



## Research Paper

## Structural Engineering of Activated Carbon Fibers Derived from Cigarette Butts for Fast Oily Materials Adsorption

Zahra Ranjkesh<sup>1</sup>, Fatemeh Sadat Mousavi<sup>1</sup>, and Komeil Nasouri<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

<sup>2</sup>Assist. Professor, Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

### Paper Information

**Received:** December 26, 2021

**Revised:** February 08, 2022

**Accepted:** February 09, 2022

### Keywords:

Carbonization

Cigarette Butts

Oil Adsorption

Recycling

\*Corresponding author:

[k.nasouri@iut.ac.ir](mailto:k.nasouri@iut.ac.ir)



### Abstract

In recent years, an effective recycling process from smoked cigarette butts is the main challenge for decreasing the worldwide environmental pollution. Therefore, low-cost activated carbon fibers (ACFs) are synthesized by a carbonization/ activation process derived from smoked cigarette filters, in which potassium hydroxide (KOH) acts as the chemical activation agent. The KOH-treated filters were added to a tube oven and heated at various rates and held at 800 °C for 1 h under a nitrogen atmosphere. The effects of various synthesis procedures on surface morphology, microstructure, and porosity of the synthesized ACFs were investigated. The surface morphology and microstructural analysis of ACFs displayed that the porous spots and oxygen-containing groups (COOH, –OH, and C=O) are formed on the surfaces of fibers. The obtained results displayed that the synthesized ACFs have developed porous structures with fibrous shapes. The ACFs with maximum carbon yield, surface area, and total pore volume of 29.41 %, 855 m<sup>2</sup>/g, and 0.7431 cm<sup>3</sup>/g were synthesized at a KOH concentration of 10 g/l, a heating rate of 2 °C/min, and carbonization temperature of 800 °C. This study presented an engineering process for the production of ACFs through recycling smoked cigarette butts with chemical activation protocol.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access paper distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



### Introduction

Smoked cigarette butts are one of the main wastes in urban society. In recent years, the effective recycling process from smoked butts is the main challenge for decreasing worldwide environmental pollution. The cigarette butts consist of a filter, paper, tobacco, and adhesive. The main part of smoked butts is cellulose acetate (CA) fibers. The CA contains a suitable carbon content and recommended precursor for the production of activated carbon fibers (ACFs). ACFs with narrow distribution of pore size due

to their outstanding properties such as high surface area and flexibility are excellent candidates for high performance adsorption materials. ACFs have been a unique kind of adsorption materials because of the fast adsorption and desorption rates. Low-cost ACFs are synthesized by a carbonization/ activation process derived from smoked cigarette filters, in which potassium hydroxide (KOH) acts as the chemical activation agent. There are no researches on the production of ACFs from smoked cigarette butts with high specific surface



area for fast oily materials adsorption. The ACFs derived smoked cigarette butts were synthesized by the carbonization process, in which KOH as the chemical activation agent. The effect of the carbonization rate on the oil adsorption properties of ACFs was investigated.

### Material and Methods

The smoked cigarette butts with brown color are washed with distilled water several times and the additional impurities were separated. The clean cigarette filters were stirred in 10 g/L KOH solution as a chemical activation agent. The KOH- treated filters were added to a tube oven and heated at various rates from 2 to 10 °C/min and held at 800 °C for 1 h under a nitrogen atmosphere. The synthesized activated carbon fibers were rinsed several times with dilute hydrochloric acid solution and distilled water until pH became neutral. The effects of various synthesis procedures on surface morphology, microstructure, and porosity of the synthesized activated carbon fibers were investigated. The obtained activated carbon fibers samples were coded and shown in Table 1.

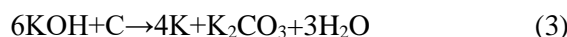
Table 1 Preparation parameters of activated carbon fibers derived from cigarette butts

Code	KOH Concentration (g/l)	Heating Rate (°C/min)	Pyrolysis Temperature (°C)
KOH-2	10	2	800
KOH-6	10	6	800
KOH-10	10	10	800

### Results

The surface morphology and elemental analysis of activated carbon fibers displayed that the porous spots and oxygen-containing groups (COOH, -OH, and C=O) are formed on the surfaces of fibers. The activated carbon fibers samples with increasing activation rates increased the number and size of the damaged surface with continuous fibers morphology. Therefore, decreasing the heating rates increases the surface area and porosity of activated carbon fibers. The obtained results displayed that the synthesized activated carbon fibers have developed porous structures with fibrous shapes. The activated carbon fibers with maximum carbon yield, surface area, and total pore volume of 29.41 %, 855 m<sup>2</sup>/g, and 0.7431 cm<sup>3</sup>/g were synthesized at a KOH concentration of 10 g/L, a heating rate of 2 °C/min, and carbonization temperature of 800 °C. The decrease in yield values can be ascribed to the increase of

chemical reactions between the precursor and KOH in high temperature according to the activation mechanisms (Eq.1-3).



The D- and G- bands in Raman spectra have happened at ~ 1330 and ~ 1580 cm<sup>-1</sup>, respectively. These data are displayed the processing parameters did not change the band positions. The D- and G- bands intensities ratios of activated carbon fibers show an increase with increasing activation rate, which recommends that the amorphous carbons are established in the activated carbon fibers. The surface area, mesoporous contents, and carbonic structure of activated carbon fibers can be controlled with investigation levels of activation rates. Fig. 1 displays the oil adsorption capacity of synthesized activated carbon fibers as a function of times. The synthesized activated carbon fibers display a very high level of oil adsorption rate and capacity with sorption of 3-8 g/g values in 30 s. The oil adsorption capacity and the rate increased with decreasing activation rates and direct relation with carbonic structure and porosity of activated carbon fibers.

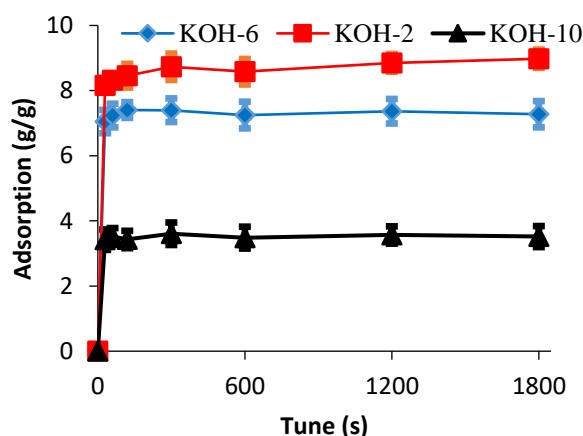


Fig. 1 Oil adsorption isotherms of activated carbon fibers as a function of time

### Conclusions

This research successfully displayed a facile process for the production of ACF from KOH-treated smoked cigarette butts with superior structure. The FESEM, EDS, and Raman analyses demonstrated the fibrous structure and hydrophobic properties of ACFs. The KOH-2 sample has a higher oil adsorption capacity (8.16±0.22 g/g) than the other synthesized KOH-treated ACFs.

**Data Availability**

The data used in this research are presented in the paper.

**Conflicts of interest**

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: [www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

مقاله پژوهشی

## مهندسی ساختار الیاف کربن فعال مشتق شده از ته سیگار برای جذب سریع مواد نفتی

زهرا رنجکش<sup>۱</sup>، فاطمه سادات موسوی<sup>۱</sup> و کمیل نصوری<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناس ارشد، گروه مهندسی الیاف، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه مهندسی الیاف، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

### اطلاعات مقاله

### چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۱۰/۰۵]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۱۱/۱۹]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۱۱/۲۰]

### واژه‌های کلیدی:

بازیافت  
ته‌سیگار  
کربنیزاسیون  
جذب روغن

### \*نویسنده مسئول:

[k.nasouri@iut.ac.ir](mailto:k.nasouri@iut.ac.ir)



در سال‌های اخیر، معرفی فرآیند مؤثر برای بازیافت ته سیگارهای استفاده‌شده به‌عنوان یک چالش اصلی برای کاهش آلودگی محیط‌زیست در کل جهان مطرح است؛ بنابراین بدین منظور الیاف کربن فعال (ACFs) به‌وسیله فرآیند پیرولیز/فعال‌سازی با استفاده از عامل فعال‌ساز شیمیایی پتاسیم هیدروکسید (KOH) از ته سیگار تولید شدند. فیلترهای عمل شده با KOH در یک کوره تیوبی با نرخ‌های گرمایش مختلف و نگهداری به مدت یک ساعت در دمای  $800^{\circ}\text{C}$  تحت محیط نیتروژن قرار گرفتند. تأثیرات روش‌های مختلف تولید بر روی ساختار سطحی، ریزساختار و تخلخل ACFs مورد مطالعه قرار گرفتند. ساختار سطحی و تحلیل ریزساختار ACFs نشان دادند که مناطق متخلخل و گروه‌های حاوی اکسیژن ( $\text{COOH}$ ،  $\text{OH}$ ،  $\text{C=O}$ ) بر روی سطح نمونه‌ها شکل گرفته‌اند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، نمونه‌های ACFs تولیدشده دارای ساختار متخلخل با حفظ شکل الیاف است. نمونه ACFs با بالاترین مقدار بازده کربنی، سطح مخصوص و حجم کل مناطق متخلخل به ترتیب در  $29/41\%$ ،  $855\text{ m}^2/\text{g}$  و  $0/7431\text{ cm}^3/\text{g}$  با غلظت  $10\text{ g/l}$  KOH، نرخ گرمایش  $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$  و دمای کربنیزاسیون  $800^{\circ}\text{C}$  به‌دست‌آمده است. این مطالعه یک فرآیند مهندسی موفق برای بازیافت ته سیگار به‌وسیله تبدیل آن‌ها به ساختارهای ACFs با استفاده از فرآیند فعال‌سازی شیمیایی جهت کاربرد جذب مواد نفتی ارائه شده است.

### ۱- مقدمه

متوسط مصرف سرانه ۱۶ عدد سیگار روزانه از ۲۰٪ جمعیت بالای ۱۵ yr در سطح جهان گزارش شده است (Green et al. 2014). این حجم از مصرف با تولید مقدار زیادی سیگار در سال همراه است. مقدار دفع ته سیگار نیز به‌طور مستقیم به مقدار تولید و مصرف سیگار مربوط می‌شود (Aeslina

یکی از رایج‌ترین اجزای پسماندهای شهری و منابع آبی، ته سیگار است که حاوی یک مخلوط پیچیده از سموم از جمله نیکوتین است. نیکوتین به‌عنوان آلاینده مهم در حال ظهور بوده که به‌طور گسترده در منابع آبی در سراسر جهان یافت می‌شود (Aeslina and Mohajerani 2012). به‌طور



و طرح فیلتر آن بستگی دارد و بسیاری از هیدروکربن‌های سرطان‌زا و الکل‌ها در فیلتر سیگار وجود دارد (Marinello et al. 2020)؛ بنابراین یک چالش جهانی در حال حاضر فیلتر سیگار است که بسیاری از منابع آبی زمین را تهدید می‌کند و به دلیل سمیت پسماند ته سیگار و آلودگی‌های بی‌شمار روش‌های دفن در زمین و سوزاندن برای مدیریت پسماند ته سیگار توصیه نمی‌شود و بازیافت می‌تواند یک انتخاب مناسب در این زمینه باشد.

روش‌های عملیاتی بازیافت ته سیگار را می‌توان به سامانه‌های فیزیکی، شیمیایی و فیزیکی-شیمیایی طبقه‌بندی نمود. در روش فیزیکی، به‌طور معمول فیلترها را از تنباکو کشیده نشده باقی‌مانده و از کاغذ بیرونی جدا کرده و در نهایت خرد می‌کنند و مورد استفاده قرار می‌دهند (Sanz et al. 2018). تعدادی از گزارش‌ها رویکرد شیمیایی برای بازیافت ته‌مانده سیگار را در پیش‌گرفته‌اند و از خیساندن ساده (Cui et al. 2018)، استفاده از روش هیدروترمال<sup>۱</sup> (Murugan et al. 2018) یا از عوامل شیمیایی مختلفی همچون هیدروکلریک اسید (Zhao et al. 2010)، پایرول<sup>۲</sup> (Xiong et al. 2018)، سفیدگری با هیپوکلریت (Ogundare et al. 2017)، سولفوریک اسید و حلال‌های قطبی (Vahidhabanu et al. 2014) اشاره نمود. روش معمول‌تر برای بازیافت ته سیگار، رویکرد فیزیکی-شیمیایی است. به‌طور معمول، روش فیزیکی شامل تمیز کردن و تکه‌تکه شدن نمونه اولیه است و سپس تصفیه شیمیایی به‌منظور دستیابی به محصول نهایی انجام می‌شود (Teixeira et al. 2017). یکی از روش‌های فیزیکی-شیمیایی که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته، تولید الیاف کربن فعال از ته سیگار است. در این گزارش‌ها از محصول نهایی الیاف کربن فعال برای کاربردهای متنوعی نظیر ابرخازن‌ها (Veerabagu et al. 2021)، جذب هیدروژن (Xiong et al. 2021) و جذب مواد شیمیایی مختلف (Zhang et al. 2021) استفاده کرده‌اند. در پژوهشی (Xiong et al. 2018) از فیلتر سیگار از عامل فعال‌ساز پتاسیم هیدروکسید (KOH) با آهنگ گرمایش  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  و در دمای نهایی  $800^{\circ}\text{C}$  با زمان ماند ۲ h برای تولید مواد کربنی متخلخل استفاده نمودند که نمونه نهایی با سطح مخصوص بسیار بالای  $\text{m}^2/\text{g}$  ۳۴۲۰ تولید نمودند. ولی نمونه به‌طور کلی ساختار لیفی خود

(and Mohajerani 2012). در سال ۲۰۰۷، ۱/۳۵ هزار میلیارد سیگار، تنها در ایالات متحده تولید شده است. در حالی که در همین سال ۳۶۰ میلیارد سیگار در این کشور مصرف شده که ۸۳٪ از سیگارها دارای فیلتر بوده است. نرخ تخمین زده شده برای ته سیگار رها شده در جهان حداقل ۴/۵ تریلیون در سال است و وزن این پسماندها در جهان به حدود  $1.2 \times 10^6$  ton/yr می‌رسد (Green et al. 2014). با توجه به عوامل مختلف همچون رشد جمعیت در جهان، پیش‌بینی می‌شود که میزان پسماندهای ته سیگار در سال ۲۰۲۵ به میزان ۵۰٪ نسبت به سال ۲۰۰۰ میلادی افزایش خواهد یافت. علاوه بر این، سهم ته سیگار در بین کلیه پسماندهای جمع‌آوری شده بسیار زیاد است. به‌عنوان مثال، در ۱۹۹۷ از ۵۰۰۰ مرکز در ۹۰ کشور مختلف جهان، ۱۹/۱٪ از پسماندهای جمع‌آوری شده مربوط به ته سیگار بودند در حالی که این میزان در سال ۱۹۹۰ میلادی در همین مراکز در حدود ۱۲٪ از کل پسماندها بوده است (Novotny and Zhao 1999). همچنین در ۲۰۰۹، از مقدار کل  $51.2 \times 10^9$  زباله‌های شهری جمع‌آوری شده در کشور ایالات متحده، حدود ۳۸٪ به ضایعات تنباکو نسبت داده شده است. علاوه بر این، ۲۱٪ از زباله‌های جمع‌آوری شده توسط پویس پاک‌سازی ساحلی بین‌المللی در سال ۲۰۰۹ میلادی مربوط به ته سیگار بوده که دو برابر بیش‌تر از سایر پسماندها می‌باشد (Marinello et al. 2020). از این‌روی بسیاری از پژوهشگران، ته سیگار و پلاستیک‌ها را به‌عنوان دو منبع اصلی شناخته شده از زباله‌های یافت شده در مناطق مختلف همانند مناطق ساحلی در نظر گرفته‌اند (Torkashvand et al. 2020).

مشکل اصلی مرتبط با ته سیگارها سرعت تخریب کند و غلظت بالای محتوای سمی آن‌هاست. به‌طور معمول، استات سلولز از نظر زیست‌تخریب‌پذیری ضعیف است و این خواص، باعث ماندگاری ته سیگارها در محیط می‌شود. زمان‌های مورد نیاز برای این فرآیند به سازوکار تخریب بستگی دارد که انواع مختلفی از آن وجود دارد، به‌عنوان مثال تخریب نوری، تجزیه بیولوژیکی و فرآیندهای مکانیکی یا ترکیبی از این موارد که به دلیل عوامل مختلف به‌طور معمول در محیط‌های بیرونی رخ می‌دهد (Torkashvand et al. 2020). یک فیلتر پس از استفاده دارای دود، انواع مواد شیمیایی سمی و سرطان‌زاست و ترکیب شیمیایی آن به نوع تنباکو استفاده شده، کاغذ سیگار، میزان تهویه و اثربخشی آن

<sup>۱</sup>Hydrothermal  
<sup>۲</sup>Pyrolysis

جدول ۱- عوامل تولید الیاف کربن فعال مشتق شده از ته سیگار  
Table 1 Preparation parameters of activated carbon fibers derived from cigarette butts

Code	KOH Concentration (g/L)	Heating Rate (°C/min)	Pyrolysis Temperature (°C)
KOH-2	10	2	800
KOH-6	10	6	800
KOH-10	10	10	800

## ۲-۲- دستگاه‌ها

دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی<sup>۱</sup> (FESEM) مدل TESCAN MIRA 3 ساخت کشور جمهوری چک برای بررسی ساختار سطحی الیاف کربن فعال تولیدی مورد استفاده قرار گرفت. برای آنالیز عنصری از سطح نمونه‌های تولیدی نیز از طیف‌سنج پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS)<sup>۲</sup> متصل به دستگاه FESEM استفاده شد. ریزساختار نمونه‌های الیاف کربن فعال تولید شده به وسیله روش طیف‌سنجی رامان مورد مطالعه قرار گرفتند. برای این منظور از دستگاه طیف‌سنج رامان مدل Takram APUS++ ساخت شرکت تکسان ایران با نور لیزر ۵۳۲ nm در محدوده عدد موجی  $100-4000 \text{ cm}^{-1}$  استفاده شد. تخلخل نمونه‌های الیاف کربن فعال به وسیله دستگاه آنالیز جذب/واجذب نیتروژن مدل Belsorp mini II ساخت ژاپن در دمای K ۷۷ انجام شد. سطح مخصوص ( $S, \text{m}^2/\text{g}$ ) نمونه‌ها به وسیله تئوری برونائو-امت-تلر (BET) از منحنی جذب نیتروژن در محدوده فشار نسبی ۰/۰۵-۰/۲۵ به دست آمد. حجم کل مناطق متخلخل ( $V_t, \text{cm}^3/\text{g}$ ) نمونه‌ها به وسیله میزان نیتروژن جذب شده در فشار نسبی ۰/۹۹ محاسبه شد. بازده کربنی پیش ماده فیلتر سیگار برای تولید الیاف کربن فعال به روش وزن سنجی مطابق با رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\text{Carbon Yield} = \frac{m_{ACFs}}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

که در آن  $m_0$  وزن فیلتر سیگار عمل شده با محلول KOH و  $m_{ACFs}$  وزن نهایی نمونه الیاف کربن فعال تولیدی است. برای آزمون جذب مواد نفتی، نمونه الیاف کربن فعال به وسیله ترازو چهار رقم اعشار وزن شده و مطابق با (Koseoglu) در روغن موتور غوطه‌ور شدند. پس از گذشت زمان مورد نظر در بازه‌های زمانی مختلف از ۳۰ s الی ۳۰ min، نمونه از محلول

را از دست داده که به همین منظور خواص کاربردی خود را برای بسیاری از کاربردها از دست می‌دهد. از طرف دیگر، امروزه نشت مواد نفتی در منابع آبی موجب خسارات زیست‌محیطی و اقتصادی فراوانی شده است. آلودگی نفتی آب‌ها اثرات مخرب غیرقابل جبرانی را بر زیست‌بوم گیاهان و جانوران آبی به همراه آورده است. تاکنون روش‌های مختلفی نظیر پاک‌سازی مکانیکی، سوزاندن، جامد کننده‌ها و استفاده از جاذب‌ها جهت پاک‌سازی مواد نفتی از آب معرفی شده است (Gupta and Tai 2016). در سال‌های اخیر، استفاده از مواد جاذب همانند بی‌بافت‌های پلی‌پروپیلن (Wei et al. 2003)، ژئولیت (Koushkbaghi et al. 2019)، سیلیکا (Mi et al. 2020) و مواد کربنی (Ahuja et al. 2021) توجهات زیادی را به خود جلب کرده است. در این حوزه مواد کربنی از جمله مواد کربن فعال به دلیل قیمت بسیار پایین، ظرفیت جذب بسیار بالا، سرعت جذب فوق‌العاده و قابلیت استفاده مجدد بسیار خاص به نظر می‌رسند (Gupta and Tai 2016; Luo et al. 2020). بنابراین در پژوهش حاضر، هدف تولید الیاف کربن فعال با حفظ ساختار کلی فیلتر سیگار جهت جذب سریع مواد نفتی از منابع آبی بود.

## ۲- مواد و روش‌ها

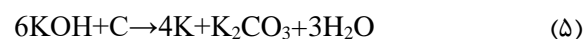
### ۲-۱- تولید الیاف کربن فعال

ته‌مانده‌های سیگار کشیده شده جهت استفاده به عنوان پیش‌ماده در تولید الیاف کربن فعال از سطح شهر اصفهان جمع‌آوری شدند. باقی‌مانده تنباکو، کاغذ بسته‌بندی و روکش روی فیلترها از آن‌ها جدا شدند. فیلترهای سیگار چندین بار به وسیله آب مقطر تحت شستشو قرار گرفتند تا به‌طور کامل تمیز شوند. مقدار ۱ g از فیلتر سیگار در ۱۰۰ ml محلول KOH با غلظت ۱۰ g/l به مدت ۲ h آغشته شدند. فیلتر آغشته شده با KOH تحت عملیات پیرولیز/فعال‌سازی هم‌زمان با آهنگ گرمایش‌های متفاوت ۲، ۶ و  $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  تا دمای  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  تحت گاز نیتروژن و سپس نگهداری به مدت ۱ h در این دما انجام گرفت. نمونه‌های کربن فعال تولید شده چندین بار با محلول رقیق هیدروکلریدریک اسید رقیق و آب مقطر تحت آبکشی قرار گرفت تا محلول اضافی آن دارای pH خنثی شود. نمونه‌های الیاف کربن نهایی مطابق با جدول (۱) کدگذاری شدند.

<sup>1</sup>Field Emission Scanning Electron Microscope

<sup>2</sup>Energy Dispersive X-ray Spectroscopy

کنده شود و بنابراین در نهایت نمونه فعال شده دارای توزیع اندازه حفرات باریکتر خواهد بود که برای مباحث کاربردی متفاوت بسیار مطلوب است.



### ۳-۲- ساختار سطحی ییاف کربن فعال

در شکل (۱) تصاویر FESEM از سطح نمونه‌های ییاف کربن فعال با دو بزرگنمایی مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل (۱) قسمت‌های (الف) تا (ط) با بزرگنمایی‌های مختلف مشاهده می‌شود، روی سطح KOH-2 مناطق متخلخل با حفظ ساختار لیفی شکل نمونه نهایی ایجاد شده است. با افزایش آهنگ گرمایش از نمونه KOH-2 تا KOH-10 میزان آسیب سطحی ییاف به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است که حتی تا حدی شکل ساختاری ییاف را دچار آسیب‌های جدی نموده است. به عبارت دیگر ابعاد مناطق متخلخل بر روی سطح نمونه‌های KOH-6 و KOH-10 افزایش یافته است. این مسئله می‌تواند منجر به کاهش سطح مخصوص نمونه و نیز پارگی ییاف شود. یعنی به جای اینکه مناطق متخلخل در سطح ییاف شکل گیرند به عمق آن‌ها نفوذ یافته است. بنابراین با توجه به تصاویر FESEM آهنگ گرمایش پایین‌تر می‌تواند برای تولید ییاف کربن فعال با سطح مخصوص بالاتر و ابعاد تخلخل کوچک‌تر بهتر عمل کند زیرا در این شرایط واکنش‌های پیرولیز و فعال‌سازی بسیار آهسته‌تر و در مدت‌زمان طولانی‌تر انجام شده است. بنابراین، گونه‌های آزاد شده از سطح نمونه پیش ماده نیز دارای وزن مولکولی پایین‌تر خواهد بود. با توجه به نتایج FESEM، به‌طور کامل مشخص است که این نتایج با بازده کربنی نمونه‌ها تطبیق مناسبی دارند. طیف‌های EDS از ییاف کربن فعال مشتق شده از فیلتر سیگار استفاده شده در شکل (۲) نشان داده شده است.

خارج شده و به نمونه‌ها حدود ۳۰ s برای خروج محلول‌های اضافی از روی سطح زمان داده شد. در نهایت وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. برای هر نمونه، آزمون جذب به تعداد ۳ بار تکرار و با استفاده از رابطه (۲) میزان جذب مواد روغنی اندازه‌گیری شد.

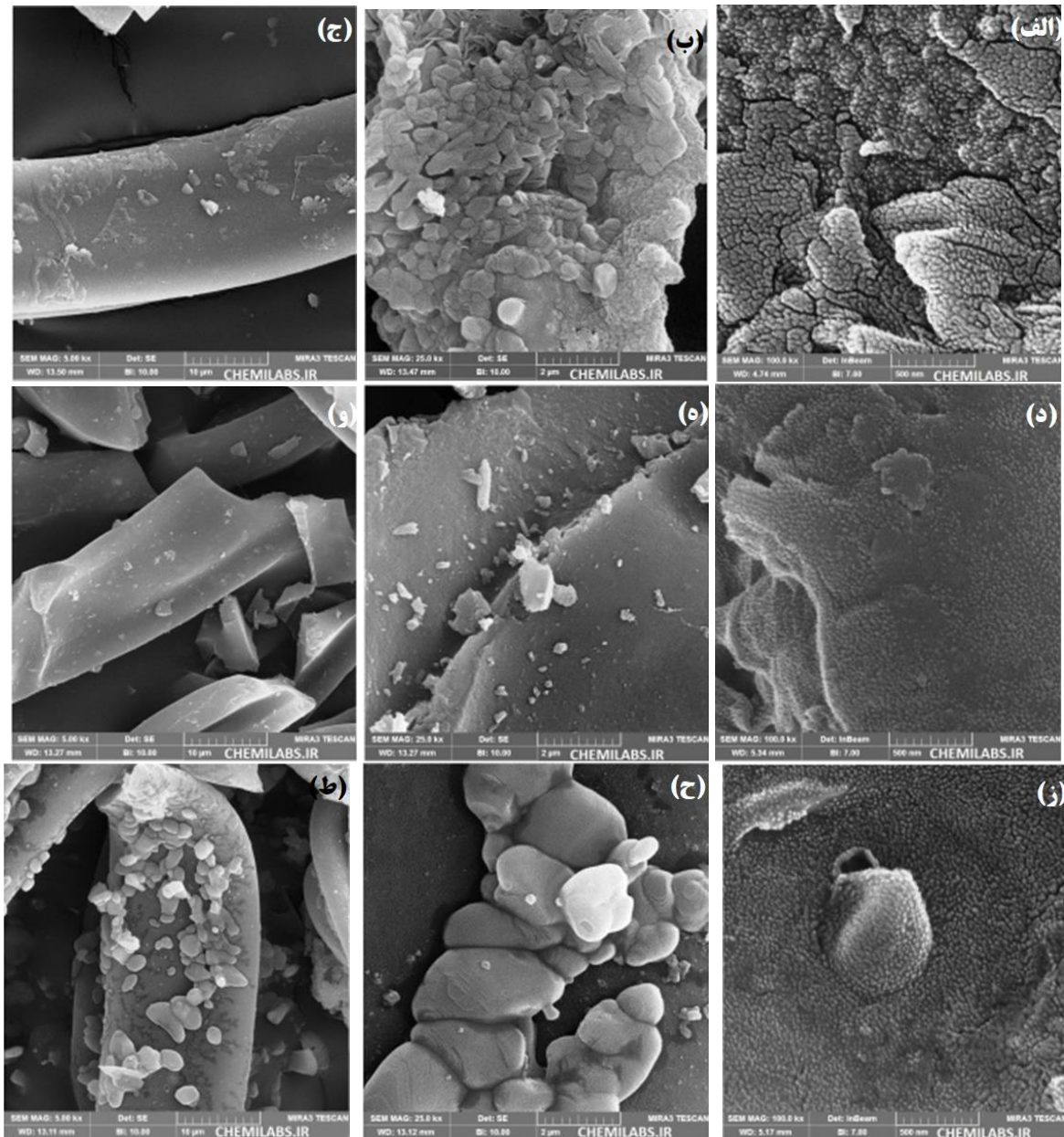
$$\text{Oil-adsorption (g/g)} = \frac{m_{O/F} - m_{ACFs}}{m_{ACFs}} \quad (۲)$$

که در آن  $m_{O/F}$  وزن ییاف کربن فعال آغشته شده به مواد روغنی و  $m_{ACFs}$  وزن نمونه ییاف کربن فعال قبل از آزمون جذب روغن است.

### ۳- یافته‌ها و بحث

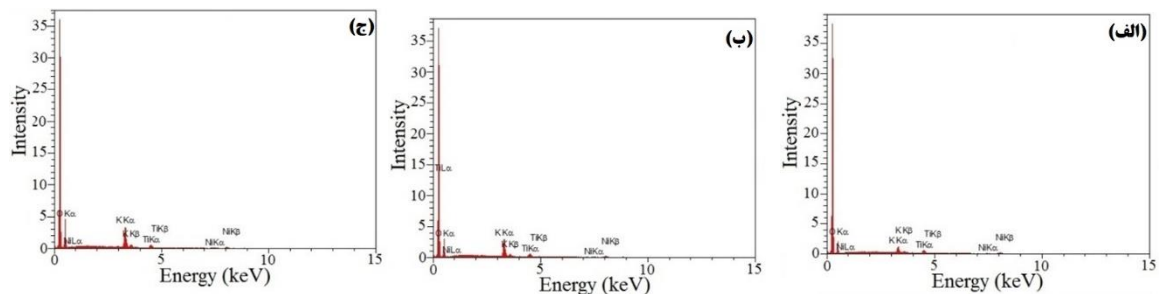
#### ۳-۱- بازده کربنی ییاف

بازده کربنی نمونه‌های تولیدی با استفاده از آهنگ گرمایش‌های متفاوت ۲، ۶ و  $10^\circ\text{C}/\text{min}$  به روش وزنی محاسبه شد. بازده کربنی نمونه‌های KOH-2، KOH-6 و KOH-10 به ترتیب مقادیر ۲۹/۴۱، ۲۴/۵۷ و ۱۹/۰۹ wt% به دست آمدند که نشان‌دهنده کاهش بازده با افزایش آهنگ گرمادهی در فرآیند پیرولیز/فعال‌سازی است. این رفتار را می‌توان به حذف ساختارهای هیدروکربنی فرار با وزن مولکولی بالاتر از سطح نمونه‌های پیش ماده در آهنگ گرمایش‌های بالاتر ربط داد. همچنین میزان بازده کربنی، فیلترهای خام عمل نشده با پتاسیم هیدروکسید نیز در آهنگ گرمایش‌های متفاوت در بازه ۱۸-۱۳ wt% به دست آمد که نشان‌دهنده تأثیر KOH در دستیابی به میزان بازده بالاتر در فرآیند تولید ییاف کربن است. میزان بازده کربنی بالاتر در نمونه‌های عمل شده با KOH نسبت به نمونه‌های عمل نشده را می‌توان به تغییر شرایط فعال‌سازی نمونه با استفاده از KOH مطابق روابط (۳) الی (۵) مرتبط ساخت که در طی آن در حضور گونه فعال پتاسیم هیدروکسید ساختار سطحی پیش ماده به وسیله واکنش‌های اکسایشی در مقابل کاهش وزن پایدارتر خواهد شد و بنابراین در نتیجه آن می‌توان به بازده‌های کربنی بالاتر رسید (Rodenas et al. 2003). همچنین از طرف دیگر علیرغم جلوگیری از کاهش وزن زیاد نمونه، موجب می‌شود که گونه‌های فرار با وزن مولکولی بسیار پایین از سطح نمونه



شکل ۱- تصاویر FESEM با بزرگنمایی مختلف از نمونه‌های الیاف کربن فعال: الف، ب، ج- KOH-2، د، ه، و- KOH-6، ز، ح، ط- KOH-10

Fig. 1 FESEM photographs of various magnifications from activated carbon fibers: a), b), c) KOH-2, d), e), f) KOH-6, and g), h), i) KOH-10



شکل ۲- طیف‌های EDS از نمونه‌های الیاف کربن فعال: الف- KOH-2، ب- KOH-6، ج- KOH-10

Fig. 2 EDS spectra of activated carbon fibers: a) KOH-2, b) KOH-6, and c) KOH-10

طیف‌ها به‌طور کلی پیک‌های مربوط به عناصر کربن (C)، اکسیژن (O)، پتاسیم (K)، تیتانیوم (Ti) و نیکل (Ni) را از



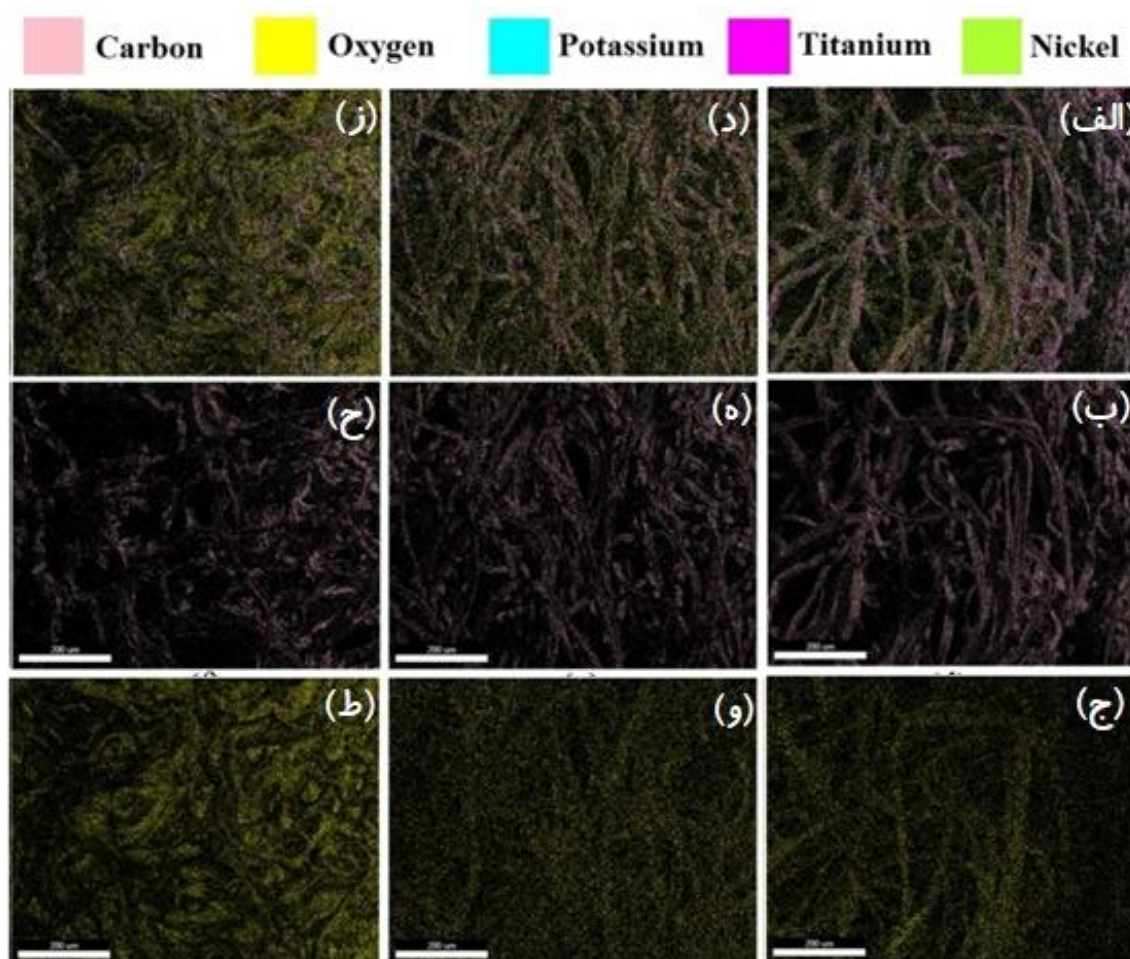
نیز احتمالاً به خاطر مقادیر باقی مانده نانوذرات شکل گرفته در فیلتر سیگار در حین مصرف آنها بوده که در نمونه نهایی الیاف کربن فعال نیز خود را نشان داده است. مقادیر بالای اکسیژن نشان دهنده ایجاد گروه‌های حاوی اکسیژن همانند -OH و -COOH در سطح نمونه‌ها بوده و مقادیر آن با افزایش آهنگ گرمایش، افزایش می‌یابد. باید توجه داشت که وجود گروه‌های حاوی اکسیژن در سطح نمونه، نشان دهنده صفحات کربنی آسیب دیده یا به عبارت دیگر حضور مناطق متخلخل در سطح نمونه را اثبات می‌کند. البته از طرف دیگر اگر مقادیر این گروه‌ها خیلی زیاد باشند نشان دهنده آسیب بالای سطح نمونه و تولید ساختارهای کربن فعال پودری خواهد بود.

خود نشان می‌دهند. مقادیر درصد وزنی این عناصر در نمونه‌های مختلف الیاف کربن فعال تولید شده با توجه به طیف‌های شکل (۲) در جدول (۲) لیست شده است.

جدول ۲- آنالیز عنصری الیاف کربن فعال مشتق شده از ته سیگار  
Table 2 Elemental analysis of activated carbon fibers surface derived from cigarette butts

Code	C	O	K	Ti	Ni
KOH-2	69.47	23.09	4.56	2.78	0.10
KOH-6	60.57	28.24	8.69	2.43	0.07
KOH-10	55.77	33.01	8.80	2.22	0.20

همان‌طور که مشاهده می‌شود نمونه‌ها به‌طور عمده دارای عناصر کربن و اکسیژن بوده که نشان دهنده این است که عملیات کربنیزاسیون و فعال‌سازی به‌خوبی بر روی سطح نمونه‌ها انجام شده‌اند. مقادیر کم مربوط به نیکل و تیتانیوم



شکل ۳- تصاویر دوعبده EDS به ترتیب برای کل عناصر، کربن و اکسیژن در سطح نمونه‌های الیاف کربن فعال: الف، ب، ج- KOH-2، د، ه- KOH-6 و ز، ح، ط- KOH-10

Fig. 3 Map EDS spectra of activated carbon fibers: a), b), c) KOH-2, d), e), f) KOH-6, and g), h), i) KOH-10 for total elements, carbon, and oxygen, respectively

دوعبده از سطح نمونه‌ها، پراکندگی عناصر مختلف بر روی سطح نمونه را با دقت مناسبی بررسی نمود و بدین شیوه

روش طیف‌سنجی EDS یک روش قدرتمند برای آنالیز عنصری نمونه‌هاست. در این روش می‌توان با ثبت تصاویر

شده از فیلتر سیگار در شکل (۴) نشان داده شده است. مواد کربنی به طور متداول دو پیک اصلی در محدوده ۱۳۶۰-۱۳۵۰ و  $1580-1590 \text{ cm}^{-1}$  به ترتیب مربوط به باندهای D و G را نشان می‌دهند. باند D مربوط به هیبریداسیون  $sp^3$  اتم‌های کربن بوده که در نمونه‌های کربنی نماینده نقص در صفحات بازال کربن است. در مقابل، باند G به عنوان هیبرید  $sp^2$  کربن و در نمونه‌های کربنی، صفحات بلورین بازال کربن را نشان می‌دهد (Mirzaee and Dehghanian 2020; Lu et al. 2020; Arianpour et al. 2016).

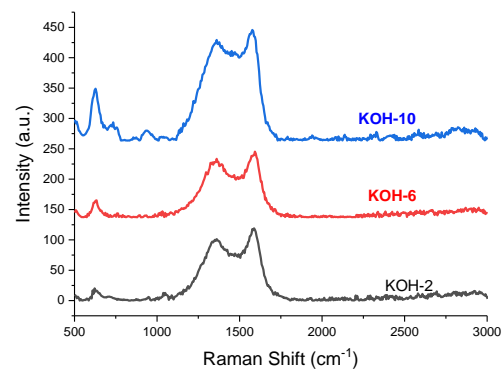
جدول ۳- شاخصه‌های ریزساختاری الیاف کربن فعال تولیدشده از پسماند ته سیگار

Table 3 Microstructural parameters of activated carbon fibers derived from cigarette butts

Code	D-band ( $\text{cm}^{-1}$ )	G-band ( $\text{cm}^{-1}$ )	D-band area (a.u.)	G-band area (a.u.)	R
KOH-2	1361	1588	64.98	35.02	1.86
KOH-6	1361	1593	65.72	34.28	1.92
KOH-10	1361	1577	70.74	29.26	2.42

در جدول (۳) مقادیر مربوط به پیک‌های D و G نشان داده شده است. پیک D در تمام نمونه‌های الیاف کربن فعال در  $1361 \text{ cm}^{-1}$  مشاهده شد. پیک G در نمونه‌های KOH-2، KOH-6 و KOH-10 به ترتیب در  $1588$ ،  $1593$  و  $1577 \text{ cm}^{-1}$  به دست آمدند. در نمونه‌های الیاف کربن فعال در شرایط تولید متفاوت یکی از عوامل مهم، نسبت شدت پیک D به G (یعنی R) در نمونه مورد نظر است که در جدول (۳) مقادیر آن برای نمونه‌های تولیدی نشان داده شده است. مقدار R در یک نمونه نشان‌دهنده مقدار آسیب صفحات بازال کربن در الیاف کربن فعال است هر چه مقدار آن بیشتر باشد یعنی نقص در صفحات کربن افزایش یافته و به عبارت دیگر مناطق متخلخل در نمونه رشد پیدا کرده و در نتیجه گروه‌های فعال نیز در نمونه بیشتر خواهند بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش آهنگ گرمایش در تولید نمونه‌های الیاف کربن فعال مقدار R افزایش یافته است. بنابراین، نتایج رامان با توجه به وجود پیک‌های D و G در نمونه‌ها نشان‌دهنده شکل‌گیری ساختار الیاف کربن فعال در هر سه نمونه می‌باشد. از طرف دیگر با توجه به مقادیر R و افزایش آن با آهنگ گرمایش نشان‌دهنده نقص بالاتر یا به عبارت دیگر شکل‌گیری گروه‌های فعال حاوی اکسیژن در این نمونه-

می‌توان اطلاعات بسیار مناسبی از شیمی سطح نمونه‌ها به دست آورد. از این‌روی تصاویر دوبعدی EDS از عناصر موجود در سطح نمونه‌های KOH-2، KOH-6 و KOH-10 به ترتیب در شکل (۳) قسمت‌های (الف)، (ب) و (ج) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود عناصر کربن، اکسیژن، پتاسیم، تیتانیوم و نیکل به طور تقریباً یکنواخت در کل سطح نمونه‌ها پخش شده‌اند. مقادیر این عناصر در نمونه‌ها با یکدیگر متفاوت‌اند، بنابراین آهنگ گرمایش نقش اصلی را بر روی ساختار سطح الیاف کربن فعال دارند. همچنین عناصر کربن و اکسیژن نقش اصلی را در ساختار سطحی نمونه‌ها دارند و با افزایش آهنگ گرمایش، مقدار عنصر اکسیژن بر روی سطح نمونه به صورت جدی افزایش یافته است و نیز توزیع آن به صورت یکنواخت در نمونه‌هاست؛ بنابراین گروه‌های حاوی اکسیژن همانند OH- و COOH- در سطح نمونه‌ها به صورت کاملاً یکنواخت بوده و مقادیر آن‌ها با افزایش آهنگ گرمایش، به صورت جدی افزایش یافته است. افزایش گروه‌های حاوی اکسیژن بر روی سطح نمونه‌های کربنی نشان‌دهنده تغییر شیمی سطح نمونه‌های کربنی بوده و بنابراین از ویژگی آب‌گریزی نمونه تا حدی کاسته خواهد شد. به بیان دیگر می‌توان پیش‌بینی نمود که با افزایش آهنگ گرمایش به دلیل کاهش آب‌گریزی ساختار مواد کربنی، تمایل مواد به جذب مواد نفتی کاهش خواهد یافت.



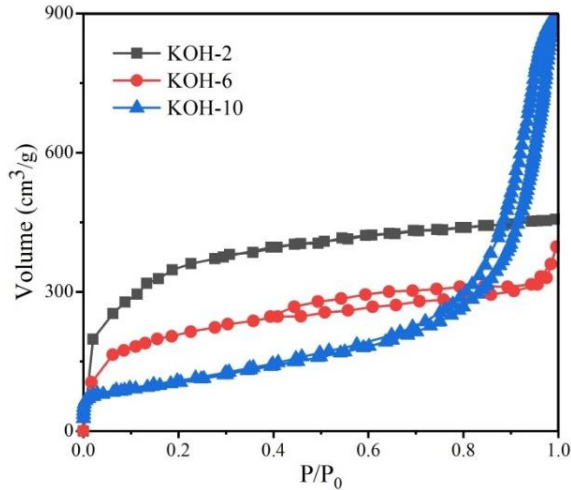
شکل ۴- طیف‌های رامان از نمونه‌های الیاف کربن فعال مشتق شده از ته سیگار

Fig. 4 Raman spectra of various activated carbon fibers derived from smoked cigarette butts

### ۳-۳- ریزساختار الیاف کربن فعال

طیف‌سنجی رامان یک روش متداول و بسیار قدرتمند برای بررسی ساختار صفحات گرافیتی در نمونه‌های کربنی است. از این‌روی طیف‌های رامان نمونه‌های الیاف کربن فعال مشتق

مخصوص و سهم مناطق متخلخل در نمونه نهایی کاهش یافته است یعنی در فرآیند تولید الیاف کربن فعال با عامل KOH با تغییر آهنگ گرمایش، تخلخل نهایی محصول به طور کامل کنترل شده است.



شکل ۵- منحنی های جذب/ واجذب نیتروژن از نمونه های الیاف کربن فعال تولید شده

Fig. 5 N<sub>2</sub> adsorption/ desorption isotherms of synthesized activated carbon fibers

### ۳-۵- جذب مواد نفتی در الیاف کربن فعال

در شکل (۶) نتایج جذب مواد نفتی برای نمونه های مختلف الیاف کربن فعال تولیدی به صورت تابعی از زمان در محدوده زمانی ۰ الی ۱۸۰۰ s نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود تمامی نمونه ها دارای سرعت جذب بالا برای مواد نفتی هستند، به طوری که بعد از گذشت حدود ۶۰ s به حداکثر میزان جذب خود رسیده اند. به طور تقریبی بعد از زمان ۶۰ s تمامی نمونه ها جذب محسوسی از خود نشان نداده و به نوعی منافذ آن ها اشباع شده است. نمونه KOH-10 کمترین مقدار جذب مواد نفتی در حدود  $3/42 \pm 0/31$  g/g در ۳۰ s از خود نشان داده اند. در نمونه KOH-6 میزان جذب مواد نفتی به حدود  $7/05 \pm 0/36$  g/g در ۳۰ s رسیده و در نهایت در نمونه KOH-2 میزان جذب مواد نفتی به مقدار  $8/16 \pm 0/22$  g/g افزایش یافته است. با توجه به نتایج طیف سنجی رامان، تخلخل سنجی و جذب مواد نفتی می توان بیان نمود که جذب مواد نفتی در نمونه های کربنی وابسته به دو عامل کلی است. عامل اول تولید یک ساختار کربنی آب-گریز<sup>۵</sup> و بعدی شکل گیری یک شبکه متخلخل در نمونه جاذب کربنی است؛ بنابراین نمونه کربنی KOH-2 به دلیل

هاست. بنابراین، نتایج طیف سنجی رامان با نتایج حاصل از FESEM و EDS در یک راستا هستند.

### ۳-۴- تخلخل در الیاف کربن فعال

یکی از عوامل مهم در کاربرد الیاف کربن فعال، تخلخل آن ها می باشد. در شکل (۵)، ایزوترم های جذب/ واجذب نیتروژن و توزیع اندازه حفرات نمونه های الیاف کربن فعال تولید شده از فیلتر سیگار نشان داده شده است. ایزوترم<sup>۱</sup> جذب نمونه KOH-2 از نوع I و بدون پسماند<sup>۲</sup> جذب/ واجذب است که نشان دهنده ساختار ریزتخلخل<sup>۳</sup> در نمونه مورد نظر است (Kim et al. 2016). نمونه KOH-6 با آهنگ گرمایش  $6^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ، ایزوترم جذب به حالت IV با پسماند نوع H2 در محدود فشار نسبی  $0/4$  الی  $0/9$  در آمده که نشان دهنده سهم مناطق میان تخلخل<sup>۴</sup> بالاتر نسبت به مناطق ریزتخلخل در نمونه الیاف کربن فعال است. با افزایش بیش تر آهنگ گرمایش به مقدار  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  در نمونه KOH-10 ایزوترم جذب به حالت II با پسماند نوع H4 تبدیل شده که نشان دهنده مواد کربنی با ابعاد تخلخل بالاست (Lee et al. 2014). همچنین با توجه به منحنی توزیع اندازه حفرات در شکل (۵) مشخص است که با افزایش آهنگ گرمایش در تولید الیاف کربن فعال، ابعاد حفرات به سمت مقادیر بالاتر حرکت کرده است. به عبارت دیگر ساختار منافذ در حال باز و بزرگ تر شدن هستند. نمونه KOH-2 در مقایسه با نمونه های دیگر الیاف کربن فعال تولید شده دارای سطح مخصوص بالاتر با مقدار  $854/91$  m<sup>2</sup>/g است. همچنین از طرف دیگر حجم مناطق متخلخل در این نمونه نیز بالاتر و در حدود  $0/7431$  cm<sup>3</sup>/g بوده که برای بسیاری از کاربردهای جذب مناسب است. با افزایش نرخ گرمایش از  $2$  به  $6^{\circ}\text{C}/\text{min}$  در نمونه KOH-6 سطح مخصوص و حجم مناطق متخلخل به ترتیب به مقادیر  $415/13$  m<sup>2</sup>/g و  $0/5480$  cm<sup>3</sup>/g کاهش یافته است. در نمونه KOH-10 با نرخ گرمایش  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ، سطح مخصوص و حجم مناطق متخلخل به ترتیب به مقادیر  $186/65$  m<sup>2</sup>/g و  $0/2314$  cm<sup>3</sup>/g کاهش یافته است؛ بنابراین با توجه به نتایج تخلخل سنجی به طور کامل واضح است که در این پژوهش با تغییر آهنگ گرمایش با عامل فعال ساز KOH، به طور پیوسته سطح

<sup>1</sup> Isotherm

<sup>2</sup> Hysteresis

<sup>3</sup> Microporous

<sup>4</sup> Mesoporous

<sup>5</sup> Hydrophobic

#### ۴- نتیجه‌گیری

نمونه‌های الیاف کربن فعال از پیش ماده فیلتر سیگار استفاده شده به روش فعال‌سازی شیمیایی با عامل KOH تولید شدند و با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد:

۱- تصاویر FESEM نشان‌دهنده حفظ ساختار لیفی در نمونه‌های ACFs تولیدی است. همچنین تغییر ساختار سطحی نمونه‌ها با افزایش نرخ گرمایش به‌طور کامل قابل‌مشاهده است.

۲- آنالیز عنصری و طیف‌سنجی رامان الیاف کربن فعال نشان‌دهنده شکل‌گیری صفحات بازال کربن همراه با گروه‌های حاوی اکسیژن شامل کربوکسیلیک اسید، کربونیل و هیدروکسید در سطح نمونه‌هاست.

۳- نمونه KOH-2 با بالاترین مقدار سطح مخصوص ( $855 \text{ m}^2/\text{g}$ ) و حجم مناطق متخلخل ( $0.7431 \text{ cm}^3/\text{g}$ ) در بین نمونه‌ها بوده و با افزایش آهنگ گرمایش سطح مخصوص و حجم تخلخل نمونه‌ها کاهش یافتند.

۴- نمونه‌های تولیدی سطح بالایی از نتایج نرخ و ظرفیت جذب مواد نفتی، با میزان جذب  $3-8 \text{ g/g}$  در مدت‌زمان ۳۰ از خود نشان دادند.

#### دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل ([k.nasouri@iut.ac.ir](mailto:k.nasouri@iut.ac.ir)) قابل‌ارسال است.

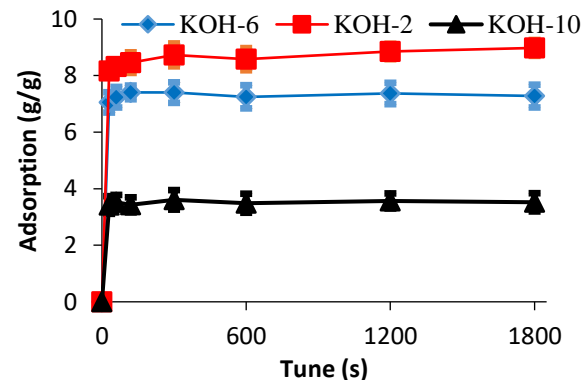
#### تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

#### References

- Aeslina, A. and Mohajerani, A. (2012). Leachability of heavy metals from fired clay bricks incorporated with cigarette butts. *Eng. Indus. Appl.*, 1, 872-877. DOI: [10.1109/ISBEIA.2012.6423017](https://doi.org/10.1109/ISBEIA.2012.6423017)
- Ahuja, D., Dhiman, S., Rattan, G., Monga, S., Singhal, S. and Kaushik, A. (2021). Superhydrophobic modification of cellulose sponge fabricated from discarded jute bags

ریزساختار فشرده‌تر و سطح مخصوص بالاتر، سرعت جذب و نیز میزان جذب بالاتری از خود نشان داده است. در تحقیقی (Hussein et al) با استفاده از ساقه گیاه ذرت به‌عنوان ماده اولیه برای تولید مواد پودری کربن فعال استفاده نموده و توانستند ساختارهایی با میزان جذب  $8 \text{ g/g}$  تولید نمایند. در گزارش دیگری (Li et al. (2014) با استفاده از ایزوپن/کربن/گرافن اکسید به میزان جذب  $5-16 \text{ g/g}$  دست یافتند. برای دستیابی به ساختارهای مناسب در جذب مواد نفتی نیاز به تولید ساختارهای آبریز و روغن دوست است. در بین مواد مختلف، آلوتروپ‌های کربن بدلیل وجود صفحات بازال کربنی دارای ماهیت فوق آبریز و فوق روغن دوستی هستند. بنابراین دارای توانایی بسیار مناسب برای حذف مواد نفتی از پساب‌ها بوده و می‌توانند به عنوان یک جاذب کارا در حذف مواد نفتی به شمار روند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و مقایسه با تحقیق‌های انجام‌شده در این زمینه می‌توان بیان نمود که در این پژوهش با یک پیش‌ماده ضایعاتی و معرفی یک روش ساده و با قابلیت تجاری‌سازی، ساختاری با قابلیت جذب مناسب مواد نفتی معرفی شده است.



شکل ۶- منحنی‌های جذب مواد نفتی نمونه‌های الیاف کربن فعال به‌صورت تابعی از زمان

Fig. 6 Oil adsorption isotherms of activated carbon fibers as a function of time

- for oil water separation. *J. Env. Chem. Eng.*, 9, 105063. DOI: [10.1016/j.jece.2021.105063](https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105063)
- Arianpour, F., Golestanifard, F. and Rezaie, H. R. (2016). Spark plasma sintering of ultra-high temperature tantalum/ hafnium carbides composite. *Adv. Ceram. Prog.*, 2, 13-18. DOI: [10.30501/acp.2016.70013](https://doi.org/10.30501/acp.2016.70013)
- Cui, Y., Wu, Z., Li, Y. and Yang, H. (2018). Experimental study on determining the optimum cigarette butt content of modified

- bituminous mixture of cigarette butts. *J. Civil Eng. Archit.*, 12, 447–453. DOI: [10.17265/1934-7359/2018.06.005](https://doi.org/10.17265/1934-7359/2018.06.005)
- Green, A.L.R., Putschew, A. and Nehls, T. (2014). Littered cigarette butts as a source of nicotine in urban waters. *J. Hydrol.*, 519, 3466–3474. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2014.05.046](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.046)
- Gupta, S. and Tai, N-H. (2016). Carbon materials as oil sorbents: a review on the synthesis and performance. *J. Mater. Chem. A*, 4, 1550–1565. DOI: [10.1039/C5TA08321D](https://doi.org/10.1039/C5TA08321D)
- Hussein, M., Amer, A., El-Maghraby, A. and Hamedallah, N. (2009). A comprehensive characterization of corn stalk and study of carbonized corn stalk in dye and gas oil sorption. *J. Anal. Appl. Pyrol.*, 86, 360–363.
- Kim, G.P., Lee, M., Song, H.D., Bae, S., Yi, J., 2016. Highly efficient supporting material derived from used cigarette filter for oxygen reduction reaction. *Catal. Commun.*, 78, 1–6. DOI: [10.1016/j.catcom.2016.01.030](https://doi.org/10.1016/j.catcom.2016.01.030)
- Koseoglu, H., 2016. Biotemplated *Luffa cylindrica* for the oil spill clean-up from seawater. *Desalin. Water Treat.*, 57, 25591–25599. DOI: [10.1080/19443994.2016.1152513](https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1152513)
- Koushkbaghi, S., Jamshidifard, S., ZabihiSahebi, A., Abouchenari, A., Darabi, M., Irani, M., (2019). Synthesis of ethyl cellulose/aluminosilicate zeolite nanofibrous membranes for oil–water separation and oil absorption. *Cellulose*. 26, 9787–9801. DOI: [10.1007/s10570-019-02738-w](https://doi.org/10.1007/s10570-019-02738-w)
- Lee, M., Kim, G. P., Song, H. D., Park, S. and Yi, J. (2014). Preparation of energy storage material derived from a used cigarette filter for a supercapacitor electrode. *Nanotechnol.*, 25, 345601. DOI: [10.1088/0957-4484/25/34/345601](https://doi.org/10.1088/0957-4484/25/34/345601)
- Li, Y-Q., Samad, Y.A., Polychronopoulou, K., Alhassan, S.M., Liao, K., 2014. Carbon aerogel from winter melon for highly efficient and recyclable oils and organic solvents absorption. *ACS Sustain Chem. Eng.* 2, 1492–1497. DOI: [10.1021/sc500161b](https://doi.org/10.1021/sc500161b)
- Lu, J., Li, W., Kang, H., Feng, L., Xu, J. and Liu, R. (2020). Microstructure and properties of polyacrylonitrile based carbon fibers. *Polym. Test.*, 81, 106267. DOI: [10.1016/j.polymertesting.2019.106267](https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106267)
- Luo, Z., Li, D., Huang, L., Tan, S., Huang, J., 2020. Flexible and superhydrophobic aerogel based on an interpenetrating network of konjac glucomannan and reduced graphene oxide for efficient water–oil separation. *J. Mater. Sci.*, 55, 12884–12896. DOI: [10.1007/s10853-020-04901-2](https://doi.org/10.1007/s10853-020-04901-2)
- Marinello, S., Lolli, F., Gamberini, R., Rimini, B., 2020. A second life for cigarette butts? A review of recycling solutions. *J. Hazard. Mater.*, 384, 1–20. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2019.121245](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121245)
- Mi, H-Y., Li, H., Jing, X., Zhang, Q., Feng, P-Y., He, P., Liu, Y., 2020. Robust superhydrophobic fluorinated fibrous silica sponge with fire retardancy for selective oil absorption in harsh environment. *Separ. Pur. Technol.* 241, 116700. DOI: [10.1016/j.seppur.2020.116700](https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116700)
- Mirzaee, M., Dehghanian, Ch., 2020. Effect of different types of electrochemical methods on the super capacitor properties of thin graphene oxide reduced by electrochemical method. *J. Adv. Mater. Tech.*, 9, 35-42. DOI: [10.30501/jamt.2020.185410.1031](https://doi.org/10.30501/jamt.2020.185410.1031)
- Murugan, K., Suresh, U., Panneerselvam, C., Rajaganesh, R., Roni, M., Aziz, A.T., Hwang, J-S, Sathishkumar, K., Rajasekar, A., Kumar, S., Alarfaj, A. A., Higuchi, A. and Benelli, G. (2018). Managing wastes as green resources: cigarette butt-synthesized pesticides are highly toxic to malaria vectors with little impact on predatory copepods. *Environ. Sci. Pollut.*, 25, 10456–10470. DOI: [10.1007/s11356-017-0074-3](https://doi.org/10.1007/s11356-017-0074-3)
- Novotny, T.E., Zhao, F., 1999. Consumption and production waste: another externality of tobacco use. *Tobac. Control*, 8, 75–80. DOI: [10.1136/tc.8.1.75](https://doi.org/10.1136/tc.8.1.75)
- Ogundare, S. A., Moodley, V. and Zyl, W. E. (2017). Nanocrystalline cellulose isolated from discarded cigarette filters. *Carbohydr. Polym.*, 175, 273–281. DOI: [10.1016/j.carbpol.2017.08.008](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.008)
- Rodenas, M. A. L., Amoros, D. C. and Solano, A. L. (2003). Understanding chemical reactions between carbons and NaOH and KOH An insight into the chemical activation mechanism. *Carbon*, 41, 267–275. DOI: [10.1016/S0008-6223\(02\)00279-8](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(02)00279-8)

- Sanz, R. M., Escobar, V. G. and Rodríguez, J. M. M. (2018). Potential use of cigarette filters as sound porous absorber. *Appl. Acous.*, 129, 86–91. DOI: [10.1016/j.apacoust.2017.07.011](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.07.011)
- Teixeira, M. B., Duarte, M. A. B., Garcez, L.R., Rubim, J. C., Gatti, T. H. and Suarez, P. A. Z. (2017). Process development for cigarette butts recycling into cellulosepulp. *Waste Manag.*, 60, 140–150. DOI: [10.1016/j.wasman.2016.10.013](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.013)
- Torkashvand, J., Farzadkia, M., Sobhi, H. and Esrafil, A. (2020). Littered cigarette butt as a well known hazardous waste: A comprehensive systematic review. *J. Hazard. Mater.*, 383, 1–12. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2019.121242](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121242)
- Vahidhabanu, S., Rameshababu, B., Babu, P. S. and Rahman, H. A. (2014). Study of cigarette butts extract as corrosive inhibiting agent in J55 steel material. *Inter. J. Res. Eng. Technol.*, 3, 444–452. DOI: [10.15623/ijret.2014.0301077](https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0301077)
- Veerabagu, U., Chen, Z., Xiang, J., Chen, Z., Liu, M., Xia, H. and Lu, F. (2021). Novel cigarette butts-derived porous carbon-based catalyst for highly efficient Suzuki-Miyaura cross-coupling reaction. *J. Env. Chem. Eng.*, 9, 1–10. DOI: [10.1016/j.jece.2021.105246](https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105246)
- Wei, Q. F., Mather, R. R., Fotheringham, A. F. and Yang, R. D. (2003). Evaluation of nonwoven polypropylene oil sorbents in marine oil-spill recovery. *Marin. Poll. Bull.* 46, 780–783. DOI: [10.1080/09593330.2020.1714743](https://doi.org/10.1080/09593330.2020.1714743)
- Xiong, Q., Bai, Q., Li, C., Lei, H., Liu, H., Shen, Y. and Uyama, H. (2018). Cost-effective, highly and environmental friendly superhydrophobic adsorbent from cigarette filters for oil spillage cleanup. *Polymer.*, 10, 1101–1117. DOI: [10.3390/polym10101101](https://doi.org/10.3390/polym10101101)
- Xiong, Q., Bai, Q., Li, C., Li, D., Miao, X., Shen, Y. and Uyama, H. (2019). Nitrogen-doped hierarchical porous carbons from used cigarette filters for supercapacitors. *J. Taiwan Instit. Chem. Eng.*, 95, 315–323. DOI: [10.1016/j.jtice.2018.07.019](https://doi.org/10.1016/j.jtice.2018.07.019)
- Zhao, J., Zhang, N., Qu, C., Wu, X., Zhang, J. and Zhang, X. (2010). Cigarette butts and their application in corrosion inhibition for N80 steel at 90°C in a hydrochloric acid solution. *Indus. Eng. Chem. Res.*, 49, 3986–3991. DOI: [10.1021/ie100168s](https://doi.org/10.1021/ie100168s)
- Zhang, X., Yu, M., Li, Y., Cheng, F., Liu, Y., Gao, M., Liu, G., Hu, L. and Liang, Y. (2021). Effectiveness of discarded cigarette butts derived carbonaceous adsorbent for heavy metals removal from water. *Microchem. J.*, 168, 1–8. DOI: [10.1016/j.microc.2021.106474](https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106474)

### How to cite this paper:

Ranjeksh, Z., Mousavi, F. S. and Nasouri, K. (2023). Structural engineering of activated carbon fibers derived from cigarette butts for fast oily materials adsorption. *Environ. Water Eng.*, 9(1), 15–28. DOI: [10.22034/jewe.2022.321575.1702](https://doi.org/10.22034/jewe.2022.321575.1702)