای کنترل خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها، مانند سطح شکاف نوار یا راندمان جداسازی بار توسط نور مربوط می‌شود [۳].

فناوری فوتوکاتالیست پس از کشف پدیده تکامل  $\text{H}_2$  در الکتروکاتالیز  $\text{TiO}_2$  تحت تابش نور فرابنفش (UV) در سال ۱۹۷۲ پدیدار شد. با این حال، یک فوتوکاتالیست  $\text{TiO}_2$ ، که فقط می‌تواند نور UV را جذب کند (تقریباً ۵٪ از کل تابش خورشیدی)، در استفاده از بیشتر انرژی در نور خورشید مشکل دارد. برای رفع این مشکل، فوتوکاتالیست‌های مختلف با شکاف‌های باند کوچک، به‌عنوان مثال،  $\text{CdS}$ ،  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ ،  $\text{BiVO}_4$  و  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  به تدریج توسعه یافته و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این فوتوکاتالیست‌ها با بهره‌گیری از پاسخ قوی خود به نور مرئی (تقریباً ۴۰٪ از کل تابش خورشیدی) و پتانسیل ردوکس مناسب، به‌طور گسترده در انواع سیستم‌های فوتوکاتالیستی استفاده شده‌اند [۴].

اکسیدهای پروسکایت  $\text{A}_2\text{BO}_4$  از یک عنصر لانتانید تشکیل شده است (کاتیون سه‌ظرفیتی) در موقعیت A و یک فلز واسطه (دو ظرفیتی کاتیون) در موقعیت B، به دلیل الکتروخوشی بودن اکسیدها ( $\text{A}^{2+} + \text{B}^{2+} + \text{O}_4^{2-}$ ). این اکسیدهای پروسکایت بیشتر در کاتالیز ناهمگن استفاده می‌شوند، زیرا فلزات واسطه به دلیل ساختار الکترونیکی خود، فعالیت کاتالیزوری عالی را برای انواع واکنش‌ها نشان می‌دهند. فاز پروسکایت مانند  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  با ساختار متعامد (دارای شبکه‌ای متشکل از صفحات  $\text{CuO}_2$  عمود بر محور c، و از لایه‌های سنگ نمک متناوب  $(\text{LaO})_2$  و  $\text{CuO}_2$  تشکیل شده است. کاتیون  $(\text{La}^{3+})$  دارای عدد کوئوردیناسیون ۹ و کاتیون  $(\text{Cu}^{2+})$  دارای کوئوردیناسیون هشت‌وجهی است [۴]. مهم‌تر از آن،  $\text{La}_2\text{CuO}_4$ ، به‌عنوان یک ابررسانا در دمای بالا شناخته شده است و دارای فعالیت فوتوکاتالیستی مناسبی است [۳].

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱. مواد

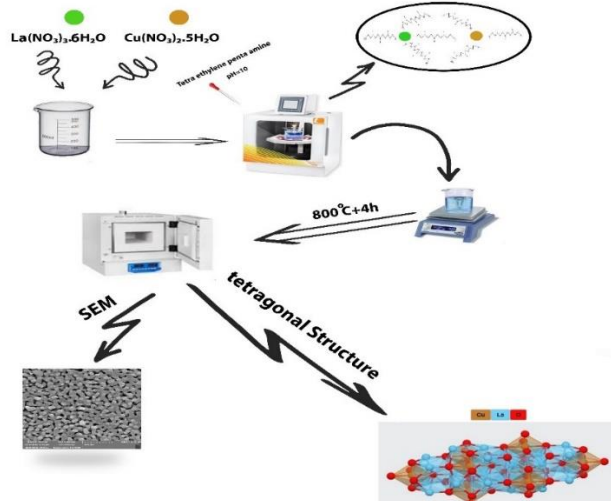
لانتانیموم (III) نیترات هگزا هیدرات (۹۹/۹٪)  $(La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O)$ ، مس نیترات (II) تری هیدرات (۹۹٪)  $(Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O)$ ، تترااتیلن پنتامین (TEPA)، ۴-بنزوکینون (BQ)، بنزوئیک اسید (BA) و اتیلن دی امین تترا استیک اسید (EDTA) از شرکت مرک و بدون تصفیه مجدد استفاده می‌شود.

### ۲-۲. سنتز نانوساختارهای $La_2CuO_4$

نانوساختارهای  $La_2CuO_4$  با واکنش بین مس نیترات و لانتانیموم نیترات (III) با نسبت استوکیومتری ۱:۱ تحت فراصوت تهیه شدند. به‌طور خلاصه، ۲ میلی‌مول از  $La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$  در ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد. محلول به بشر حاوی  $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$  اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه هم زده شد. سپس تحت فراصوت به مدت ۳۰ دقیقه محلول تترااتیلن پنتا آمین (TEPA) به‌صورت قطره‌ای به آن اضافه شد محلول فوق (pH روی ۱۰ تنظیم گردید). رسوب صاف و سه بار با آب مقطر شسته شد. پودر در دمای  $800^\circ C$  به مدت ۴ ساعت کلسینه گردید. شماتیک روش سنتز در شکل ۱ نمایش داده شده است. دمای محلول در مقابل زمان برای تعیین عملکرد توان در طول مراحل بررسی گردید. در  $dT/dt$  برنامه‌های دما (T) در مقابل داده‌های زمان (t) محاسبه شد. بنابراین، توان (P) به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$P = (dT / dt) M c_p \quad (1)$$

M جرم حلال (Kg)،  $c_p$  ظرفیت گرمایی حلال ( $J Kg^{-1} K^{-1}$ )، راندمان قدرت  $W$  ۱۶/۲ وات در آب مقطر، در  $W$  ۶۰ برق ورودی محاسبه می‌شود.



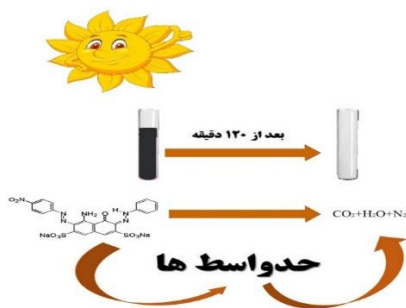
شکل ۱: نمودار شماتیک تهیه نانوساختارهای  $La_2CuO_4$ .

## ۳-۲. ابزار فیزیکی برای شناسایی

الگوهای XRD با استفاده از پراش اشعه ایکس (Philips) در میان XPert Pro که از طریق تابش مس ( $K\alpha$  ( $k = 15.4 \text{ nm}$ ) فیلتر شده بود، ثبت شد. طیف FT-IR نانومواد نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر Shimadzu Varian 4300 در گلوله‌های KBr در محدوده  $400 \text{ cm}^{-1}$  تا  $4000 \text{ cm}^{-1}$  ثبت شد. بررسی عنصر از نمونه‌ها با استفاده از دستگاه آنالیز EDS با بار محرک  $20 \text{ KeV}$  ثبت شد. ساختار کوچک نتایج از طریق میکروسکوپ الکترونی روبشی تابش میدانی LEO 1455 VP تهیه شد. قبل از گرفتن تصاویر، محصولات با یک روکش شفاف نازک از طلا پوشانده شدند تا از تجمع بار جلوگیری شود و رسانایی بیرونی محصول ایجاد شود و به ناهمسانی بیشتر دست یابد. سطوح (BET) از طریق جذب  $N_2$  در دمای  $196^\circ\text{C}$  با استفاده از دستگاه تجزیه و تحلیل جذب خودکار گاز (Micromeritics, Tristar3000) تعریف شد. طیف‌سنجی انعکاس پراکنده (UV-Vis DRS) با یک رایانه Shimadzu UV/3101 در محدوده  $200$  و  $800$  نانومتر انجام شد. اولتراسونیک؛ جوش زنی  $1000$  وات،  $20$  کیلوهرتز، سوئیس (مولد اولتراسوند چند موجی) توسط مبدل/مبدل ارائه شد. یک نوسان‌ساز تیتانیوم برای تشعشعات اولتراسوند استفاده شد.

## ۴-۲. خواص فوتوکاتالیستی

توانایی فوتوکاتالیستی کاتالیزور  $La_2CuO_4$  با پتانسیل آن برای تخریب چندین آلاینده آلی تحت تابش فرابنفش ( $400 \text{ W}$ ) و مرئی ( $150 \text{ W}$ ) در نظر گرفته شد. در انجام تست‌های فوتوکاتالیستی بدون استفاده از  $La_2CuO_4$  انجام شد و تقریباً هیچ رنگزایی پس از  $120$  دقیقه تخریب نشد. برای هر آزمایش،  $0.03$  میلی‌گرم  $La_2CuO_4$  به  $100$  میلی‌لیتر در  $10 \text{ ppm}$  غلظت رنگزا اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت  $30$  دقیقه در تاریکی قبل از روشن کردن نور همزده شد. هر  $15$  دقیقه یک نمونه  $7$  میلی‌لیتری از سوسپانسیون برداشته می‌شود و به مدت  $4$  دقیقه با سرعت  $13000$  دور در دقیقه سانتریفیوژ می‌شود. محلول بالایی جدا و توسط اسپکتروفتومتر UV-Vis میزان جذب آن اندازه‌گیری شد. در شکل ۲ شماتیک انجام تست فوتوکاتالیستی قرار داده شده است.



شکل ۲: نمودار شماتیک مکانیسم تخریب فوتوکاتالیستی نانوساختارهای  $La_2CuO_4$  بر روی اسیدبلاک.

### ۳. بحث و نتیجه‌گیری

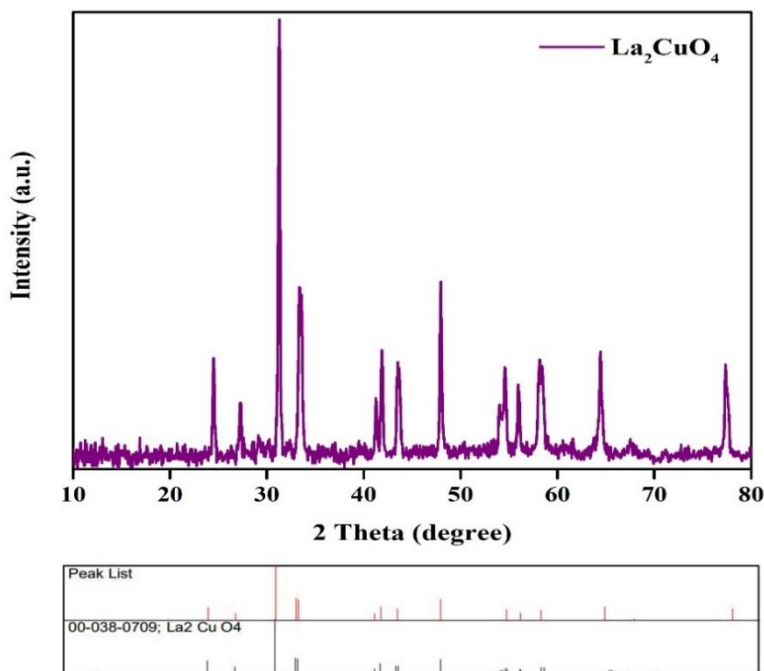
۳-۱. مشخصه یابی

۳-۱-۱. الگوی XRD

شکل ۳ الگوی XRD نانوساختار La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> را با نسبت مولی را نشان می‌دهد. فاز تتراگونال La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> زمانی تشکیل می‌شود که نسبت مولی ۱:۲ از La+3:Cu+2 باشد. با توجه به پیک لیست موجود تمام پیک‌های ترکیب تهیه‌شده با پیک‌های مرجع منطبق است و این به معنای تشکیل کامل La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> است. برای تعیین اندازه دانه از معادله ۲ که معروف به معادله شرر است؛ استفاده می‌شود:

$$D = \frac{0.9 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2)$$

نانوساختار La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> دارای کد مرجع JCPDS ۰۰-۰۳۸-۰۷۰۹ می‌باشد و همچنین اندازه دانه آن در فاز کریستالی ۳۹/۱۱ برآورد شد.

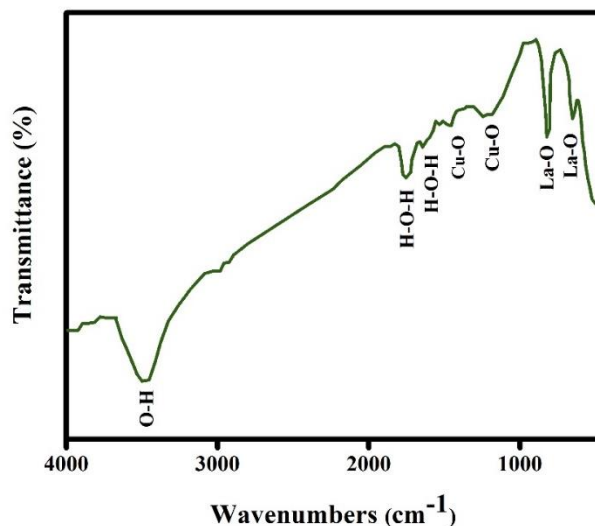


شکل ۳: الگوی XRD نانوساختار La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> تهیه‌شده به روش سونوشیمیایی در مدت ۵ دقیقه.

۳-۱-۲. طیف FT-IR

شکل ۴ طیف FT-IR نانوساختار La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> را نشان می‌دهد. نوار پهن با مرکز حدود  $3435 \text{ cm}^{-1}$  می‌تواند با ارتعاش کششی طولی O-H مولکول‌های آب جذب‌شده مرتبط باشد، درحالی‌که نوارهای جذب در  $1646 \text{ cm}^{-1}$  و  $1522 \text{ cm}^{-1}$  به ارتعاش خمشی H-O-H نسبت داده می‌شوند. علاوه بر این، دو باند با شدت بالا در  $1347 \text{ cm}^{-1}$  و  $1074 \text{ cm}^{-1}$  با حالت‌های کشش Cu-O فاز La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> مربوط است.

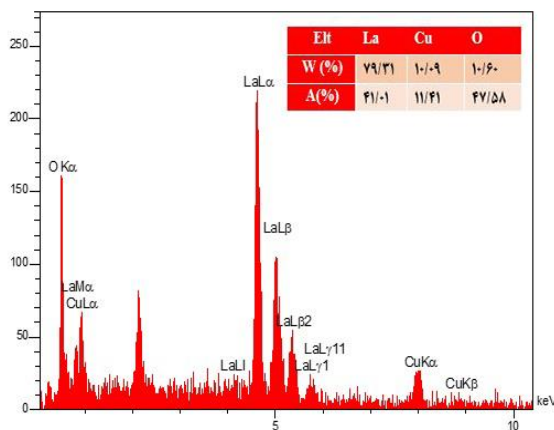
تتراگونال مرتبط هستند و دو باند ضعیف در  $684\text{ cm}^{-1}$  و  $511\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی La-O است [۶].



شکل ۴: طیف FT-IR نانوساختار نانوساختار  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  تهیه شده به روش سونوشیمیایی در مدت ۵ دقیقه.

۳-۱-۳. طیف EDS

برای نشان دادن خلوص نانوساختارهای ساخته شده از آنالیز EDS استفاده شد. طیف EDS نمونه تهیه شده در شکل ۵ نشان داده شده است. فقط عناصر O، Cu و La وجود دارند که خلوص محصولات را تأیید می کند. همچنین نسبت عناصر بیان کننده تشکیل نانوساختار  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  است.

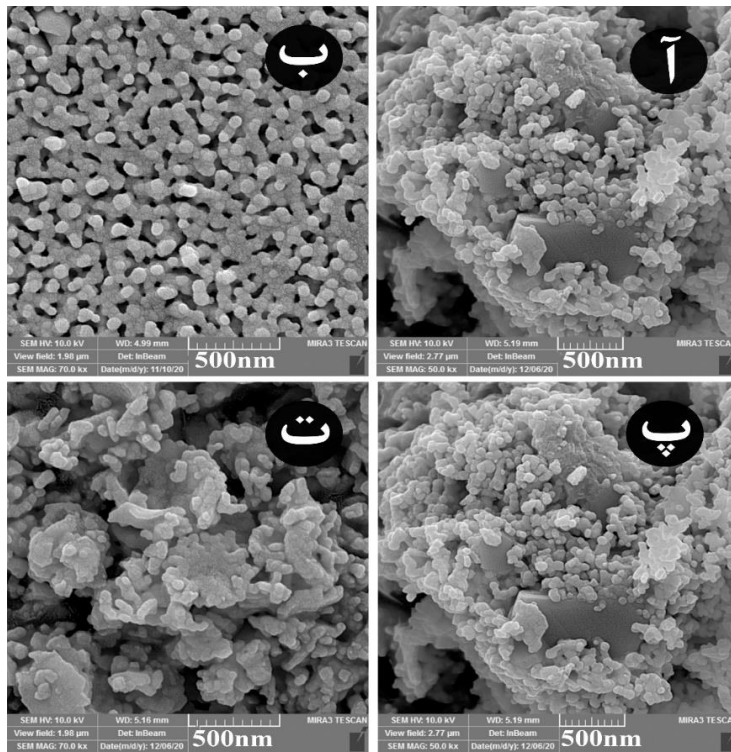


شکل ۵: طیف EDS نانوساختار  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  تهیه شده به روش سونوشیمیایی به مدت ۵ دقیقه.

۳-۱-۴. میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) برای بررسی مورفولوژی  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  در شرایط مختلف استفاده شد. زمان فراصوت پارامتری برای تنظیم مورفولوژی، شکل و اندازه نانوذرات است. تصاویر

SEM در شکل ۶ قرار داده شده‌اند. آ، ب، پ و ت تصاویر SEM را در زمان‌های مختلف فراصوت نمایش می‌دهند که به ترتیب ۵ دقیقه، ۱۰ دقیقه، ۱۵ دقیقه و ۲۰ دقیقه می‌باشند. با افزایش زمان فراصوت، ذرات تمایل به افزایش اندازه دارند. نانوذرات یکنواخت و همگن با اندازه متوسط ۶۴ نانومتر در ۵ دقیقه، ۶۸ نانومتر در ۱۰ دقیقه، ۸۴ نانومتر در ۱۵ دقیقه و ۹۳ نانومتر در ۲۰ دقیقه فراصوت تشکیل شدند. به‌طور کلی می‌توان گفت با افزایش زمان تابش فراصوت باعث گرم شدن محلول و همچنین تشکیل ساختار بزرگ‌تر هستند. ساختار توده به دلیل افزایش دما زمانی که زمان فراصوت ۱۵ و ۲۰ دقیقه بود تشکیل شد. جدول ۱ خلاصه شرایط مختلف سنتز که بر روی مورفولوژی مؤثر هستند را نشان می‌دهد.



شکل ۶: تصاویر SEM نانوساختارهای تهیه‌شده در شرایط مختلف. (آ) ۵ دقیقه فراصوت، (ب) ۱۰ دقیقه فراصوت، (پ) ۱۵ دقیقه فراصوت و (ت) ۲۰ دقیقه فراصوت.

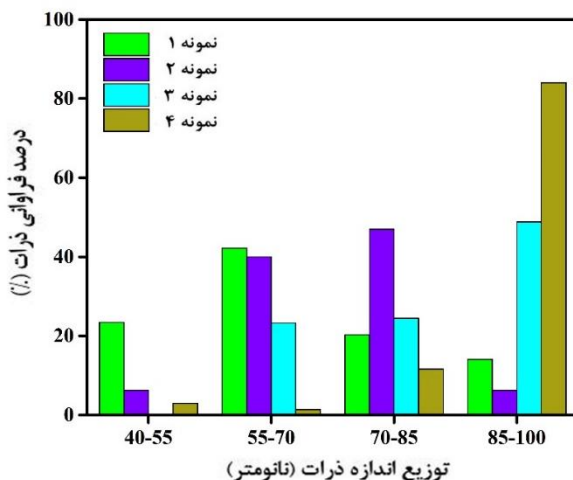
جدول ۱: شرایط تهیه نانوذرات  $\text{La}_2\text{CuO}_4$

نمونه	زمان فراصوت (دقیقه)	دمای کلسیناسیون	زمان کلسیناسیون
۱	۵	۸۰۰	۴
۲	۱۰	۸۰۰	۴
۳	۱۵	۸۰۰	۴
۴	۲۰	۸۰۰	۴



## ۳-۱-۵. توزیع اندازه ذرات

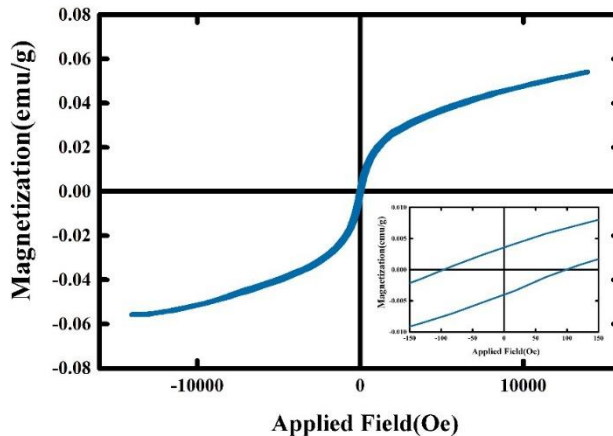
با استفاده از تصاویر SEM توزیع اندازه ذرات نمونه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ تعیین شد که نتایج آن در شکل ۷ قرار داده شده است. در این نمونه‌ها ذرات دارای اندازه مابین ۴۰ نانومتر تا ۱۰۰ نانومتر دارند. با توجه به نمودار توزیع اندازه ذرات و تصاویر SEM بهترین نمونه، نمونه ۲ است که هم دارای ذرات یکنواختی است و هم میانگین اندازه ذرات کوچک‌تری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد.



شکل ۷: توزیع اندازه ذرات نمونه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ تهیه‌شده به روش سونوشیمیایی.

## ۳-۱-۶. مغناطش سنج نمونه ارتعاشی (VSM)

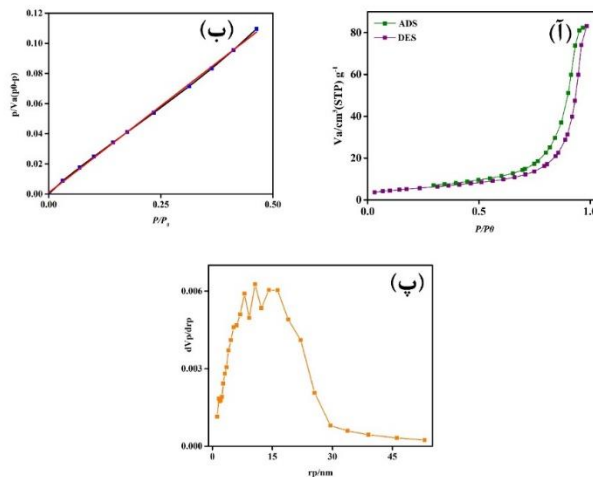
تجزیه و تحلیل پسماند مغناطیسی در یک میدان مغناطیسی کاربردی با روبش از ۱۵ KOe تا ۱۵ KOe برای درک عملکرد مغناطیسی نانوساختارهای  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  با استفاده از یک مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی (VSM) در ۳۰۰ K انجام شد. نانوساختار  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  رفتار پارامغناطیس را نشان می‌دهد [۵]، با مغناطیس اشباع (Ms) در حدود  $0.07 \text{ emu/g}$  علاوه بر این، میدان وادارندگی (Hc) و مغناطیس باقیمانده (Mr) به ترتیب در ۱۰۰ Oe و  $0.02 \text{ emu/g}$  به دست آمد. نتایج این آنالیز در شکل ۸ قرار داده شده است.



شکل ۸: طیف VSM نانوساختارهای La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> تهیه شده به روش سونوشیمیایی.

### ۳-۱-۷. تئوری BET

مشخصات جذب/وا جذب N<sub>2</sub> نانوساختارهای La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> در شکل ۹ (آ) نشان داده شده است. بر اساس طبقه‌بندی IUPAC، نانوساختار La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> ایزوترم نوع III را با یک حلقه هیستریزس نوع H<sub>3</sub>، مربوط به مواد ریز متخلخل و مزوپور رونمایی می‌کند. سطح ویژه نانوساختارهای La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> ۱۹/۸۴ m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> از نمودار BET به دست آمده است. حجم کل و متوسط قطر منافذ به ترتیب حدود ۰/۱۲۸۵ cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup> و ۲۵/۹۰ nm برآورد شد. اندازه متوسط نانوذرات در ۱۵/۶۵ nm از نمودار BJH به دست می‌آید [۷].



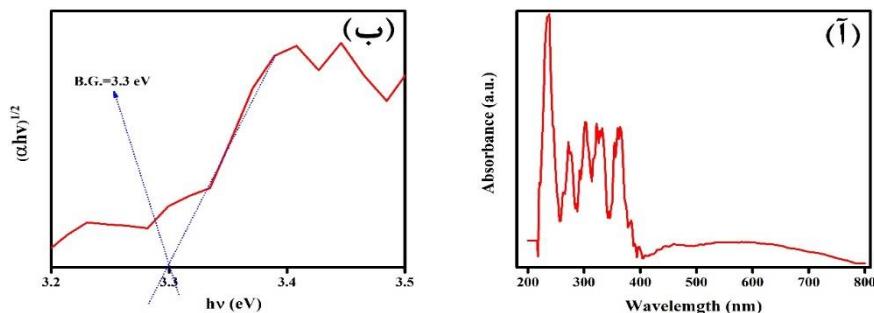
شکل ۹: الف) ایزوترم جذب/وا جذب N<sub>2</sub> با دمای پایین، (ب) نمودار BET، و (پ) نمودار BJH نانوساختارهای La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub>.

### ۳-۱-۸. خواص نوری (DRS)

خواص نوری نانوساختارهای La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> در شکل ۱۰ با استفاده از طیف‌سنجی بازتابی منتشر (DRS) ارائه شده است. ساختارهای نانو جذب طبیعی در محدوده ۲۰۰-۴۰۰ نانومتر را نشان می‌دهند. مقدار شکاف نوار (B.G.) را می‌توان با معادله ۳ تعریف کرد:

$$A(h\nu - B.G.) = (\alpha h\nu)^n \quad (3)$$

که  $A$  یک ثابت مادی است،  $h\nu$  انرژی نور است،  $n$  برای انتقال مجاز مستقیم و غیرمستقیم است که ۲ برای انتقالات مستقیم و ۱/۲ برای انتقالات غیرمستقیم است.  $\alpha$  به عنوان ضریب جذب تعیین می شود. شکاف نوار  $La_2CuO_4$  برای نانوساختار  $3/3$  eV برآورد شد که این مقدار نانوساختارها را برای فعالیت فوتوکاتالیستی مناسب می کند.



شکل ۱۰: (آ) نمودار DRS و (ب) نمودار کوبلکا-مونک برای تعیین شکاف انرژی نانوساختار  $La_2CuO_4$  تهیه شده به روش سونوشیمیایی در مدت ۵ دقیقه.

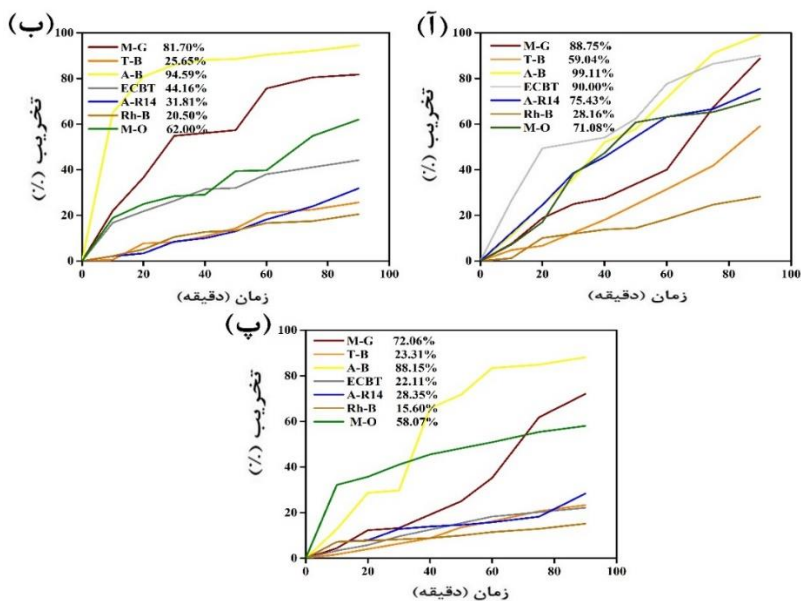
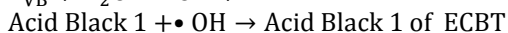
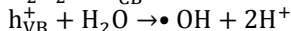
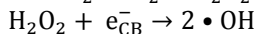
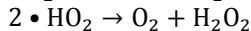
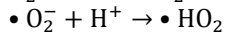
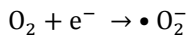
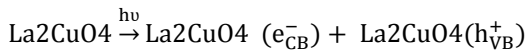
### ۲-۳- خاصیت فوتوکاتالیستی

خاصیت فوتوکاتالیستی نانوساختارهای  $La_2CuO_4$  با مشاهده رنگ زدایی رنگزاهای آلی کاتیونی و آنیونی مانند مالاشیت سبز (M-G)، متیل اورانژ (M-O)، اسید بلک ۱ (A-B 1)، اسید قرمز ۱۴ (A-R 14)، اریوکروم بلک T (ECBT)، رودامین B (Rh-B)، تیمول بلو (T-B) در یک محلول آبی، تحت تابش UV مورد بررسی قرار گرفت. در عدم حضور  $La_2CuO_4$  یا نور، عملاً هیچ رنگی پس از ۱۲۰ دقیقه تخریب نشد پس خود تخریبی وجود نداشت. درصد تخریب (D%) به صورت زیر تعریف شد:

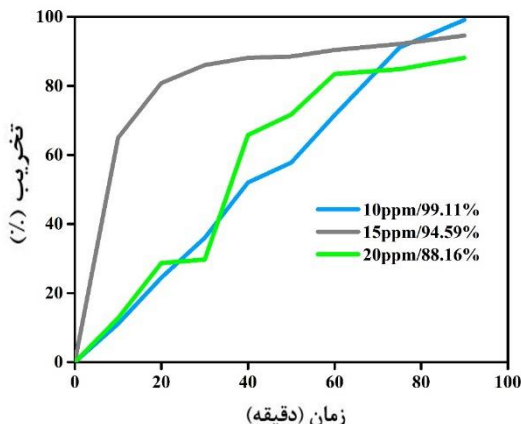
$$\%D = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 \quad (4)$$

که در آن  $A_0$  و  $A_t$  محلول جذب نمونه قبل و بعد از تخریب به صورت جداگانه هستند. تأثیر عوامل رنگزایی متعدد و غلظت رنگزا برای به دست آوردن عملکرد بهتر بررسی شد. شکل ۱۱ (آ) تخریب فوتوکاتالیستی ۱۰ ppm از رنگزاهای ذکر شده را تحت اشعه UV نشان می دهد. بیشترین درصد تخریب برای اسید بلک ۱ با ۹۹/۱۱٪ درصد تخریب به دست آمد. با این حال، میزان تخریب رنگزاهای آلی اسید قرمز ۱۴ با ۷۵/۴۳٪، اریوکروم بلک T ۹۰٪، مالاشیت گرین ۷۵/۴۳٪ و متیل اورانژ ۷۱/۰۸٪ قابل قبول است. حداقل درصد تخریب برای رودامین B (۲۸/۱۶٪) مشاهده شد. شکل ۱۱ (ب) اثر افزایش غلظت رنگزا (از ۱۰ ppm به ۱۵ ppm) را نشان می دهد. نتیجه نشان می دهد که افزایش غلظت رنگزا از ۱۰ ppm به ۱۵ ppm، درصد تخریب را از ۹۹/۱۱٪ درصد به ۸۸/۱۵٪ درصد کاهش می دهد و افزایش غلظت رنگ باعث کاهش تخریب می شود. تعداد زیادی از مولکولهای اسید بلک ۱ محلهای اتصال روی سطح  $La_2CuO_4$  را در ۱۵ ppm فنل قرمز اشباع می کنند. بدیهی است که با افزایش غلظت

اولیه رنگ، درصد تخریب کاهش می‌یابد. همین اتفاق در افزایش غلظت رنگ‌ها از ۱۵ ppm به ۲۰ ppm اتفاق می‌افتد و باعث کاهش تخریب تا ۶۴/۶۰٪ می‌شود. پس می‌توان La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> را به‌عنوان یک کاتالیست مناسب برای تصفیه آب معرفی کرد. بر این اساس، واکنش‌های مربوط به سطح La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> که باعث تخریب‌زا می‌شود را می‌توان به‌صورت زیر توصیف کرد:



شکل ۱۱: فعالیت فوتوکاتالیستی ۰/۰۳ گرم از کاتالیست La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> (آ) در ۱۰ ppm (ب) در ۱۵ ppm (ج) در ۲۰ ppm غلظت‌های رنگ‌های مختلف در مقابل نور UV.



شکل ۱۲: مقایسه فعالیت فوتوکاتالیستی ۰/۰۳ گرم از  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  در غلظت‌های مختلف رنگ‌زا در مقابل نور فرابنفش.

#### ۴- تشکر و قدردانی

از تمامی دانشجویان تحصیلات تکمیلی دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء (ص) که در این پژوهش به عنوان نمونه پژوهش حضور داشتند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

#### ۵- نتیجه گیری

به‌طور خلاصه، ما یک فوتوکاتالیست جدید و کارآمد در ناحیه UV معرفی کردیم. نانوساختارهای  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  با یک مسیر سونوشیمیایی کم‌هزینه، سریع و آسان ساخته شدند. شرایط مختلفی نظیر زمان فراصوت بر مورفولوژی، ساختار، خلوص، شکل و اندازه ذرات تأثیر گذاشته است. شکاف نوار برای  $\text{La}_2\text{CuO}_4$ ، ۳/۳ eV برآورد شد که آن را برای فعالیت فوتوکاتالیستی مناسب می‌سازد. نتایج فوتوکاتالیستی نشان داد که نانوساختارهای  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  می‌توانند به ترتیب ۹۹/۱۱٪ و ۹۰٪ درصد برای اسید بلک ۱ و اریوکروم بلک T را پس از ۱۲۰ دقیقه تخریب کنند. همچنین نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  به‌تنهایی یا به‌صورت کامپوزیت یک فوتوکاتالیست کارآمد در ناحیه UV برای تصفیه آب در آینده است. همچنین برای درک بهتر اهمیت ساختار سنتز شده در جدول ۲ مقایسه‌ای بین نانوساختارهای  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  و ترکیبات مشابه انجام شده است.

جدول ۱: شرایط تهیه نانوذرات  $\text{La}_2\text{CuO}_4$ .

مرجع	مدت زمان	کارآمدی	آلودگی	روش آماده‌سازی	نانوکاتالیست
پژوهش پیش‌رو	۱۲۰	۹۹/۱	اسید بلک ۱	سونوشیمیایی	$\text{La}_2\text{CuO}_4$
[۱]	۱۲۰	۹۶/۴	فنول رد	سونوشیمیایی	$\text{Dy}_2\text{Cu}_2\text{O}_5$
[۹]	۱۲۰	۹۵/۵	تیمول بلو	خود احتراقی	$\text{La}_2\text{Cu}_2\text{O}_5/\text{Lu}_2\text{O}_3$
[۱۰]	۱۲۰	۹۱/۰	مالاشیت گرین	سنتز سبز	$\text{La}_2\text{CuO}_4\text{-ZnO}$
[۱۱]	۱۲۰	۶۴/۰	اریتروسین	سونوشیمیایی	$\text{Gd}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$
[۱۲]	۱۲۰	۸۲/۰	اریتروسین	سونوشیمیایی	$\text{La}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$
[۱۳]	۱۲۰	۹۲/۹	اریتروسین	سونوشیمیایی	$\text{Dy}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$
[۱۴]	۱۲۰	۶۱/۷	اسید رد ۱۴	سونوشیمیایی	$\text{La}_9.33\text{Si}_6\text{O}_{26}$

## ۵- مراجع

- [1] Tabatabaeinejad, S. M., Amiri, O., Ghanbari, M., & Salavati-Niasari, M. (2021).  $\text{Dy}_2\text{Cu}_2\text{O}_5$  nanostructures: Sonochemical fabrication, characterization, and investigation of photocatalytic ability for elimination of organic contaminants. *Journal of Molecular Liquids*, 117883.
- [2] Yulizar, Y., Apriandanu, D. O. B., & Ashna, R. I. (2020).  $\text{La}_2\text{CuO}_4$ -decorated ZnO nanoparticles with improved photocatalytic activity for malachite green degradation. *Chemical Physics Letters*, 755, 137749.
- [3] Zhang, Z., Chen, X., Zhang, X., Lin, H., Lin, H., Zhou, Y., & Wang, X. (2013). Synthesis of  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{La}_2\text{CuO}_4$  nanocomposite as an effective heterostructure photocatalyst for  $\text{H}_2$  production. *Catalysis Communications*, 36, 20-24.
- [4] Bie, C., Yu, H., Cheng, B., Ho, W., Fan, J., & Yu, J. (2021). Design, fabrication, and mechanism of nitrogen-doped graphene-based photocatalyst. *Advanced Materials*, 33(9), 2003521.
- [5] Sukumar, M., Kennedy, L. J., Vijaya, J. J., Al-Najar, B., Bououdina, M., & Mudhana, G. (2019). Structural, optical, and magnetic properties of  $\text{Ca}^{2+}$  doped  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  perovskite nanoparticles. *Vacuum*, 167, 407-415.
- [6] Asiri, A. M., Adeosun, W. A., & Rahman, M. M. (2020). Development of highly efficient non-enzymatic nitrite sensor using  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  nanoparticles. *Microchemical Journal*, 159, 105527.
- [7] Sukumar, M., Kennedy, L. J., Vijaya, J. J., Al-Najar, B., & Bououdina, M. (2018). Structural, magnetic and catalytic properties of  $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$  ( $0 \leq x \leq 0.5$ ) perovskite nanoparticles. *Ceramics International*, 44(15), 18113-18122.
- [8] Shanavas, S., Priyadharsan, A., Vasanthakumar, V., Arunkumar, A., Anbarasan, P. M., & Bharathkumar, S. (2017). Mechanistic investigation of visible light driven novel  $\text{La}_2\text{CuO}_4/\text{CeO}_2/\text{rGO}$  ternary hybrid nanocomposites for enhanced photocatalytic

performance and antibacterial activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 340, 96-108.

[9] Tabatabaiejad, S. M., Zinatloo-Ajabshir, S., Amiri, O., & Salavati-Niasari, M. (2021). Magnetic  $\text{Lu}_2\text{Cu}_2\text{O}_5$ -based ceramic nanostructured materials fabricated by a simple and green approach for an effective photocatalytic degradation of organic contamination. *RSC Advances*, 11(63), 40100-40111.

[10] Yulizar, Y., Apriandanu, D. O. B., & Ashna, R. I. (2020).  $\text{La}_2\text{CuO}_4$ -decorated ZnO nanoparticles with improved photocatalytic activity for malachite green degradation. *Chemical Physics Letters*, 755, 137749.

[11] Talebzadeh, Z., Masjedi-Arani, M., Amiri, O., & Salavati-Niasari, M. (2021). Green sonochemistry fabrication of pure  $\text{Gd}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$  nanoparticles with advanced photocatalytic efficiency for elimination of dye pollutions. *International Journal of Hydrogen Energy*.

[12] Talebzadeh, Z., Masjedi-Arani, M., Amiri, O., & Salavati-Niasari, M. (2021).  $\text{La}_2\text{Sn}_2\text{O}_7/\text{g-C}_3\text{N}_4$  nanocomposites: Rapid and green sonochemical fabrication and photo-degradation performance for removal of dye contaminations. *Ultrasonics Sonochemistry*, 77, 105678.

[13] Mahdavi, K., Zinatloo-Ajabshir, S., Yousif, Q. A., & Salavati-Niasari, M. (2021). Enhanced photocatalytic degradation of toxic contaminants using  $\text{Dy}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  ceramic nanostructured materials fabricated by a new, simple and rapid sonochemical approach. *Ultrasonics Sonochemistry*, 105892.

[14] Mahdavi, K., Salavati-Niasari, M., Amiri, O., & Ghanbari, M. (2022). Synthesis of  $\text{La}_9\text{-33Si}_6\text{O}_{26}$  nano-photocatalysts by ultrasonically accelerated method for comparing water treatment efficiency with changing conditions. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(1), 103481.