



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## بررسی تجربی و سینتیکی واکنش جذب دی اکسید گوگرد از فرآورده‌های سوختن سوخت جت با جاذب سدیم کربنات به‌وسیله مدل حفره اتفاقی

ایمان امید<sup>۱</sup>، حامد فروتن<sup>۲\*</sup>، مجید مظهر<sup>۳</sup>، حسین محمد کریمی یزدی<sup>۴</sup>، محمد مهدی برجسته<sup>۵</sup>

- ۱- گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
- ۲- گروه مهندسی پلیمر، پژوهشکده مواد رنگزا، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران
- ۳- گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
- ۴- گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران
- ۵- گروه مهندسی مواد، مجتمع دانشگاهی مواد و فناوری‌های ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله:

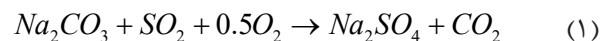
زمینه و هدف: آلودگی گاز $SO_2$ به یک نگرانی جدی تبدیل شده است. این مطالعه با هدف جذب $SO_2$ حاصل از سوختن سوخت JP-4 انجام شد.	۹۹/۰۸/۱۰	تاریخ دریافت:
روش بررسی: آزمایشات تجربی با روش ترموگراویمتری در دماهای مختلف و غلظت‌های مختلف گاز $SO_2$ بررسی شد. مطالعه سینتیکی واکنش گاز-جامد غیرکاتالیستی مذکور با استفاده از مدل‌سازی ریاضی براساس مدل حفره تصادفی، انجام گردیده است.	۹۹/۱۱/۰۱	تاریخ ویرایش:
یافته‌ها: با توجه به نتایج نمودار توزیع اندازه حفرات به‌دست آمد. پارامترهای ساختاری مدل حفره اتفاقی به‌صورت $\tau = 1/92 \times 10^{-5}$ ، $\epsilon_0 = 0/64$ ، $S_0 = 1/27 \times 10^6$ ، $\beta = 3/81$ محاسبه گردید. منحنی‌های ترموگراویمتری و نمودار درصد تبدیل-زمان استخراج شده است.	۹۹/۱۱/۰۴	تاریخ پذیرش:
مدلسازی واکنش با فرم کسری براساس واکنش‌دهنده گازی به‌دست آمده است. نتیجه‌گیری: از پارامترهای سینتیکی به‌دست آمده می‌توان جهت طراحی سیستم‌های سولفورزدایی گاز دودکش در دمای پایین استفاده کرد.	۹۹/۱۲/۲۷	تاریخ انتشار:
		واژگان کلیدی: سدیم کربنات، سوخت جت، حذف گوگرد دی‌اکسید، ترموگراویمتری، مدل حفره اتفاقی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

forootan-ha@icrc.ac.ir

## مقدمه

کربنات و اکسیدهای فلزی مانند  $\text{CaO}$ ،  $\text{MgO}$ ،  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{K}_2\text{CO}_3$  و... جاذب‌های رایج در روش‌های دورریز هستند (۱-۳). توانایی حذف  $\text{SO}_2$  در دماهای پایین (حدود  $200^\circ\text{C}$ )، مزیت اصلی استفاده از  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  به‌عنوان جاذب است. واکنش ۱، جذب گوگرد دی‌اکسید با جاذب کربنات سدیم را نشان می‌دهد.



سیستم‌های سولفورزدایی گاز دودکش بر پایه آهک فقط در دماهای بالا (حدود  $800^\circ\text{C}$ ) عمل می‌کنند. همچنین به دلیل افزایش حجم ژپس نسبت به آهک ( $Z=3$ )، مسدود شدن دهانه حفرات و تبدیل ناقص رخ می‌دهد. از سویی دیگر،  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  توانایی جذب  $\text{SO}_2$  در دماهای پایین (حدود  $200^\circ\text{C}$ ) را دارد. از دیگر مزایای سولفورزدایی با  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  می‌توان به مقدار  $Z$  کمتر ( $Z=1/28$ ) اشاره کرد که احتمال تبدیل کامل را تقویت می‌کند. در نتیجه میزان مصرف جاذب با توجه به تبدیل کامل، کمتر خواهد بود. مطالعه سینتیکی واکنش  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  با  $\text{SO}_2$  به‌ندرت انجام گرفته است. به‌عنوان مثال Keener و همکار (۴) از مدل Sharp Interface برای این واکنش استفاده کردند که نتایج آن به دلیل چشم‌پوشی از سطوح داخلی جاذب سدیم کربنات قابل اعتماد نخواهد بود. از سویی دیگر Kimura و همکاران (۵) با وجود لحاظ کردن مدل متخلخل از مقاومت‌های نفوذ بین نانوذرات  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  صرف نظر کردند. Bakhshi و همکاران (۶) مدل حفره اتفاقی را جهت مطالعه سینتیکی جذب  $\text{SO}_2$  با جاذب منیزیم اکسید به‌کار برده و در مطالعه‌ای دیگر (۷) با شست‌وشوی اسیدی، عملکرد این جاذب را بهبود بخشیده‌اند. Zareh و همکاران (۸) مدل جامع حفره اتفاقی را در مدلسازی واکنش کربونات‌سیون با جاذب استرانسیم اکسید استفاده کرده‌اند.

در این مطالعه، با توجه به مزیت عملکرد در دمای پایین و مقدار  $Z$  کم از جاذب  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  استفاده شده و منحنی درصد تبدیل-زمان واکنش  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  با  $\text{SO}_2$  در دماها و غلظت‌های مختلف با استفاده از ترموگراویمتری هم‌دما تعیین گردیده و درصد تبدیل بالایی مشاهده شده است. علاوه بر این مدلسازی ریاضی جامعی براساس مدل حفره اتفاقی انجام گرفته است. به وضوح مشخص است که مدلی جامع جهت مطالعه سینتیکی واکنش  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  با  $\text{SO}_2$  تاکنون ارائه نشده است. ارائه چنین مدلی جهت تعیین دقیق پارامترهای سینتیکی واکنش بسیار ضروری است. با استفاده از روش‌های جذب نیتروژن و تخلخل‌سنجی جیوه‌ای، توزیع کامل اندازه حفرات به‌دست آمده و در نتیجه مرتبه مناسب این واکنش محاسبه شده است.

## مواد و روش‌ها

ماده اولیه شروع واکنش سینتیکی از پودر بی‌کربنات سدیم خالص تهیه شده و قرص‌ها توسط پرس هیدرولیک با فشار ۶ bar در قالب استوانه‌ای با جرم ۸۵ mg و قطر ۱۰ mm و ضخامت ۱ mm ساخته شده‌اند. سپس با قرار دادن قرص‌ها در دستگاه ترموگراویمتر در رنج دمایی  $250^\circ\text{C}$ - $100^\circ\text{C}$  به مدت ۳۰ min، قرص متخلخل سدیم کربنات جهت واکنش با غلظت‌های مختلف دی‌اکسید گوگرد آماده گردید. کوره دستگاه ترموگراویمتر توسط هوا با دبی  $150 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  پر شده و با شیب حرارتی  $30^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  از دمای محیط به دمای واکنش رسیده است. بعد از فرایند تکلیس طی یک فرایند هم‌دما، گاز  $\text{SO}_2$  و هوا با غلظت تعریف شده در هر واکنش به داخل دستگاه ترموگراویمتر تزریق شده‌اند. بدین ترتیب واکنش  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  و  $\text{SO}_2$  انجام شده و تغییرات وزنی قرص با گذشت زمان در دماهای مختلف اندازه‌گیری و رسم شده است.

توزیع کامل اندازه حفرات قرص  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  تکلیس شده از  $\text{NaHCO}_3$  با روش جذب نیتروژن برای حفرات میکرو و

$$D_{AM} = \frac{1.859 \times 10^{-3} T^{1.5} \sqrt{\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2}}}{p \sigma_{12}^2 \Omega} \quad (7)$$

$$D_{AK} = \frac{2r_{av}}{3} \sqrt{\frac{8R_g T}{\pi M_A}} \quad (8)$$

پارامترهای ساختاری مدل حفره اتفاقی با استفاده از نمودار توزیع اندازه حفرات و استفاده از معادلات بنیادی (۱۲) محاسبه شده‌اند. در نهایت با استفاده از معادله ۹ کسر تبدیل قرص تعیین گردیده است (۱۱، ۱۲):

$$X(\theta) = 1 - \int_0^1 b(y, \theta) dy \quad (9)$$

در این مطالعه برای حل معادلات دیفرانسیل غیرخطی کوپل شده مدل حفره اتفاقی از روش المان محدود استفاده شده است.

### یافته‌ها

توزیع اندازه حفرات با آزمایشات جداگانه برای حفرات میکرو، مزو و ماکرو انجام گرفته و در نتیجه توزیع جامع اندازه حفرات قرص متخلخل  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  در بازه ۱۰۰۰-۰/۳ به دست آمده و در نمودار ۱ نمایش داده شده است.

پارامترهای ساختاری با استفاده از نتایج حاصل از نمودار جامع توزیع اندازه حفرات قرص و معادلات بنیادی محاسبه شده و در جدول ۱ ارائه گردیده است.

منحنی‌های ترموگراویمتری تکلیس سدیم بی‌کربنات و واکنش  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  با  $\text{SO}_2$  در دماهای  $150^\circ\text{C}$  و  $200^\circ\text{C}$  در نمودارهای ۲ و ۳ ارائه شده است.

جهت تعیین بهترین مرتبه واکنش، تعدادی آزمایش با غلظت‌های مختلف  $\text{SO}_2$  (۰/۱۳، ۰/۳۳، ۰/۶۶ و ۱/۱۲ درصد حجمی) در دمای  $150^\circ\text{C}$  انجام گرفته و نمودار کسر تبدیل-زمان تجربی آنها در نمودار ۴ ارائه شده‌اند.

معادلات مدل حفره اتفاقی با در نظر گرفتن  $\delta = b = 1$  در

مزو و روش تخلخل‌سنجی جیوه‌ای برای اندازه‌گیری حفرات ماکرو انجام شده است.

جهت مطالعه دقیق سینتیکی جذب  $\text{SO}_2$  با  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ، مدل حفره اتفاقی به کار گرفته شده که ابتدا توسط باتیا و پرلمتر معرفی گردیده است (۹). مدل حفره اتفاقی پیچیده‌ترین و جامع‌ترین مدل ریاضی واکنش‌های گاز-جامد بوده که به قطرهای حفرات مختلف قرص و تغییرات ساختاری آنها در طول واکنش توجه دارد (۱۰، ۱۱). معادلات دیفرانسیلی بی‌بعد مدل حفره اتفاقی برای قرص اسلب به صورت معادلات ۱ و ۲ تعریف می‌شوند (۱۲، ۱۳):

$$\frac{\partial}{\partial y} \left( \delta \frac{\partial a}{\partial y} \right) = \frac{\phi^2 f(a) b \sqrt{1 - \psi \ln b}}{1 + \frac{\beta Z}{\psi} [\sqrt{1 - \psi \ln b} - 1]} \quad (1)$$

$$\frac{\partial b}{\partial \theta} = - \frac{f(a) b \sqrt{1 - \psi \ln b}}{1 + \frac{\beta Z}{\psi} [\sqrt{1 - \psi \ln b} - 1]} \quad (2)$$

پارامتر  $Z$  نیز به صورت نسبت حجم مولی محصول جامد به حجم مولی واکنشگر جامد تعریف می‌گردد. شرط اولیه و شرایط مرزی معادلات ۱ و ۲ به صورت معادلات ۳ تا ۵ به کار گرفته شده‌اند:

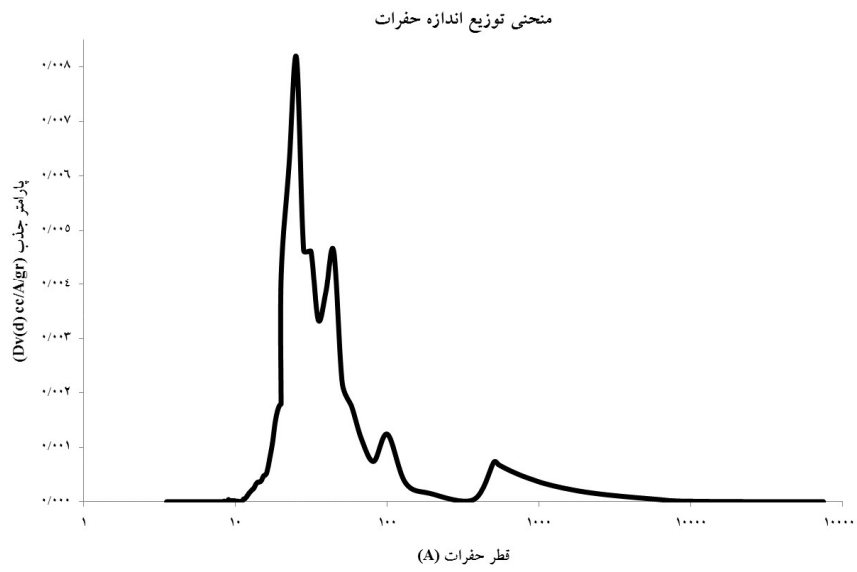
$$\theta = 0 \rightarrow b = 1 \quad (3)$$

$$y = 0 \rightarrow \frac{\partial a}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

$$y = 1 \rightarrow \frac{\partial a}{\partial y} = \frac{Sh}{\delta} (1 - a) \quad (5)$$

ضریب نفوذ موثر اولیه ( $D_{e0}$ ) با استفاده از معادله نفوذ مولکولی ارائه شده توسط چپمن-اسکوگ ( $D_{AM}$ ) و معادله نفوذ نادسن براساس میانگین اندازه حفرات به صورت معادلات ۶ تا ۸ محاسبه می‌شود (۱۲، ۱۴):

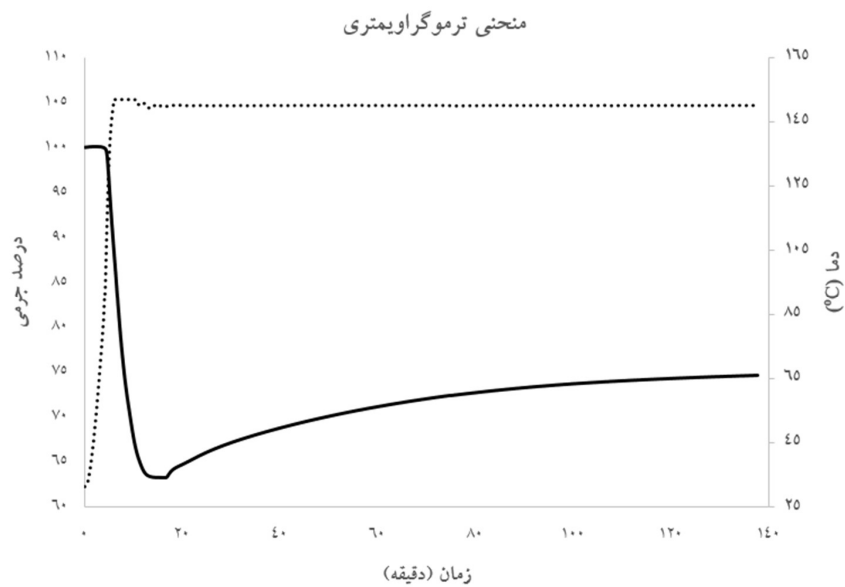
$$\frac{1}{D_{e0}} = \frac{1}{\varepsilon_0^2} \left( \frac{1}{D_{AM}} + \frac{1}{D_{AK}} \right) \quad (6)$$



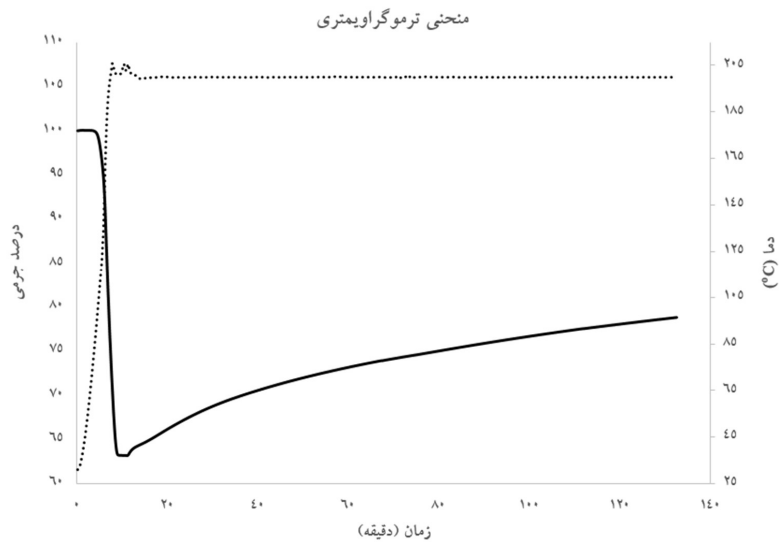
نمودار ۱- نمودار جامع توزیع اندازه حفرات قرص  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

جدول ۱- پارامترهای ساختاری  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  تکلیس شده

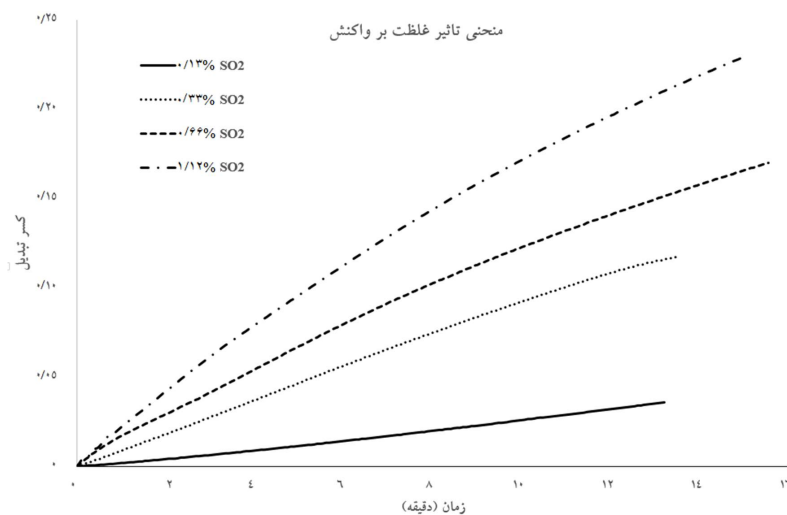
قرص	$\psi$	$L_0$ [ $1/\text{cm}^2$ ]	$S_0$ [ $1/\text{cm}$ ]	$\epsilon_0$	$r$ [cm]
$\text{Na}_2\text{CO}_3$ تکلیس شده	۳/۸۱	$۱/۳۶ \times ۱۰^{۱۲}$	$۱/۲۷ \times ۱۰^۶$	۰/۶۴	$۱/۹۲ \times ۱۰^{-۵}$



نمودار ۲- منحنی ترموگراویمتری تکلیس سدیم بی کربنات و واکنش آن در دمای  $150^\circ\text{C}$  و غلظت ۰/۶۶ درصد حجمی  $\text{SO}_2$



نمودار ۳- منحنی ترموگراویمتری تکلیس سدیم بی کربنات و واکنش آن در دمای ۲۰۰°C و غلظت ۰/۶۶ درصد حجمی SO<sub>2</sub>



نمودار ۴- تاثیر غلظت SO<sub>2</sub> بر واکنش در دمای ۱۵۰°C

اگر سمت چپ معادله ۱۰ (I) بر حسب C<sup>n</sup> برای مقادیر مختلف n رسم شود، بالاترین ضریب رگرسیون نشان‌دهنده مرتبه مناسب واکنش است. در این مطالعه مرتبه واکنش در بازه ۱/۱۵-۰/۸۹ و همچنین وابستگی غلظتی معادله در فرم کسری بررسی گردیده و نتایج در جدول ۲ ارائه شده‌اند. در نتیجه فرم کسری معادله غلظت به صورت  $\frac{C_{Ab}^n}{1+K_{ad}C_{Ab}^n}$  با ضریب رگرسیون ۰/۹۷ جهت

زمان‌های نزدیک به صفر جهت تعیین شیب‌های اولیه منحنی کسر تبدیل-زمان ساده‌سازی شده و با جای‌گذاری پروفایل بی‌بعد غلظت گاز (F(y)) و با مشتق‌گیری از معادله حاصل و جای‌گذاری تعریف زمان بی‌بعد به صورت زیر بازنویسی می‌شود (۱۱، ۱۲، ۱۵).

$$I = \frac{C_{B0}(1 - \varepsilon_0)}{S_0 \int_0^1 F(y) dy} \left[ \frac{dX}{dt} \right]_{t \rightarrow 0} = k_s C_{Ab}^n \quad (10)$$

نمایش سینتیک واکنش سولفورزدایی با  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  تعیین شده است.

### بحث

همانطور که در نمودارهای ۲ و ۳ مشخص است، در مرحله اول قرص نمونه با جریان هوا به دمای واکنش می‌رسد. در طول مرحله تکلیس، جرم نمونه کاهش یافته و تخلخل آن زیاد می‌شود. در نتیجه به دلیل آزاد شدن کربن دی اکسید و آب با کاهش حدود ۳۷ درصد جرم اولیه نمونه، قرص  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  با تخلخل بالا آماده می‌گردد. در مرحله بعدی جریان گاز با غلظت از پیش تعریف شده  $\text{SO}_2$  و هوا وارد شده و جرم نمونه با انجام واکنش جذب  $\text{SO}_2$  در دمای ثابت ترموگراویمتر افزایش می‌یابد. با پیشرفت واکنش به دلیل ضخیم‌تر شدن لایه محصول اطراف هر حفره، شیب منحنی کمتر می‌شود.

با توجه با نمودار ۴ با افزایش کسر مولی  $\text{SO}_2$ ، کسر تبدیل نیز افزایش می‌یابد. همانطور که انتظار می‌رود نفوذ در حفره‌ها و واکنش‌های سطحی کنترل کننده سرعت کلی واکنش در مراحل اولیه هستند. در حالی که در مراحل بعدی کندتر، سرعت واکنش با نفوذ لایه محصول کنترل می‌شود.

پس از مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهش انجام شده توسط Keener و همکار (۴)، مطابقت دقیق تری در نتایج این مطالعه دیده می‌شود که دلیل آن استفاده از مدل حفره اتفاقی نسبت به مدل استفاده شده توسط Keener است. زیرا در مدل حفره اتفاقی توزیع اندازه حفرات در نظر گرفته می‌شود که نتایج مدلسازی را به داده‌های تجربی نزدیک تر می‌کند. در واقع مدل حفره اتفاقی دقیق ترین و جامع ترین مدل ریاضی برای مطالعه سینتیکی واکنش‌های

گاز-جامد غیر کاتالیستی است.

برتری مدلسازی حاصل از مطالعه حاضر در مقایسه با نتایج تحقیقات Kimura و همکاران (۵) نیز مشاهده می‌گردد. دقت بالاتر این مدلسازی به دلیل در نظر گرفتن مقاومت‌های نفوذ بین نانوذرات بوده که توسط Kimura و همکاران لحاظ نگردیده است.

از مقایسه نتایج مطالعه حاضر با نتایج حاصل از فعالیت Bakhshi و همکاران (۶)، به وضوح دمای عملکرد پایین تر مطالعه حاضر ( $150^\circ\text{C}$ ) نسبت به جذب توسط MgO ( $700^\circ\text{C}$ ) محسوس است که مزیت قابل توجهی در زمینه اجرایی در حوزه ایمنی و انرژی محسوب می‌شود. همچنین از مقایسه نمودارهای درصد تبدیل-زمان، پیشرفت واکنش جذب  $\text{SO}_2$  با جاذب  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  در حدود ۸۰ درصد و با جاذب MgO حدود ۲۵ درصد مشاهده می‌شود که برتری استفاده از  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  به دلیل مقدار Z کمتر قابل اثبات است. همچنین واکنش با فرم کسری جهت مطالعه سینتیکی واکنش جذب  $\text{SO}_2$  با استفاده از هر دو جاذب نتیجه گردیده است.

### نتیجه گیری

در مطالعه حاضر، بررسی تجربی و سینتیکی واکنش حذف گوگرد دی اکسید توسط جاذب  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  با مدل حفره اتفاقی به عنوان پیچیده ترین مدل ریاضی انجام شده است. جهت انجام آزمایشات در بازه دمایی  $100^\circ\text{C}$  تا  $250^\circ\text{C}$  و بازه غلظتی  $0/13$  تا  $1/12$  درصد حجمی  $\text{SO}_2$  از یک ترموگراویمتر همدم استفاده گردیده است. با مشاهده منحنی توزیع اندازه حفرات و محاسبات انجام گرفته با استفاده از این نمودار مقدار  $S_0 = 1/27 \times 10^6 \text{ cm}^{-1}$  به دست

جدول ۲- ضرایب رگراسیون برای توزیع غلظت

مرتب و واکنش	۱/۱۵	۱	۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۹	۰/۸۹
ضریب رگراسیون	۰/۹۲۲۱	۰/۹۳۲۶	۰/۹۳۷۴	۰/۹۵۱۳	۰/۹۵۱۰	۰/۹۵۵۱

حوزه‌های مهندسی با اطمینان خاطر استفاده کرد.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

### تشکر و قدردانی

تحقیق حاضر با مشارکت کارکنان محترم شرکت توربین‌سازی ایران به انجام رسید. از حسن همکاری کارکنان و مدیریت شرکت، کمال تشکر و قدردانی را به جا می‌آوریم.

### References

1. Gray SM, Jarvis JB. Process for removing SO<sub>2</sub> from flue gases using liquid sorbent injection. USA: Google Patents; 2020.
2. Tseng H-H, Wey M-Y. Study of SO<sub>2</sub> adsorption and thermal regeneration over activated carbon-supported copper oxide catalysts. *Carbon*. 2004;42(11):2269-78.
3. Jia Z, Liu Z, Zhao Y. Kinetics of SO<sub>2</sub> removal from flue gas on CuO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sorbent catalyst. *Chemical Engineering & Technology: Industrial Chemistry-Plant Equipment-Process Engineering-Biotechnology*. 2007;30(9):1221-27.
4. Keener TC, Khang S-J. Kinetics of the sodium bicarbonate-sulfur dioxide reaction. *Chemical Engineering Science*. 1993;48(16):2859-65.
5. Kimura S, Smith JM. Kinetics of the sodium carbonate-sulfur dioxide reaction. *AIChE Journal*. 1987;33(9):1522-32.
6. Ani AB, Ebrahim HA. Comprehensive kinetic study of sulfur dioxide removal by magnesium oxide using TG. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2021;1-13. doi: 10.1007/s10973-021-10597-6.
7. Ani AB, Ebrahim HA. Theoretical and experimental investigation on improvement of magnesium oxide sorbent by acetic acid washing for enhancing flue gas desulfurization performance. *Chemical Papers*. 2020;74:2471-79.
8. Zare Ghorbaei S, Ale Ebrahim H. Carbonation reaction of strontium oxide for thermochemical energy storage and CO<sub>2</sub> removal applications: Kinetic study

آمده که نشان‌دهنده تخلخل مطلوب قرص جهت انجام واکنش است. از نتایج حاصل از آزمایشات ترموگراویمتری میزان کسر تبدیل را تا ۸۰ درصد می‌توان مشاهده کرد که در عددی بسیار مطلوب در فرایند جذب SO<sub>2</sub> محسوب می‌گردد. در نتیجه مدلسازی انجام گرفته، واکنش با فرم کسری به خوبی سینتیک واکنش شرح داده است. کاربرد مطالعه حاضر را می‌توان در طراحی سیستم‌های صنعتی دما پایین سولفورزدایی گاز دودکش با استفاده از مدلسازی ریاضی ارائه شده دانست. همچنین می‌توان از این روش جهت حذف SO<sub>2</sub> از سوخت‌های JP-4 مورد استفاده در صنایع هوایی و در دستگاه برنر ریگ در

- and reactor performance prediction. *Applied Energy*. 2020;277:115604.
9. Bhatia S, Perlmutter D. A random pore model for fluid-solid reactions: II. Diffusion and transport effects. *AIChE Journal*. 1981;27(2):247-54.
  10. Ramachandran P, Doraiswamy L. Modeling of noncatalytic gas-solid reactions. *AIChE Journal*. 1982;28(6):881-900.
  11. Moshiri H, Nasernejad B, Ebrahim HA, Taheri M. A Comprehensive Kinetic Study of the Reaction of SO<sub>2</sub> with CaO by the Random Pore Model. *Chemical Engineering & Technology*. 2014;37(12):2037-46.
  12. Bahrami R, Ebrahim HA, Halladj R, Afshar A. A comprehensive kinetic study of the SO<sub>2</sub> removal reaction by pure CuO with the random pore model. *Progress in Reaction Kinetics and Mechanism*. 2016;41(4):385-97.
  13. Bahrami R, Ebrahim HA, Halladj R. Application of random pore model for SO<sub>2</sub> removal reaction by CuO. *Process Safety and Environmental Protection*. 2014;92(6):938-47.
  14. Liu C, Wang H. Binary Diffusion coefficients of polycyclic aromatic hydrocarbons: A molecular dynamics study. 11th US National Combustion Meeting Organized by the Western States Section of the Combustion Institute; 24-27 March 2019; California.
  15. Ebrahimi AA, Ebrahim HA, Hatam M, Jamshidi E. Finite element solution for gas-solid reactions: application to the moving boundary problems. *Chemical Engineering Journal*. 2008;144(1):110-18.



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Experimental and kinetic study of sulfur dioxide adsorption reaction generated from jet fuel combustion by sodium carbonate sorbent using the random pore model

Iman Omidi<sup>1</sup>, Hamed Forootan<sup>2,\*</sup>, Majid Mazhar<sup>3</sup>, Hossein Mohammad Karimi Yazdi<sup>4</sup>, Mohammad Mehdi Barjesteh<sup>5</sup>

1- Chemical Engineering Department, College of Chemical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

2- Polymer Engineering Department, College of Inorganic Pigments and Glazes, Institute for Color Science and Technology, Tehran, Iran

3- Faculty of Chemistry Department, Basic Science College, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

4- Materials Engineering Department, Materials Engineering College, Karaj IAU, Karaj, Iran

5- Materials Engineering Department, Metallic Materials Research Center, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 31 October 2020

**Revised:** 20 January 2021

**Accepted:** 23 January 2021

**Published:** 17 March 2021

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** SO<sub>2</sub> pollution has become a serious concern. The aim of this study is SO<sub>2</sub> removal from JP-4 fuel combustion.

**Materials and Methods:** Experiments were performed by thermogravimetric analysis at different temperatures and various SO<sub>2</sub> concentration. Kinetic study of non-catalytic gas-solid reaction was performed using mathematical modeling based on random pore model.

**Results:** The pore size distribution curve was obtained. The structural parameters of the random pore model were measured as  $r=1.92 \times 10^{-5}$ ,  $\epsilon_0=0.64$ ,  $S_0=1.27 \times 10^6$  and  $\psi=3.81$ . Thermogravimetry diagram and conversion-time curves were extracted. Fractional reaction modeling is obtained based on gas reactant.

**Conclusion:** The obtained kinetic parameters can be used to design flue gas desulfurization systems at low temperatures.

**Keywords:** Sodium carbonate, Jet fuel, Sulfur dioxide removal, Thermogravimetry, Random pore model

**\*Corresponding Author:**

forootan-ha@icrc.ac.ir

Please cite this article as: Omidi I, Forootan H, Mazhar M, Mohammad Karimi Yazdi H, Barjesteh MM. Experimental and kinetic study of sulfur dioxide adsorption reaction generated from jet fuel combustion by sodium carbonate sorbent using the random pore model. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;13(4):669-76.

