

ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Efficiency of Removing Xylene Vapor from Air Utilizing Nano Graphene and Nano Graphene Oxide

Akram Tabrizi<sup>1,2</sup>, Mostafa Jafarizaveh<sup>3</sup>, Hamid Shirkhanloo<sup>4</sup>, Farideh Golbabaie<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Student Research Committee, Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Department of Occupational Health, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>4</sup>Iranian Petroleum Industry Health Research Institute (IPIHRI), Tehran, Iran

Received: 4-8-2024

Accepted: 18-12-2024

### ABSTRACT

**Introduction:** Volatile organic compounds (VOCs) are hazardous toxic pollutants in the air, which are released from various industrial sources. Due to the adverse effects of xylene on health, the effective removal of VOCs from the air by nano sorbents is crucial. In this study, nanographene (NG) and nanographene oxide (NGO) were used as adsorbents to investigate the efficiency of xylene removal.

**Material and Methods:** In this study, in order to investigate the absorption efficiency of nanographene and nanographene oxide after the synthesis of nano adsorbents in a dynamic system, xylene vapor was produced in a chamber in pure air and stored in a Tedlar sampling bag and then transferred to the adsorbent. Subsequently, the effect of various parameters such as xylene concentration, inlet air flow rate, and adsorbent mass values at 32% humidity and 25°C temperature on the absorption rate and performance of the desired adsorbents was investigated. Finally, the gas chromatographic flame ion detector (GC-FID) determined the concentration of xylene in air after the adsorption-desorption process.

**Results:** The average adsorption efficiencies for NG and NGO were found to be 96.8% and 17.5%, respectively. The characteristics of the NG and NGO adsorbents indicated that the particle size range was less than 100 nanometers.

**Conclusion:** The results demonstrated that the adsorption efficiency of NG for the removal of xylene from the air is higher than that of NGO. The GC-MS method validated the proposed approach in real air samples.

**Keywords:** VOCs, Xylene, Nano graphene, Nano graphene oxide, Adsorption

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Tabrizi A, Jafarizaveh M, Shirkhanloo H, Golbabaie F. Efficiency of Removing Xylene Vapor from Air Utilizing Nano Graphene and Nano Graphene Oxide. *J Health Saf Work*. 2024; 14(4): 822-840.

## 1. INTRODUCTION

Volatile organic compounds (VOCs) are hazardous and toxic pollutants present in the air and are released from various industrial sources.

Thus, efficiently removing VOCs from the air by nano adsorbents is important. Considering that the release of these compounds is increasing in developed countries and on the other hand there are restrictions on the release of them, the control of xylene emission is crucial. Among recovery

\* Corresponding Author Email: [fgolbabaie@tums.ac.ir](mailto:fgolbabaie@tums.ac.ir)

methods, absorption is one of the most desirable and effective method with low cost and high efficiency.

Among carbon adsorbents, graphene is a two-dimensional base material of hexagonally arrayed carbon atoms consisting of graphite, which has favorable properties such as high theoretical specific surface area (up to 2620 m<sup>2</sup>/gr), light weight, small size and superior electrical, thermal, and mechanical properties. Also, it can absorb chemical materials with a benzene ring such as xylene, so it has made graphene an excellent adsorbent for xylene.

Graphene oxide is one of the most important derivatives of graphene, it has a high surface area, excellent conductivity and strong mechanical resistance.

In this study, the absorption efficiency of xylene is investigated using Nano graphene and Nano graphene oxide adsorbents in a dynamic system and the effect of flow rate, amount of adsorbent, and concentration of xylene on it is studied and optimized.

## 2. MATERIAL AND METHODS

In this experimental-analytical study, the removal efficiency of xylene vapors on Nano graphene and Nano graphene oxide in the dynamic system from the air was studied. The synthesis of NG and NGO was carried out at the Iranian Research Institute of the Petroleum Industry. In

this study, according to the NIOSH method, 14 solutions of xylene from 10–3000 ppm as standard calibration were prepared. For validation, the standard concentration of xylene was injected by syringe into the chamber, and the final xylene concentration in the PE bags was determined by GC–MS. Finally, according to the peak areas of injecting different xylene concentrations into the injector of GC, a calibration curve was obtained.

In this study, different concentrations of xylene were injected by syringe into the chamber in presence of pure air. Then, the micro personal sampling pump (SKC, 20-300 ml min<sup>-1</sup>) in different flows passed the air containing xylene from the chamber into a stock sampling bag (1-5L). Then Air containing xylene was moved to the sorbents Nano graphene and 200 ml min<sup>-1</sup> for Nano graphene oxide. The amount of adsorbent mass in each test was considered to be 10, 20, and 30 mg for Nano graphene and 200 mg for Nano graphene oxide. The Repeatability of NG was investigated too.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

The particle size of NG and NGO was obtained below 100 nm by SEM and 30 nm by TEM. Also, XRD images showed a cubic structure of NG and NGO. The mean adsorption efficiencies for NG and NGO were obtained 96.8% and 17.5%, respectively. In this study, the effect of xylene concentration, flow rate and adsorbent mass were investigated (Fig1,2). The results showed that increasing the amount

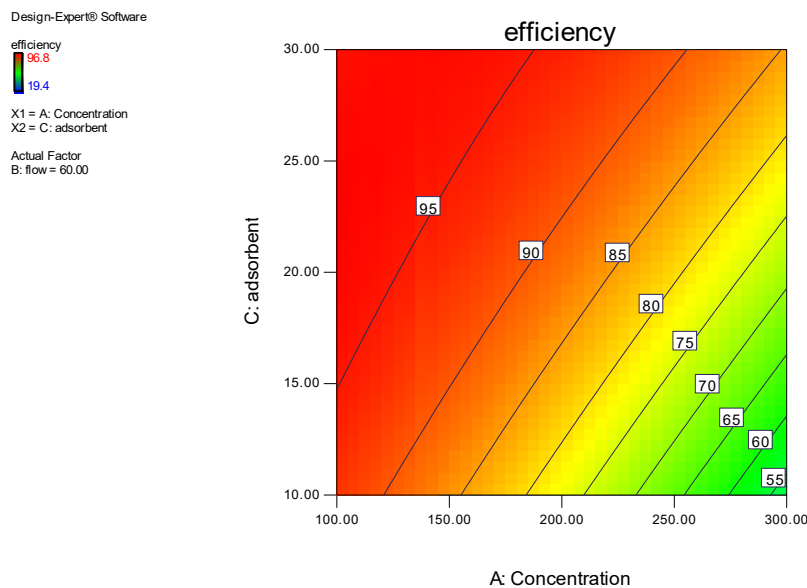


Fig. 1: The combined effect of concentration and adsorbent amount on efficiency

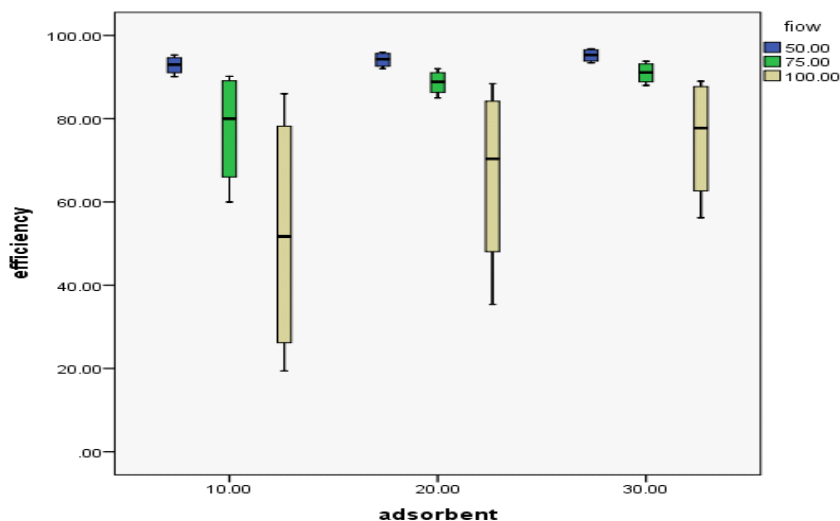


Fig. 2: The effect of air flow rate and amount of adsorbent mass on the absorption efficiency of nanographene adsorbent

Table 1: Adsorption efficiency of nanographene and nanographene oxide in different concentrations

row	Adsorbent	xylene concentration (ppm)	air flow rate (mL/min)	adsorbent mass (mg)	efficiency (%)
1	NG	50	50	10	95.3
2	NG	100	50	10	94
3	NG	150	50	10	92
4	NG	200	50	10	90.1
5	NGO	200	200	100	14
6	NGO	200	50	100	21

of adsorbent and decreasing the concentration enhanced the removal efficiency of NG. Similarly, increasing the adsorbent mass while decreasing the airflow also led to an increase in NG removal efficiency. In other words, the absorption efficiency was higher at lower concentrations and flow rates.

The results of this study showed the maximum absorption efficiency of Nano graphene and graphene oxide for removing xylene from the air was 96.8% and 21% respectively (Table.1). According to similar studies, the absorption efficiency of toluene from the air was 97.3 and 23.5 for NG and NGO respectively. This indicates the low absorption efficiency of graphene oxide for BTEX compounds. This variation is due to the difference in surface structure and size of NG and NGO. Because the absorption efficiency of Nano graphene oxide was not as expected and desirable, optimizing effective factors on adsorption efficiency was not carried out. So, Graphene oxide adsorbent is not recommended as a suitable adsorbent.

It has been shown in various studies that

increasing the airflow decreases the absorption efficiency of Nano adsorbents and other adsorbents. These results are consistent with the present study. It can be said that with increase in flow rate, the reaction time decreases and the xylene molecules do not have the necessary time to interact with the adsorbent surface in available adsorption sites.

The amount of adsorbent is also another variable that can increase the adsorption efficiency of different adsorbents which has been proven in another study. Increasing the amount of adsorbent increases the chance of trapping the xylene by the adsorbent.

#### 4. CONCLUSIONS

The present study found that the maximum adsorption efficiency of graphene and graphene oxide for removing xylene from the air was 96.8% and 21%, respectively. The findings demonstrated that graphene oxide is not suitable as an adsorbent. The mass of the adsorbents used in this study was significantly lower compared to other studies on

carbon adsorbents, yet graphene demonstrated high efficiency in xylene adsorption. It is expected that higher concentrations of xylene could also be removed with greater adsorbent mass; the study suggests creating an optimal substrate for xylene adsorption on the adsorbent to utilize maximum adsorption sites. Additionally, graphene and graphene oxide can be modified with other materials to enhance pollutant trapping. This approach could achieve maximum efficiency at

lower air flow rates. The findings indicate that graphene has an adsorption efficiency of 96.8%, which is somewhat higher than other carbon structures under similar conditions. Overall, the NG adsorbent shows potential for effective xylene removal from the air.

## 5. ACKNOWLEDGMENTS

The study was funded by Tehran University of Medical Sciences (TUMS).

## راندمان حذف بخارات زایلن از هوا با استفاده از جاذب نانو گرافن و نانو گرافن اکسید

اکرم تبریزی<sup>۱،۲</sup>، مصطفی جعفری زاوه<sup>۲</sup>، حمید شیرخانلو<sup>۴</sup>، فریده گلبابایی<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup>گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.  
<sup>۲</sup>کمیته تحقیقات دانشجویی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

<sup>۳</sup>گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.  
<sup>۴</sup>پژوهشکده سلامت صنعت نفت ایران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۲۸

### مکیده

**مقدمه:** ترکیبات آلی فرار (VOCs) آلاینده‌های خطرناک و سمی موجود در هوا هستند و از منابع مختلف صنعتی منتشر می‌شوند. با توجه به اثرات نامطلوب زایلن بر سلامتی، حذف موثر VOCs از هوا توسط نانوجاذب‌ها مهم است. در این مطالعه به منظور بررسی کارایی حذف زایلن از نانو گرافن (NG) و نانو گرافن اکسید (NGO) به عنوان جاذب استفاده شد.

**روش کار:** در این مطالعه به منظور بررسی راندمان جذب نانوگرافن و نانو گرافن اکسید پس از سنتز نانو جاذب‌ها، در یک سیستم دینامیکی، بخار زایلن در یک محفظه در هوای خالص تولید و در کیسه نمونه‌برداری تدارک ذخیره و سپس به جاذب منتقل شد. سپس تاثیر پارامترهای مختلف مانند غلظت زایلن، سرعت جریان هوای ورودی و مقادیر جرم جاذب در رطوبت ۳۲ درصد و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر میزان جذب و نحوه عملکرد جاذب‌های مورد نظر بررسی شد. در نهایت، آشکارساز یون شعله کروماتوگرافی گازی (GC-FID) غلظت زایلن در هوا را پس از فرآیند جذب-واجذب تعیین کرد.

**یافته‌ها:** میانگین راندمان جذب برای NG و NGO به ترتیب ۹۶/۸٪ و ۱۷/۵٪ به دست آمد. خصوصیات جاذب NG و NGO نشان داد که محدوده اندازه ذرات کمتر از ۱۰۰ نانومتر است.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد که کارایی جذب NG برای حذف زایلن از هوا بیشتر از NGO است.

**کلمات کلیدی:** ترکیبات آلی فرار، زایلن، نانوگرافن، نانوگرافن اکسید، جذب سطحی

## مقدمه

با توجه به اثرات نامطلوب زایلن بر سلامتی و نیز با توجه به اینکه انتشار این ترکیبات در کشورهای توسعه یافته مانند ایران رو به افزایش می‌باشد، کنترل انتشار آن حائز اهمیت است (۱۵). روش‌ها و تکنولوژی‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برای حذف موثر BTEX از هوا از جمله زایلن مانند جذب سطحی، جداسازی غشایی، تراکم، انواع مختلف اکسیداسیون (حرارتی، کاتالیزوری، فوتوکاتالستی)، اکسیداسیون پیشرفته و فیلتراسیون محیطی توسعه یافته است (۱۶،۵-۱۸).

در بین روش‌های کنترل ترکیبات آلی فرار، جذب سطحی یکی از مطلوب‌ترین و مؤثرترین روش‌ها با هزینه کم و راندمان بالا است (۱۹). برای حذف ترکیبات BTEXs از جمله زایلن؛ جاذب‌های مختلفی از جمله کربن فعال، زئولیت‌ها، سیلیس و پلیمرها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (۸). از این رو، یافتن جاذب جامد متخلخل بهینه مناسب با کاربرد تجاری بسیار مهم است (۲۰). پارامترهای مختلفی همچون مساحت سطحی ویژه مواد، توزیع اندازه منافذ، و میل ترکیبی شیمیایی بین جاذب و ترکیب آلاینده می‌توانند بر جذب سطحی و حداکثر ظرفیت جذب موثر باشد (۸). جاذب‌های سطحی معمول مانند زغال فعال همواره به عنوان یک جاذب سطحی کم هزینه، با راندمان بالا و پایداری خوب شناخته می‌شوند اما دارای معایبی همچون مسدود شدن منافذ، می‌باشند و کارایی آن هنگامی که با مواد جذب شده سطحی به حالت اشباع یا تعادل رسیده، کاهش یافته و در نتیجه نیاز به احیای مکرر آن داشته که منجر به افزایش هزینه خواهد شد. از آنجا که جاذب‌های مبتنی بر نانو معایب ذکر شده در بالا را ندارند، امروزه در مطالعات مختلف بطور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در میان نانو جاذب‌ها، نانو گرافن و مشتقات آن مانند نانوغرافن اکسید بدلیل ویژگی‌های منحصر به فرد همچون مساحت سطحی بالا، رسانایی عالی و مقاومت مکانیکی قوی به طور گسترده‌ای در الکترونیک، حسگرها، فوتونیک، ذخیره انرژی و مدیریت محیطی به دلیل خواص فیزیکی - شیمیایی عالی آن استفاده می‌شود (۲۱-۲۳).

در حال حاضر، ترکیبات آلی فرار<sup>۱</sup> (VOCs) مانند BTEX<sup>۲</sup> (بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن) از منابع مختلف صنعتی و فعالیت‌های انسانی، از جمله صنایع رنگ و پلیمر، وسایل نقلیه موتوری، صنعت پتروشیمی، پالایشگاه‌های نفت، موتورهای احتراق داخلی و ساخت پلاستیک آزاد می‌شوند، که می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر سلامت و رفاه و کیفیت هوا داشته باشد. همچنین، ترکیبات آلی فرار می‌توانند باعث جذب پرتو مادون قرمز و گرم شدن هوا شوند (۱-۸). آنها به عنوان یک پیش ساز کلیدی برای تشکیل ازن و ذرات معلق معدنی و آلی در هوا شناخته می‌شوند که منجر به تشکیل آلاینده‌های خطرناک هوا می‌گردند (۹). علاوه بر این، مشتقات بنزن (BTEX) باعث ایجاد مشکلات سلامتی در انسان با اثر سرطان زایی می‌شود. مخلوط BTEX اغلب در فرآیندهای شیمیایی و آزمایشگاه‌های مختلف ایجاد می‌شوند (۱۰-۱۳). با در نظر گرفتن استانداردهای زیست محیطی و شغلی، کنترل ترکیبات آلی فرار به صورت مطلوب هدف اصلی هر مطالعه می‌باشد (۹). زایلن یکی از ۳۰ ترکیب شیمیایی است که به صورت انبوه تولید می‌شود و از ترکیبات آن در صنایع مختلف استفاده می‌شود. همچنین به عنوان مکمل به بنزین اضافه می‌شود. زایلن و ایزومرهای مختلف این ترکیب آروماتیک پس از بنزن در رتبه دوم تولید و مصرف مواد آروماتیک قرار دارند. زایلن‌ها در روغن، مواد افزودنی، رنگ و پی وی سی استفاده می‌شوند. زایلن‌ها قابل اشتعال، به صورت بخار و خطرناک هستند و باعث آلودگی هوا و آب می‌شوند (۹). مواجهه کوتاه مدت با زایلن مخلوط یا ایزومرهای منفرد آنها منجر به تحریک بینی، چشم‌ها و گلو می‌شود که متعاقباً منجر به اثرات مضر عصبی، دستگاه گوارش و تولید مثل می‌گردد. علاوه بر این، مواجهه طولانی مدت با زایلن ممکن است اثرات خطرناکی بر سیستم تنفسی، سیستم عصبی مرکزی، سیستم قلبی عروقی و سیستم کلیوی داشته باشد (۱۴).

1. Volatile organic compounds

2. Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene (BTEX)

آن برای حذف موادی مانند تولوئن (۱۶)، فلزات سنگین (۲۸)، رنگ سافرانین (۲۷)، آنتی‌بیوتیک‌های دارویی (۲۹)، زایلن (۳۰)، سرب (۳۱، ۳۲) و متیلن بلو (۳۳) است. لذا هدف از این مطالعه حذف بخارات زایلن از هوا با استفاده از جاذب‌های نانوغرافن و نانوغرافن اکسید و بررسی تاثیر پارامترهای مختلف همچون دبی هوا، میزان جاذب و غلظت زایلن بر عملکرد جذب سطحی این جاذب‌ها بوده است.

### روش کار

#### ۱- سنتز جاذب نانوغرافن و نانوغرافن اکسید

در این مطالعه سنتز جاذب‌های نانوغرافن و نانوغرافن اکسید با استفاده از روش بدون بستر در فاز گازی که تنها فرایند سنتز نانوغرافن در بالاترین کیفیت و در یک مرحله بدون استفاده از بستر و گرافیت انجام گرفت (۳۴). قابل ذکر است که کلیه مراحل انجام این مطالعه در پژوهشکده صنعت نفت تهران انجام شده است. ساختار کریستالی نانوغرافن و نانوغرافن اکسید با پراش پرتو ایکس تابش  $\text{Cu-K } \alpha$  مورد بررسی قرار گرفت. مورفولوژی NG و NGO به ترتیب با میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۳</sup> و میکروسکوپ الکترونی انتقالی<sup>۴</sup> (Philips, PW۳۷۱۰, The Netherlands, CM۳۰) به دست آمد.

#### ۲- رسم منحنی کالیبراسیون (Curve Calibration)

در این مطالعه طبق روش پیشنهادی ۱-۱۵۰ NIOSH، غلظت‌های مختلف زایلن (o, p, and m-xylene) در محدوده ۱۰ ppm تا ۳۰۰۰ براساس روش NIOSH ۱۵۰۱ در کیسه‌های نمونه برداری (۱ تا ۵ لیتر) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت هوا ۳۲ درصد تولید شد. مخلوط زایلن (شماره کاتالوگ: ۱۰۸۶۸۴، CAS No: ۱۰۸۶۸۴، ACS، ۹۹.۷٪، ۳-۴۲-۱۰۶) و پارا زایلن (شماره کاتالوگ: ۱۰۸۶۸۴، CAS No: ۱۰۶-۴۲-۳، ACS، ۹۹.۷٪) از

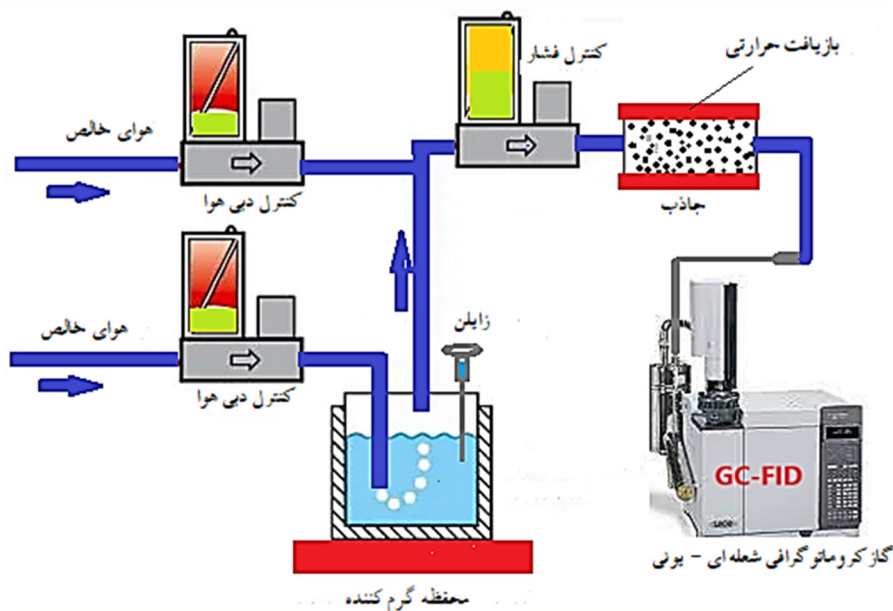
نانوغرافن<sup>۱</sup> (NG) یک ماده پایه دو بعدی از اتم‌های کربن با آرایه شش ضلعی متشکل از گرافیت است که دارای خواص مطلوبی مانند مساحت ویژه تئوری بالا (تا ۲۶۲۰ متر مربع بر گرم)، وزن سبک و با خواص الکتریکی حرارتی و مکانیکی عالی است. همچنین، می‌تواند مواد شیمیایی دارای حلقه بنزن مانند زایلن را جذب کند، از این رو نانوغرافن و اکسید آن می‌تواند به عنوان یک جاذب عالی برای آلاینده‌های مختلف مانند آلاینده‌های آلی، رنگ‌ها، آفت‌کش‌ها، آمونیاک، یون‌های فلزات سنگین و مواد رادیواکتیو مانند سزیوم و نیز جذب زایلن مورد توجه قرار گیرد (۱۶، ۲۴، ۲۵). با توجه به ظرفیت جذب بالای نانوغرافن نسبت به کربن اکتیو، دیرتر به حالت اشباع و تعادل می‌رسد و نیاز به احیای مجدد آن کاهش یافته، در نتیجه میزان هزینه‌ها را نیز کاهش می‌دهد.

نانوغرافن<sup>۲</sup> (NGO) دارای ساختار چهار وجهی با هیبریداسیون  $\text{sp}^3$  است که در آن گروه‌های کربوکسیل در لبه و گروه‌های هیدروکسیل و اپوکسید بر روی سطح اکسید گرافن قرار دارند. بنابراین، عملکرد جذب VOC در GO تحت تاثیر بخار آب خواهد بود. حذف گروه‌های حاوی اکسیژن، جذب VOCها را در GO در اتمسفر بخار آب تسهیل می‌کند (۲۲، ۲۶، ۲۷). در حالی که حلقه‌ها به گروه‌های  $\text{-OH}$  و  $\text{-COOH}$  ختم می‌شوند، حلقه‌های باز در نانوغرافن اکسید می‌توانند بر خواص الکترونیکی تاثیر بگذارند و آنها را از نظر شیمیایی تغییر دهند. نانوغرافن اکسید به دلیل داشتن گروه‌های اپوکسی، هیدروکسی و کربوکسیل بسیار آبدوست و محلول در آب است (۲۳).

مساحت سطحی بسیار بالا ( $2620 \text{ m}^2/\text{g}$ ) و سیستم الکترونی نانوغرافن اکسید گرافن ( $\pi$ -electron) امکان اتصال آنالیت را فراهم می‌کند. علاوه بر این، فرایند تولید نانوغرافن اکسید و نانوغرافن آسان‌تر از نانولوله‌های کربنی است (۱۶، ۲۳). مطالعات مختلفی در مورد ظرفیت جذب نانوغرافن و مشتقات آن برای مواد مختلف انجام شده است که نشان‌دهنده ظرفیت بالای نانوغرافن و مشتقات

3. SEM  
4. TEM

1. Nano graphene  
2. Nano graphene oxide



شکل ۱: چیدمان آزمایشگاهی سیستم دینامیکی مورد استفاده جهت بررسی جذب سطحی زایلن توسط جاذب های سنتز شده

غلظت‌های مختلف زایلن به داخل آنژکتور GC، منحنی کالیبراسیون به دست آمد.

در طی این آزمایش، جذب غلظت‌های مختلف زایلن در مقادیر مختلف دبی هوا و جرم جاذب مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت، مقدار ترکیبات زایلن توسط GC-FID تعیین شد (شکل ۱).

لازم به ذکر است که این آزمایش‌ها برای دو جاذب نانوغرافن و نانوغرافن اکسید با سه بار تکرار برای هر جاذب و در مجموع بر روی ۱۰۸ جاذب سنتز شده صورت گرفت و راندمان حذف زایلن مطابق معادله ۱ محاسبه شد.

$$\text{Removal Efficiency (\%)} = \frac{(C_1 - C_2)}{C_1} \times 100 \quad (1)$$

که در اینجا:

$C_1$  و  $C_2$  به ترتیب غلظت اولیه و نهایی زایلن برحسب ppm هستند.

#### بررسی زمان ماندگاری جاذب NG

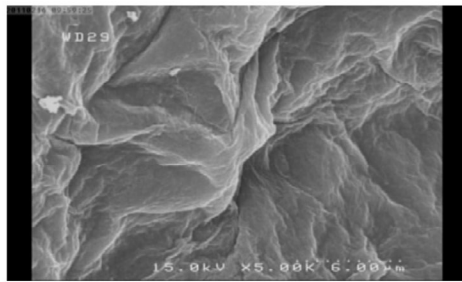
پس از عبور هوای حاوی زایلن از روی هر یک از جاذب‌های سطحی سنتز شده در هواگذر ۵۰ میلی لیتر

شرکت مرک تهیه شد. سپس مقدار جذب زایلن توسط دستگاه گازکروماتوگرافی مدل Varian ۳۸۰۰ مجهز به دتکتور FID که دارای ستون مویی با طول ۲۵ متر و قطر ۰/۲۵ میلی متر بود بررسی شد. منحنی کالیبراسیون دارای محور x که مربوط به غلظت زایلن و محور y که مربوط به مقدار جذب (مساحت زیر پیک) می‌باشد.

#### تعیین راندمان جذب جاذب‌های سنتز شده

در این مطالعه هوای حاوی زایلن در غلظت و دبی‌های مختلف هوا (۵۰، ۷۵، و ۱۰۰ میلی لیتر در دقیقه)، بر اساس بررسی متون صورت گرفته (۳۵، ۳۶) از روی جاذب نانوغرافن و نانوغرافن اکسید عبور کرد. مقدار جرم جاذب در هر آزمایش برای نانوغرافن ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی گرم و برای نانوغرافن اکسید ۲۰۰ میلی گرم در نظر گرفته شد. جهت آنالیز نمونه‌ها دستگاه گازکروماتوگرافی مدل Varian ۳۸۰۰ ساخت کشور هلند، مجهز به دتکتور FID که دارای ستون مویی با طول ۲۵ متر و قطر ۰/۲۵ میلی متر بود استفاده گردید. ابتدا غلظت‌های استاندارد مختلفی از زایلن که در کیسه‌های تدارک آماده شده بود به دستگاه GC تزریق شد و با توجه به نواحی پیک تزریق





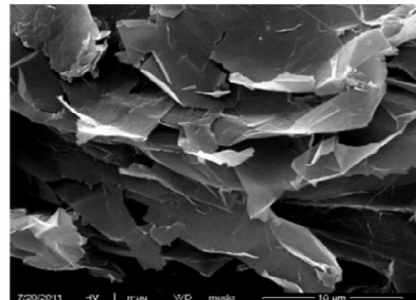
شکل ۲-الف: TEM مربوط به نانوگرافن



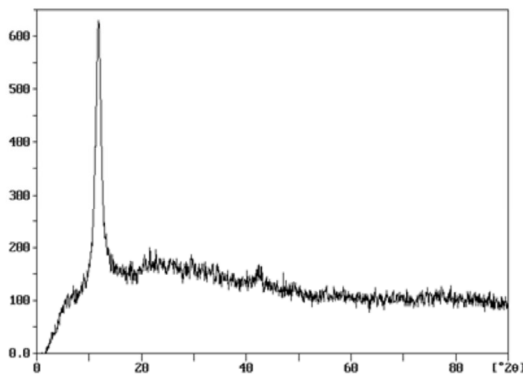
شکل ۲-ب: SEM مربوط به نانوگرافن



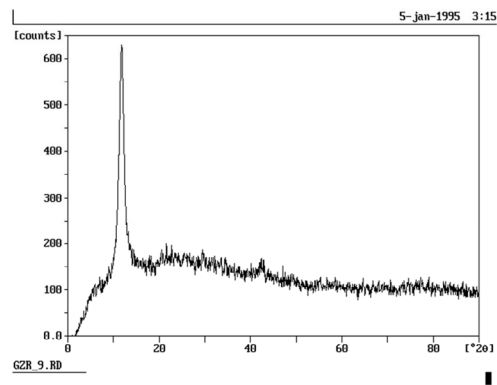
شکل ۲-ج: TEM مربوط به نانو اکسیدگرافن



شکل ۲-د: SEM مربوط به نانو اکسیدگرافن



شکل ۲-و: XRD مربوط به نانوگرافن



شکل ۲-ه: XRD مربوط به نانوگرافن اکسید

شکل ۲: تصاویر میکروسکوپی نانوجاذب‌ها (SEM، XRD و TEM)

محاسبه گردید.

$$\text{Efficiency}(\%) = \frac{X}{Y} \times 100 \quad (2)$$

$X$ : جرم نهایی زایلین بر روی جاذب پس از طی مدت زمان مشخص  
 $Y$ : جرم اولیه زایلین بر روی جاذب

بر دقیقه (دبی بهینه)، به منظور بررسی تغییرات احتمالی جرمی رخ داده قبل و پس از عبور زایلین کلیه جاذب‌های سطحی مورد استفاده وزن شدند بدین منظور، دو انتهای لوله جاذب با ابعاد ۷۰ میلی متر طول و ۶ میلی متر قطر، با پارافین مهر و موم نموده و در دمای صفر درجه سانتی گراد نگهداری شد و در طی مدت زمان‌های مختلف (۱، ۳، ۷ و ۲۱ روز) جاذب وزن شده و بازده طبق معادله زیر

جدول ۱: راندمان جذب نانوگرافن و نانوگرافن اکسید در غلظت های مختلف

ردیف	نوع جاذب	غلظت زایلن (ppm)	دبی هوا (mL/min)	جرم جاذب (mg)	راندمان (%)
۱	نانو گرافن	۵۰	۵۰	۱۰	۹۵/۳
۲	نانو گرافن	۱۰۰	۵۰	۱۰	۹۴
۳	نانو گرافن	۱۵۰	۵۰	۱۰	۹۲
۴	نانو گرافن	۲۰۰	۵۰	۱۰	۹۰/۱
۵	نانوگرافن اکسید	۲۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۴
۶	نانوگرافن اکسید	۲۰۰	۵۰	۱۰۰	۲۱

جدول ۲: آنالیز توصیفی راندمان جاذب نانو گرافن

تعداد	میانگین راندمان	انحراف معیار	حدود اطمینان ۹۵٪	
			حد پایینی	حد بالایی
۳۶	۸۱/۴۳	۱۹/۳	۷۴/۹	۸۷/۹

نانوگرافن بر حسب درصد بصورت زیر بدست آمد:

$$\text{Removal Efficiency of NG (\%)} = \quad (1)$$

$$133.014 - 0.161x_1 - 0.591x_2 + 0.646x_3$$

در مورد جاذب نانو گرافن، مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۷۰۲ بود. بررسی همبستگی بین راندمان جذب به دست آمده به طور تجربی و راندمان جذب به دست آمده از معادله رگرسیون خطی در نانوگرافن نشان داد که همبستگی بالایی بین آنها وجود دارد (ضریب همبستگی برابر با ۰/۸۳۸).

در جدول ۱، راندمان حذف به دست آمده بر روی اکسید گرافن آورده شده است. میانگین راندمان حذف ۱۷/۵ درصد بود. همانطور که مشاهده می شود با کاهش دبی هوا راندمان افزایش یافته است. از آنجا که در این مطالعه راندمان حذف NGO بسیار پایین به دست آمد، لذا مطالعات تاثیر غلظت، دبی و مقدار جرم جاذب بر روی راندمان جذب در مورد این نوع جاذب انجام نشد.

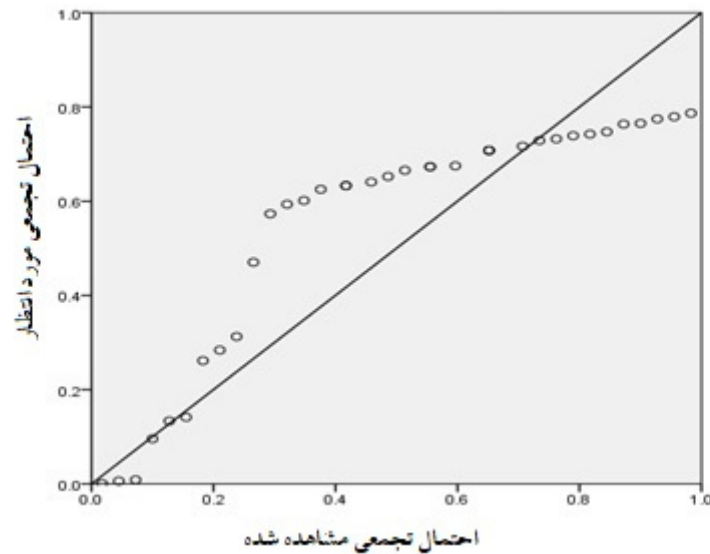
### یافته ها

نتایج بررسی مورفولوژیک و ساختاری جاذب های سنتز شده

نتایج حاصل از بررسی های میکروسکوپی نانو گرافن و نانوگرافن اکسید در شکل ۲ نشان داده شده است.

### عملکرد جذب جاذب ها

در این مطالعه عملکرد جذب NG و NGO مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). مقادیر مربوط به آنالیز توصیفی راندمان جذب (برحسب درصد) برای NG در جدول ۲ نشان داده شده است. برای انجام آنالیز آماری بین متغیرهای مورد مطالعه از آنالیز رگرسیون خطی استفاده شد. در این آنالیز ارتباط خطی بین متغیر وابسته (راندمان جذب بر حسب درصد) و متغیرهای مستقل ( $x_1$ : مقدار غلظت زایلن بر حسب ppm)، ( $x_2$ : دبی هوا بر حسب میلی لیتر بر دقیقه) و ( $x_3$ : مقدار جاذب بر حسب میلی گرم) مورد بررسی قرار گرفت. معادله رگرسیون خطی چندگانه (معادله ۳) مربوط به راندمان جذب



شکل ۳: Normal P-P plot راندمان جاذب NG

مطابق شکل ۳ و معادله رگرسیون، دبی هوا دومین عامل مهم موثر بر راندمان NG است و راندمان جاذب با افزایش دبی کاهش می‌یابد. در معادله رگرسیون چند خطی ضریب  $X_p$  برابر با  $-۰/۵۹۱$  است و علامت منفی نشان‌دهنده این کاهش راندمان همزمان با افزایش دبی هوا است.

#### تأثیر مقدار جرمی جاذب بر راندمان جاذب

با توجه به نتایج، با افزایش جرم جاذب، راندمان حذف زایلن از هوا افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش مقدار جاذب، تعداد مکان‌های جاذب افزایش می‌یابد و تأثیر مثبتی بر فرآیند جاذب دارد. راندمان حذف نانوگرافن در جرم جاذب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی گرم و غلظت ۵۰ ppm و دبی ۵۰ میلی لیتر در دقیقه، به ترتیب ۹۶/۸، ۹۵/۳، ۹۶/۸ درصد بود. بنابراین، ۳۰ میلی گرم جاذب NG به عنوان مقدار بهینه جاذب استفاده شد.

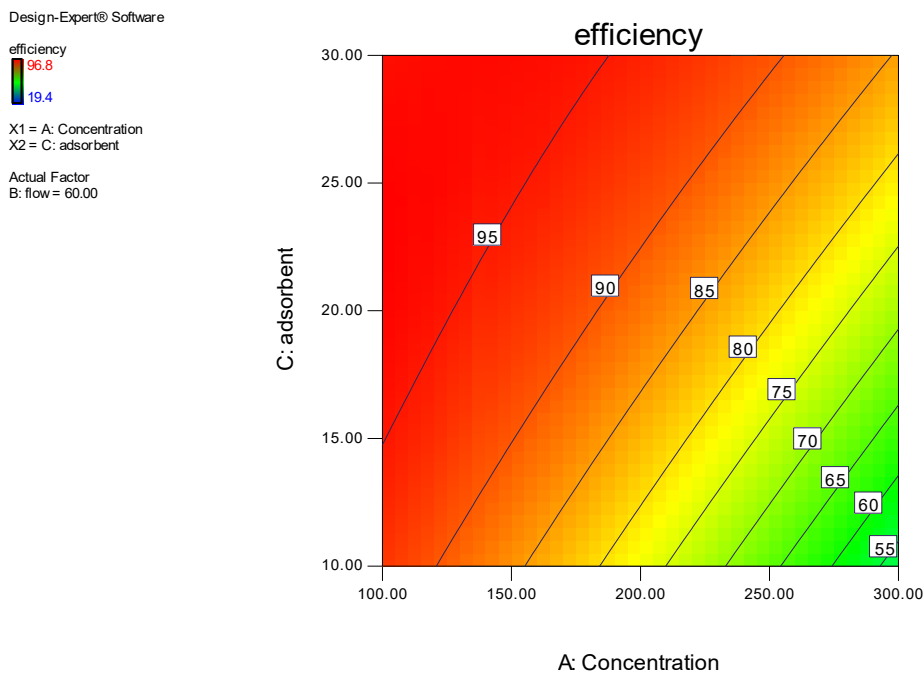
با توجه به معادله رگرسیونی به دست آمده، ضریب  $X_p$  مربوط به اثر جرم جاذب برابر با  $+۰/۶۴۶$  است و علامت مثبت نشان‌دهنده افزایش راندمان با افزایش جرم جاذب است.

#### تأثیر غلظت زایلن بر راندمان جاذب نانوگرافن

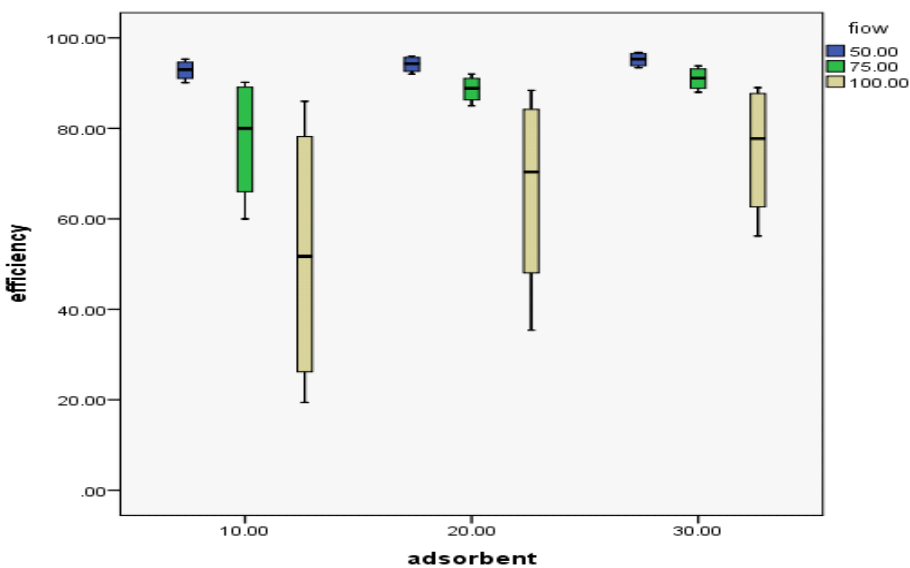
به منظور بررسی اثر غلظت زایلن، راندمان جاذب زایلن توسط NG در غلظت‌های مختلف زایلن در شرایط بهینه (دبی ۵۰ میلی لیتر در دقیقه و جاذب ۳۰ میلی گرم) مورد ارزیابی قرار گرفت. ابتدا راندمان جاذب ثابت بود و سپس با افزایش غلظت زایلن کاهش یافت. راندمان حذف زایلن به ترتیب ۹۶/۸، ۹۶/۳، ۹۴/۳ و ۹۳/۴ درصد در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ ppm به دست آمد.

#### تأثیر دبی هوا

همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است میزان دبی هوا می‌تواند تأثیر زیادی بر روی راندمان جاذب نانوگرافن داشته باشد. دبی هوا در مقادیر ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی لیتر در دقیقه با ۳۰ میلی گرم جرم جاذب و غلظت زایلن ۵۰ ppm، تأثیر زیادی بر کارایی جاذب نانوگرافن داشت. راندمان حذف NG به ترتیب برابر با ۹۶/۸، ۹۳/۸ و ۸۹/۶ درصد بود. نتایج نشان داد که مقادیر کارایی از منحنی نرمال تبعیت نمی‌کنند. نتایج نشان داد که بین راندمان در دبی‌های مختلف تفاوت معنی‌داری وجود دارد ( $P\text{-value} < ۰.۰۰۱$ ).



شکل ۴: تاثیر توام غلظت و مقدار جاذب بر راندمان



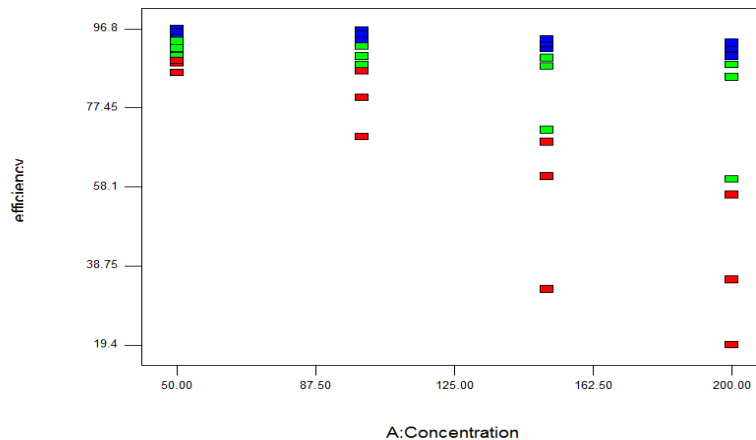
شکل ۵: تاثیر دبی هوا و مقدار جرم جاذب بر راندمان جذب نانوغرافن

افزایش یافت. شکل ۵ اثر توام دبی هوا و مقدار جرم جاذب را بر راندمان حذف نانوغرافن در غلظت‌های مختلف نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است،

شکل ۴ اثر ترکیبی غلظت و مقدار جرم جاذب را بر راندمان حذف نانوغرافن در دبی‌های هوا مختلف نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، با افزایش مقدار جاذب و کاهش غلظت، راندمان حذف NG

Design-Expert® Software

Correlation: -0.473  
 Color points by value of  
 B:flow  
 100.00  
 50.00



شکل ۶: تاثیر توأم دبی هوا و غلظت زایلین بر راندمان جذب جاذب نانوگرافن

جدول ۳: نتایج زمان ماند برای حذف زایلین از هوا توسط نانوگرافن ( $p > 0.05$ )

ردیف	مقدار زایلین (mg)	مقدار زایلین جذب شده بر روی NG در یک روز	دبی هوا (mL/min)	جرم جاذب (mg)	زمان ماند (روز)	مقدار زایلین جذب شده بر روی NG بعد از گذشت زمان ماند	بازده (%)
۱	۲/۵۸	۲/۳	۵۰	۱۰	۱	۲/۲۹	۹۹/۹۱
۲	۲/۵۸	۲/۱۴	۵۰	۱۰	۳	۲/۱۲	۹۹/۰۶
۳	۲/۵۸	۲/۰۸	۵۰	۱۰	۷	۲/۰۱	۹۶/۶
۴	۲/۵۸	۲/۳۲	۵۰	۱۰	۲۱	۲/۱۸	۹۳/۹

### بحث

در این مطالعه کارایی نانو جاذبهای NG و NGO برای حذف زایلین از هوا مورد بررسی قرار گرفت. در مطالعات مختلف از ترکیبات نانو برای حذف آلاینده‌های VOC و بویژه زایلین استفاده شده است. در مطالعه‌ای از Şakir Ece (۲۰۲۳) از نانوجاذب مغناطیسی برای حذف فاز گازی بنزن، زایلین و اتیل بنزن استفاده شد و کارایی جذب بالایی بدست آمد که نشان از پتانسیل بالای ترکیبات نانو از نظر ظرفیت جذب و کارایی استفاده مجدد است (۳۷). همچنین در مطالعه HA Rangkooy (۲۰۲۰) نانوذرات به خوبی روی کربن فعال پوشانده شدند. با توجه به نتایج حذف فوتوکاتالیستی، راندمان حذف فوتوکاتالیستی زایلین توسط  $AC/ZnO$  ۵٪،  $AC/TiO_2$  ۱۵٪ و  $AC/3TiO_2$  توسط  $ZnO$  به ترتیب ۸۰/۱، ۸۹ و ۹۵/۱٪ بدست آمد (۳۸)

با افزایش مقدار جرم جاذب و کاهش دبی هوا، راندمان حذف NG افزایش یافت. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، راندمان جذب در غلظت‌ها و دبی هوای کمتر، بالاتر است.

### زمان ماندگاری جاذب NG

در این مطالعه اثر زمان ماند نانوگرافن بر حذف زایلین از هوا بررسی شد. برای این منظور با توجه به جرم زایلین اضافه شده به جاذب پس از عبور هوای حاوی زایلین از روی آن و مقدار جرم نهایی زایلین بر روی جاذب جاذب در روزهای مختلف بازده محاسبه شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که زمان ماند بر روی نانوگرافن معنی‌دار بود و با توجه به بازده بدست آمده زمان ماندگاری بر روی جاذب نانو گرافن قابل ملاحظه می‌باشد.

خوشه‌های تترامر پلاتین (Pt)، پالادیوم (Pd)، طلا (Au) و نقره (Ag) رسوب شده بر روی گرافن‌های به‌عنوان مواد جذب بالقوه برای m-xylene با استفاده از محاسبات تئوری تابعی چگالی (DFT) مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که Pt<sup>4+</sup>-DG و Pd<sup>4+</sup>-DG، m-xylene را از طریق فرآیند جذب شیمیایی جذب می‌کنند، در حالی که Ag<sup>4+</sup>-DG و Au<sup>4+</sup>-DG، m-xylene را از طریق جذب فیزیکی جذب می‌کنند. این بینش برای استفاده و توسعه مواد مبتنی بر کربن برای کاربردهای حذف ترکیبات آلی فرار (VOC) ارزشمند است، زیرا مواد مبتنی بر جذب فیزیکی به‌عنوان جاذب مناسب هستند در حالی که همتایان جذب شیمیایی آنها به‌عنوان کاتالیزور در یک واکنش اکسیداسیون مناسب هستند. همچنین در مطالعه Yiu Fai Tsang (۲۰۲۰) (۴۶) عنوان شد مواد مبتنی بر گرافن جاذب‌های موثری برای VOC‌های قطبی و غیر قطبی هستند. به‌طور کلی، مواد مبتنی بر گرافن یک پلت فرم عالی برای بهبود حذف جذبی VOC‌های معطر هستند. این ساختارها نه تنها مساحت سطح بالاتر، بلکه الکترون‌های π را برای برهمکنش با VOC‌های معطر فراهم کردند. علاوه بر این، ساختارهای مبتنی بر گرافن نیز در بهبود پارامترهای جذب چندین ساختار دیگر، مانند پلیمرها و پلیمرهای هماهنگ، عالی هستند.

بطور کلی نتایج مختلف نشان‌دهنده راندمان‌های بالاتر نانوغرافن هستند. این نشان می‌دهد که نانوغرافن به‌طور کلی پتانسیل بالایی برای جذب دارد. در مطالعه V Rajeshkumar (۲۰۲۳) زایلن با استفاده از یک جاذب کربن فعال با سطوح اصلاح شده از یک ماده طبیعی به نام دانه آووکادو که با استفاده از دی‌اکسید تیتانیوم پوشیده شده است با راندمان ۹۳ درصد توسط جاذب جذب شد (۴۷). در مطالعه Sankararamakrishnan (۲۰۱۹) میکروسفرهای کربن (LCM) و نانولوله‌ها (LCNT) در شرایط دینامیکی برای حذف تولوئن، اتیل بنزن و O-Xylene (TEX) مورد ارزیابی قرار گرفتند. ظرفیت‌های بالاتری برای کامپوزیت‌های تیمار شده با قلیایی مشاهده شد و ظرفیت حذف تولوئن از سایر هیدروکربن‌های

که بدلیل حضور ناذرات بوده است. در مطالعه PD Tuan (۳۹) (۲۰۱۸) نیز از نانومواد مبتنی بر نانولوله‌های کربنی چند دیواره اکسید شده و CNT‌های اولیه برای حذف سه ایزومر زایلن از نمونه‌های هوا استفاده شد و نتایج نشان داد نانولوله‌های کربنی اکسید شده با گروه‌های کربونیل به‌طور قابل توجهی ظرفیت جذب آن را برای این ایزومرها افزایش داد. مقایسه عملکرد جذب نشان می‌دهد که چارچوب بین این جاذب‌ها به دلیل خواص پراکندگی و برهمکنش الکترواستاتیکی بین ایزومرهای زایلن و سطح CNT‌های اکسید شده متمایز می‌شود. بطور کلی همگی این مطالعات نشان‌دهنده کاربرد انواع نانوذرات و پتانسیل بالای آنها در حذف VOC‌ها هستند. در مطالعات مختلف بیان شده است که نانو گرافن متخلخل به دلیل سطح ویژه بزرگ و حجم منافذ بالا مزایای قابل توجهی نسبت به سایر مواد جاذب دارد (۴۰-۴۲). در مطالعه حاضر حداکثر راندمان جذب نانوغرافن و نانوغرافن اکسید برای حذف زایلن از هوا به ترتیب ۹۶/۸ درصد و ۲۱ درصد بدست آمد. در مطالعه Abdouss (۲۰۱۵) عنوان شد نانوغرافن با توجه به حجم منافذ بالا، سطح ویژه بزرگ و اندازه منافذ کوچک، ظرفیت جذب بالایی در حذف بنزن، تولوئن و زایلن به ترتیب برابر با ۱۲۳/۴۵، ۱۱۸/۸۳ و ۱۲۵/۳۶ گرم در گرم نانوجاذب دارد (۴۲). در مطالعه شیرخانلو (۲۰۱۹) نیز زایلن از هوای محیطی مبتنی بر اکسید بیسموت جفت شده به نانو گرافن و اکسید گرافن ناهمگن، بر اساس BONPs و BONPs-NG/NGO به ترتیب با راندمان ۳۸/۸ درصد و ۹۸/۷ درصد حذف شد (۹). در مطالعه Ho Seon Ahn توسط گرافن مزوپور منبسط شده با حرارت، راندمان جذب بالایی برای تولوئن (۹۸/۳-۹۲/۷) و زایلن (۹۸-۹۶/۷) نشان داد و قابلیت استفاده مجدد آن قابل توجه بود (۴۳) که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. همچنین در مطالعه Ahn HoSeon (۴۴) (۲۰۱۹) پودر گرافن منبسط شده با حرارت، راندمان جذب بالایی برای زایلن (۹۸-۹۶/۷) نشان داد و در مطالعه Supawadee Namuangruk (۲۰۱۵) (۴۵)

از نانوذرات سیلیس متخلخل اولیه بدست آمد. نیروهای پراکندگی بین جاذب‌ها و جاذب‌ها عامل اولیه‌ای بود که بر ظرفیت جذب نانوذرات سیلیس متخلخل اصلاح‌شده با سطح تأثیر گذاشت. همچنین، بر اساس مطالعات مشابه، راندمان جذب کربن فعال برای BTEX حدود ۷۰٪ بود (۵۵،۵۳)، در حالی که نانوگرافن مورد مطالعه کارایی بالاتری نسبت به جاذب معمولی مانند کربن فعال داشت. اگرچه مقدار راندمان جاذب NGO در این مطالعه کمتر از مقدار جاذب کربن فعال مورد استفاده در مطالعات مشابه بود. در مطالعه دیگری توسط گل بابایی و همکاران (۲۰۱۶)، نتایج نشان داد که نانوگرافن ظرفیت جذب بالاتری نسبت به نانوگرافن اکسید و جاذب‌های کربن فعال برای حذف زایلن از هوا دارد. همچنین، آنها نشان دادند که راندمان جذب نانو جاذب‌هایی مانند نانوکربن اکتیو، NGO و NG برای حذف زایلن از هوا بالاتر از کربن اکتیو است (۱۵). قابل ذکر است که راندمان حذف VOC به نوع ورقه نانو گرافن که خالص یا ناخالص باشد و نوع مکانیسم جذب VOC (فیزیکی یا شیمیایی) بستگی دارد (۵۶).

در مطالعات مختلف نشان داده شده است که افزایش دبی هوا باعث کاهش راندمان جذب نانو جاذب‌ها و جاذب‌های دیگر می‌شود (۵۷،۱۶،۵-۵۹). این نتایج با مطالعه حاضر مطابقت دارد. می‌توان گفت با افزایش دبی هوا، زمان واکنش کاهش می‌یابد و مولکول‌های زایلن زمان لازم را برای برهمکنش با سطح جاذب در مکان‌های جذب موجود ندارند.

مقدار جاذب نیز یکی دیگر از متغیرها است که می‌تواند کارایی جذب جاذب‌های مختلف را افزایش دهد که در مطالعات دیگر (۲۰۱۹) ثابت شده است (۱۶). عبارتی افزایش مقدار جاذب احتمال به دام افتادن زایلن توسط جاذب را افزایش می‌دهد. با افزایش سطح جاذب، سطح برهمکنش با مولکول‌ها نیز افزایش می‌یابد. در واقع پتانسیل جذب یک جاذب متناسب با سطح آن است. نانو مواد متخلخل‌تر و دارای سطح بالایی هستند، بنابراین نسبت به مواد معمولی (کربن‌های فعال، زئولیت‌ها و غیره)

آزمایش شده پیشی گرفت. نتایج نشان داد کامپوزیت‌های آماده شده کاندیدای امیدوارکننده‌ای برای درمان TEX و سایر آلاینده‌های آلی هستند (۴۸). در این مطالعات اصلاحات انجام شده بر روی جاذب منجر به افزایش قابل ملاحظه راندمان جذب شده است.

مطابق مطالعات مشابه، راندمان جذب تولوئن از هوا برای NG و NGO به ترتیب ۹۷/۳ و ۲۳/۵ درصد بود (۲۳). این امر نشان‌دهنده راندمان جذب پایین نانوگرافن اکسید برای ترکیبات BTEX است. این اختلاف به دلیل تفاوت ساختار سطحی و اندازه جاذب‌های NGO و NG است. به دلیل وجود عملکردهای اکسیژن روی سطح، GO احتمالاً آبگریزی نسبتاً پایینی از خود نشان می‌دهد. در نتیجه، GO ممکن است ظرفیت جذب کمتری برای VOC‌های معطر در مقایسه با همتایان فوق‌الذکر خود نشان دهد (۴۹). در مطالعه Ho Seon Ahn (۲۰۲۲) توسط فرآیند ترموشیمیایی اثر هم‌افزایی اکسید گرافن لایه‌برداری شده حرارتی (TEGO) بر راندمان حذف ترکیبات آلی فرار دیده شد و راندمان حذف بالایی تا  $98 \pm \%$  را نشان داد. این امر به این دلیل بود که ساختار متمایز TEGO تأثیر قابل توجهی بر عملکرد حذف دارد، که تا حد زیادی استراتژی پیکربندی‌های حذف VOC کارآمد را تسهیل می‌کند (۵۰). از آنجایی که راندمان جذب نانوگرافن اکسید در مطالعه حاضر در حد انتظار و مطلوب نبود، بهینه‌سازی عوامل موثر بر راندمان جذب انجام نشد. بنابراین جاذب نانوگرافن اکسید به عنوان یک جاذب مناسب توصیه نمی‌شود. در مطالعات Rang Kui (۲۰۱۹) (۵۱)، رستمی (۲۰۱۲) (۵۲) و شجاعی (۲۰۲۱) (۵۳)، نتایج نشان داد که راندمان حذف بخارات زایلن توسط سایر نانوذرات به ترتیب ۹۰/۸، ۵۶ و ۹۱ درصد است و در مطالعه حاضر، میانگین راندمان حذف زایلن ۸۸/۶ درصد بوده است که نشان‌دهنده کارایی مناسب جاذب نانو گرافن در حذف زایلن از هوا است. در مطالعه Jae-Min Oh (۲۰۲۲) (۵۴) ظرفیت نانوذرات سیلیس متخلخل اصلاح شده برای جذب مولکول‌های بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن از هوا به طور قابل توجهی بالاتر

رو می‌توان انتظار داشت که غلظت بالایی از زایلن نیز در مقادیر جرم جاذب بالاتر حذف شود. پیشنهاد می‌شود بستر مناسبی برای جذب بهینه زایلن روی جاذب ساخته شود و از حداکثر مکان‌های جذب استفاده شود و همچنین می‌توان جاذب نانو گرافن و نانوگرافن اکسید را با مواد دیگر اصلاح نمود تا احتمال به دام انداختن آلاینده روی آن افزایش یابد. علاوه بر این در این حالت می‌توان حداکثر راندمان را در دبی هوای کمتر به دست آورد. این مطالعه نشان داد که راندمان جذب نانوگرافن ۹۶/۸ درصد و در شرایط مشابه تا حدودی بیشتر از دیگر ساختارهای کربنی بود. با توجه به نتایج، جاذب NG این پتانسیل را دارد که برای حذف زایلن از هوا با کارایی مطلوب استفاده شود.

### ≡ کد اخلاق

این پژوهش با رعایت کامل اصول اخلاقی انجام شده است و نیز دارای کد اخلاقی با شماره IR.TUMS.REC.1394.176 می‌باشد.

### ≡ REFERENCES

1. Le HQA, Phan DT. Investigation of BTEX Adsorption on Carbon Nanotubes Cartridges from Air Samples. In: Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publ; 2019. p. 216–22.
2. Hu L, Jia F, Wang S, Shao X, Wang X, Sun Y, et al. The nano-composite of Co-doped g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> and ZnO sensors for the rapid detection of BTEX gases: stability studies and gas sensing mechanism. J Mater Sci. 2021;56(8):5041–52.
3. Bari MA, Kindzierski WB. Ambient volatile organic compounds (VOCs) in Calgary, Alberta: Sources and screening health risk assessment. Sci Total Environ. 2018;631–632:627–40.
4. Cheng Z, Li B, Yu W, Wang H, Zhang T, Bu Z. Risk assessment of inhalation exposure to VOCs in dwellings in Chongqing, China. Heal Build Eur 2017. 2017;7(1):59–72.
5. Jamshidzadeh C, Shir Khanloo H. A new analytical method based on bismuth oxide-fullerene nanoparticles and photocatalytic oxidation technique for toluene removal from workplace air. Anal Methods Environ Chem J. 2019;2(1):73–86.

ظرفیت جذب بیشتری دارند. آلاینده‌های مبتنی بر گاز به طور موثر در نانو مواد جذب می‌شوند. مساحت سطح خاص، ناحیه موجود برای جذب جاذب است. به عنوان یک پیشنهاد می‌توان از NG به عنوان یک جاذب جدید بهینه استفاده کرد و مطالعات بیشتری در این زمینه مورد نیاز است. با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعه، نانوگرافن اکسید جاذب مؤثری برای حذف زایلن از هوا نیست.

### ≡ نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد حداکثر راندمان جذب نانوگرافن و نانوگرافن اکسید برای حذف زایلن از هوا به ترتیب ۹۶/۸ درصد و ۲۱ درصد بدست آمد و مطابق نتایج مطالعه حاضر جاذب نانوگرافن اکسید به عنوان یک جاذب مناسب توصیه نمی‌شود. در این مطالعه، مقدار جرم جاذب‌های مورد استفاده در مقایسه با سایر مطالعات مربوط به جاذب کربن بسیار کم است و در عین حال جاذب نانو گرافن کارایی بالایی در جذب زایلن نشان می‌دهد. از این

6. Park SW, Jeong SY, Yoon JW, Lee JH. General Strategy for Designing Highly Selective Gas-Sensing Nanoreactors: Morphological Control of SnO<sub>2</sub>Hollow Spheres and Configurational Tuning of Au Catalysts. ACS Appl Mater Interfaces. 2020;12(46):51607–15.
7. Maake PJ, Mokoena TP, Bolokang AS, Hintsho-Mbita N, Tshilongo J, Cummings FR, et al. Fabrication of AgCu/TiO<sub>2</sub> nanoparticle-based sensors for selective detection of xylene vapor. Mater Adv. 2022;3(19):7302–18.
8. Kim JM, Kim JH, Lee CY, Jerng DW, Ahn HS. Toluene and acetaldehyde removal from air on to graphene-based adsorbents with micro-sized pores. J Hazard Mater. 2018;344:458–65.
9. Faghihi-Zarandi A, Rakhshshah J, Bahrami Yarahmadi B, Shir Khanloo H. A rapid removal of xylene vapor from environmental air based on bismuth oxide coupled to heterogeneous graphene/graphene oxide by UV photocatalytic degradation-adsorption procedure. J Environ Chem Eng. 2020;8(5):104193.
10. Amann A, Costello BDL, Miekisch W, Schubert J, Buszewski B, Pleil J, et al. The human volatile: Volatile organic compounds (VOCs) in exhaled breath,



- skin emanations, urine, feces and saliva. *J Breath Res.* 2014;8(3):3400-1.
11. Wang H, Xiang Z, Wang L, Jing S, Lou S, Tao S, et al. Emissions of volatile organic compounds (VOCs) from cooking and their speciation: A case study for Shanghai with implications for China. *Sci Total Environ.* 2018;621:1300-9.
  12. Huang RJ, Zhang Y, Bozzetti C, Ho KF, Cao JJ, Han Y, et al. High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China. *Nature.* 2015;514(7521):218-22.
  13. Xu W, Lin K, Ye D, Jiang X, Liu J, Chen Y. Performance of toluene removal in a nonthermal plasma catalysis system over flake-like hzsm-5 zeolite with tunable pore size and evaluation of its byproducts. *Nanomaterials.* 2019;9(2):290.
  14. Niaz K, Bahadar H, Maqbool F, Abdollahi M. A review of environmental and occupational exposure to xylene and its health concerns. *EXCLI J.* 2015;14:1167.
  15. Jafarizaveh M, Shirkhanloo H, Golbabaie F, Tabrizi A, Azam K, Ghasemkhani M. Nobel method for xylene removal from air on nano activated carbon adsorbent compared to NIOSH approved carbon adsorbent. *J Health Saf Work.* 2016;6(1):23.
  16. Bagheri Hosseinabadi M, Timoori S, Faghihi Zarandi A. Functionalized graphene-trimethoxyphenyl silane for toluene removal from workplace air by sorbent gas extraction method. *Anal Methods Environ Chem J.* 2019;2(2):45-54.
  17. Sihaib Z, Puleo F, Garcia-Vargas JM, Retailleau L, Descorme C, Liotta LF, et al. Manganese oxide-based catalysts for toluene oxidation. *Appl Catal B Environ.* 2017;209:689-700.
  18. Sui H, Liu H, An P, He L, Li X, Cong S. Application of silica gel in removing high concentrations toluene vapor by adsorption and desorption process. *J Taiwan Inst Chem Eng.* 2017;74:218-24.
  19. Wang S, Zhang L, Long C, Li A. Enhanced adsorption and desorption of VOCs vapor on novel micro-mesoporous polymeric adsorbents. *J Colloid Interface Sci.* 2014;428:185-90.
  20. Bradley R. Recent developments in the physical adsorption of toxic organic vapours by activated carbons. *Adsorpt Sci Technol.* 2011;29(1):1-28.
  21. Shen Y, Fang Q, Chen B. Environmental applications of three-dimensional graphene-based macrostructures: Adsorption, transformation, and detection. *Environ Sci Technol.* 2015;49(1):67-84.
  22. Zhang X, Gao B, Creamer AE, Cao C, Li Y. Adsorption of VOCs onto engineered carbon materials: A review. *J Hazard Mater.* 2017;338:102-23.
  23. Teymori, Sh., shirkhanloo, H., Mirza Hosseini A. No Title Investigating the absorption of toluene vapors from the air by nanographene and graphene oxide through the design of an atmospheric air simulator pilot. *Appl Chem.* 2018;13(46):203-18.
  24. Wang W, Sun T, Zhang Y, Wang YB. Substituent effects in the  $\pi\pi$  interaction between graphene and benzene: An indication for the noncovalent functionalization of graphene. *Comput Theor Chem.* 2014;1046:64-9.
  25. Gu D, Fein JB. Adsorption of metals onto graphene oxide: Surface complexation modeling and linear free energy relationships. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp.* 2015;481:319-27.
  26. Bai Y, Huang ZH, Kang F. Synthesis of reduced graphene oxide/phenolic resin-based carbon composite ultrafine fibers and their adsorption performance for volatile organic compounds and water. *J Mater Chem A.* 2013;1(33):9536-43.
  27. Moradi O, Maraghe S, Arab-Salmanabadi S. Removal of Safranin Dye Using Graphene Oxide, Activated Carbon Nanocomposites, Aluminum Hydroxide and Oxide Graphene Nanoparticles, Activated Carbon and Cerium Oxide Nanoparticles. *J Color Sci Tech.* 2022;16(1):39-56.
  28. Zhao G, Ren X, Gao X, Tan X, Li J, Chen C, et al. Removal of Pb(II) ions from aqueous solutions on few-layered graphene oxide nanosheets. *Dalt Trans.* 2011;40(41):10945-52.
  29. Gao Y, Li Y, Zhang L, Huang H, Hu J, Shah SM, et al. Adsorption and removal of tetracycline antibiotics from aqueous solution by graphene oxide. *J Colloid Interface Sci.* 2012;368(1):540-6.
  30. Tabrizi A, Golbabaie F, Shirkhanloo H, Jafarizaveh M, Azam K, Yarahmadi R. Evaluation of the adsorption capacity of nano-graphene and nano-graphene oxide for xylene removal from air and their comparison with the standard adsorbent of activated carbon to introduce the optimized one. *J Health Saf Work.* 2016;6(2):25.
  31. Zhao G, Li J, Ren X, Chen C, Wang X. Few-layered graphene oxide nanosheets as superior sorbents for

- heavy metal ion pollution management. *Environ Sci Technol.* 2011;45(24):10454–62.
32. Saghapour Y, Aghaie M, Zare K. Thermodynamic study of lead ion removal by adsorption onto nanographene sheets. *J Phys Theor Chem.* 2013;10(1):59–67.
33. Yang ST, Chen S, Chang Y, Cao A, Liu Y, Wang H. Removal of methylene blue from aqueous solution by graphene oxide. *J Colloid Interface Sci.* 2011;359(1):24–9.
34. Jafarizaveha M, Tabrizia A, Golbabaieib F. A rapid removal of xylene from air based on nano-activated carbon in the dynamic and static systems and compared to commercial activated carbon before determination by gas chromatography. 2022;
35. Faghihi-Zarandi A, Kahkha MRR, Aghebatbekheir MB, Hasheminejad N. Removal of benzene vapor from the air based on novel tantalum metal-organic framework (Ta-MOF) adsorbent by gas flow solid-phase interaction before determination by gas chromatography. *Anal Methods Environ Chem J.* 2021;4(04):36–48.
36. jafarizaveh Jafarizaveh M, Tabrizi A, Golbabaie F. A rapid removal of xylene from air based on nano-activated carbon in the dynamic and static systems and compared to commercial activated carbon before determination by gas chromatography. *Anal Methods Environ Chem J.* 2022;5(03):19–30.
37. Güngör Ç, Şakir Ece M. Competitive adsorption of VOCs (benzene, xylene and ethylbenzene) with Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub>-NH@BENZOPHENONE magnetic nanoadsorbents. *Chem Eng J [Internet].* 2023;475:146034. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894723047654>
38. Rangkooy HA, Jahani F, Ahangar AS. Photocatalytic removal of xylene as a pollutant in the air using zno-activated carbon, TiO<sub>2</sub>-activated carbon, and TiO<sub>2</sub>/ZnO-activated carbon nanocomposites. *Environ Heal Eng Manag.* 2020;7(1):41–7.
39. Hai TD, Tuan PD. Removal of o, m, p-xylene from air samples on oxidized carbon nanotubes cartridges. *Vietnam J Sci Technol.* 2018;56(2A):226–33.
40. Jahangiri M, Shahtaheri SJ, Adl J, Rashidi A, Kakooei H, Rahimi Forushani A, et al. The adsorption of benzene, toluene and xylenes (BTX) on the carbon nanostructures: the study of different parameters. *Fresenius Environ Bull.* 2011;20(4a):1036–45.
41. Vidal CB, Raulino GSC, Barros AL, Lima ACA, Ribeiro JP, Pires MJR, et al. BTEX removal from aqueous solutions by HDTMA-modified Y zeolite. *J Environ Manage.* 2012;112:178–85.
42. Pourmand S, Abdouss M, Rashidi AM. Preparation of nanoporous graphene via nanoporous zinc oxide and its application as a nanoadsorbent for benzene, toluene and xylenes removal. *Int J Environ Res.* 2015;9(4):1269–76.
43. Lim ST, Kim JH, Lee CY, Koo S, Jerng DW, Wongwises S, et al. Mesoporous graphene adsorbents for the removal of toluene and xylene at various concentrations and its reusability. *Sci Rep.* 2019;9(1):10922.
44. Lim SunTaek LS, Kim JiHoon KJ, Lee ChangYeon LC, Koo SangMo KS, Jerng DongWook JD, Wongwises SomChai WS, et al. Mesoporous graphene adsorbents for the removal of toluene and xylene at various concentrations and its reusability. 2019;
45. Junkaew A, Rungnim C, Kunaseth M, Arróyave R, Promarak V, Kungwan N, et al. Metal cluster-deposited graphene as an adsorptive material for m-xylene. *New J Chem.* 2015;39(12):9650–8.
46. Kumar V, Lee YS, Shin JW, Kim KH, Kukkar D, Fai Tsang Y. Potential applications of graphene-based nanomaterials as adsorbent for removal of volatile organic compounds. *Environ Int.* 2020;135:105356.
47. Rajeshkumar V, Chandrakanthamma L, SenthilKumar M, Gokulan R. Enhancement of adsorption efficiency by surface modified avocado seed for xylene removal. *Glob NEST J.* 2023;25(3):130–8.
48. Srivastava I, Singh PK, Gupta T, Sankaramakrishnan N. Preparation of mesoporous carbon composites and its highly enhanced removal capacity of toxic pollutants from air. *J Environ Chem Eng.* 2019;7(4):103271.
49. Kumar V, Lee YS, Shin JW, Kim KH, Kukkar D, Fai Tsang Y. Potential applications of graphene-based nanomaterials as adsorbent for removal of volatile organic compounds. *Environ Int [Internet].* 2020;135:105356. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019332003>
50. Vo TTN, Lim ST, Kim JH, Shim GH, Kim KM, Kweon B, et al. Nanostructured micro/mesoporous graphene: removal performance of volatile organic compounds. *RSC Adv.* 2022;12(23):14570–7.
51. Rangkooy HA, Jahani F, Siahi Ahangar A. Effect of the Type of Ultraviolet on the Photocatalytic Removal of Xylene as a Pollutant in the Air Using TiO<sub>2</sub> Nanoparticles

- Fixed on the Activated Carbon. *J Occup Hyg Eng.* 2019;5(4):26–32.
52. Rostami R, Jonidi Jafari A, Rezaei Kalantari R, Gholami M, Esrafil A. Benzene-toluene-xylene (BTX) removal from polluted airflow by combined filter of zero valence iron and copper oxide nanoparticles on Iranian amended clinoptilolite bed. *J Babol Univ Med Sci.* 2012;14(SUPPL. 1):23–9.
53. Shojaei A, Ghafourian H, Yadegarian L, Lari K, Sadatipour MT. Removal of volatile organic compounds (VOCs) from waste air stream using ozone assisted zinc oxide (ZnO) nanoparticles coated on zeolite. *J Environ Heal Sci Eng.* 2021;19(1):771–80.
54. Shim IK, Kim J, Lee JK, Oh JM, Park JK. Surface-Modified Wrinkled Mesoporous Nanosilica as an Effective Adsorbent for Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylene in Indoor Air. *ACS Appl Nano Mater* [Internet]. 2022 Dec 23;5(12):18138–48.
55. Jafarizaveh M, Tabrizi A, Golbabaie F. A rapid removal of xylene from air based on nano-activated carbon in the dynamic and static systems and compared to commercial activated carbon before determination by gas chromatography. *Anal Methods Environ Chem J.* 2022;5(3):19–30.
56. Anithaa VS, Suresh R, Kuklin A V, Vijayakumar S. Adsorption of volatile organic compounds on pristine and defected nanographene. *Comput Theor Chem.* 2022;1211:113664.
57. Shih Y hsin, Li M syue. Adsorption of selected volatile organic vapors on multiwall carbon nanotubes. *J Hazard Mater.* 2008;154(1–3):21–8.
58. Yao M, Zhang Q, Hand DW, Perram D, Taylor R. Adsorption and regeneration on activated carbon fiber cloth for volatile organic compounds at indoor concentration levels. *J Air Waste Manag Assoc.* 2009;59(1):31–6.
59. Bhuvaneshwari S, Sivasubramanian V. Equilibrium, Kinetics, and Breakthrough Studies For Adsorption of Cr(VI) on Chitosan. *Chem Eng Commun.* 2014;201(6):834–54.