



Fabrication of supercapacitor electrode using flexible carbon felt substrate and cobalt oxide

Rasoul Shemshadi¹ 

¹ Department of Engineering Science, Faculty of Engineering Sciences, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article Type: Original Research	The energy crisis for mankind has made energy storage devices a daily issue for researchers. Supercapacitors are one of the energy storage tools, the further development of which is highly dependent on the electrode used in the positive and negative poles. Availability, cheapness and good efficiency in energy storage are the expected features of these electrodes. For this purpose, in this research, we have synthesized Co3O4/CF electrode using hydrothermal method for use in supercapacitor electrodes. We used xrd, FESEM, mapping to prove the synthesis and to check the crystal structure and morphology of the nanoparticle. In further investigations, EIS showed CV.GCD and excellent specific capacity stability of 2719 F/g along with 84% stability after 2000 consecutive current-voltage cycles. Also, compared to similar studies, Carbon felt can be an efficient, cheap and flexible electrode. Modification of carbon felt using Co3O4 reduced the resistance caused by charge transfer and ion transfer and increased the conductivity.
Received: 2024.10.23 Revised: 2024.11.22 Accepted: 2025.10.20	
Keyword: Supercapacitor cobalt oxide carbon felt electrode hydrothermal	
*Corresponding Author: Rasoul Shemshadi Email: rshemshadi@tvu.ac.ir	



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Green energy storage is essential for reducing fossil-fuel use. Supercapacitors are attractive because of their stability, suitable power density, and fast charge-discharge, so electrode materials with higher surface area, conductivity, and durability remain a research focus.

Supercapacitors include pseudocapacitors, which store charge through Faradaic reactions of transition-metal compounds, and electric double-layer capacitors (EDLCs), which rely on carbon materials such as GO and CNTs. Carbon electrodes offer layered structures, good pore distribution, and cycle stability, but non-Faradaic ion adsorption limits their specific capacitance. Combining carbon nanomaterials with transition-metal oxides, hydroxides, or sulfides can overcome this limitation.

Among these oxides, Co_3O_4 has a high theoretical capacitance (3560 F/g), a stable crystal structure, tunable size and morphology, low cost, and environmental compatibility. Experimental values are usually lower because of limited electrolyte penetration, modest surface area, poor conductivity, particle aggregation, and uneven active-site distribution. Carbon supports can create shorter ion-transport paths and improve access to reversible active sites.

In this work, Co_3O_4 nanorods were grown on carbon felt by a simple, low-cost hydrothermal method, and the electrode was evaluated in a three-electrode system.

Methodology

Carbon felt (1×1 cm) was washed several times with HCl, deionized water, and ethanol to remove surface impurities. Co_3O_4 nanorods were then grown by a hydrothermal method using $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ and urea. The precursors were dissolved in 40 mL deionized water under magnetic stirring, transferred to a 100 mL autoclave, and heated at 140 °C for 10 h. After natural cooling to room temperature, the sample was washed with water and ethanol, dried at 70 °C, and calcined at 400 °C for 45 min (heating rate: 5 °C min⁻¹).

Results and discussion

XRD (Fig. 1) confirms cubic Co_3O_4 (JCPDS 00-009-0418), with peaks at 18.9°, 31.2°, 36.8°, 38.5°, and 44.8° corresponding to the (111), (220), (311), (222), and (400) planes. The mean crystallite size is 21.42 nm.

FESEM (Fig. 2a) shows bundled, interwoven Co_3O_4 nanorods covering the electrode. EDS mapping (Fig. 2b) verifies Co and O.

BET/BJH analysis (Fig. 3) gives a surface area of 32.33 m² g⁻¹ and a mean pore size of 18.7 nm, indicating a mesoporous structure.

In 3 M KOH, CV (0.1–0.6 V) exhibits battery-type $\text{Co}^{2+}/\text{Co}^{3+}$ redox peaks near 0.35 and 0.15 V. Current rises with scan rate; above 70 mV s⁻¹ the response becomes more capacitive. GCD at 0.5–2 A g⁻¹ yields capacitances of 2719, 2392, 2142, and 1857 F g⁻¹, with discharge times of ~1490 and 530 s at 0.5 and 2 A g⁻¹. Capacitance retention after 2000 cycles is 84%. EIS shows $R_{ct} \approx 0.35 \Omega$.

Conclusion

Co₃O₄ nanorods were grown on flexible carbon felt by a simple, green, and low-cost one-step hydrothermal method. The resulting electrode delivered a high specific capacitance of 2719 F g⁻¹ and retained 84% of its capacitance after 2000 cycles, indicating promise for practical energy-storage applications.



ساخت الکتروکاتود ابرخازن با استفاده از زیر لایه منعطف نمد کربنی و اکسید کبالت

رسول شمشادی^۱

گروه علوم مهندسی، دانشکده علوم مهندسی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۰۲

بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۹/۰۲

پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۷/۲۸

کلید واژگان:

ابرخازن

اکسید کبالت

کربن فلت

الکتروکاتود

هیدروترمال

بحران انرژی برای بشر، دستگاه های ذخیره ساز انرژی را تبدیل به مسئله روز پژوهشگران کرده است. ابرخازن ها یکی از ابزار های ذخیره انرژی هستند که توسعه بیشتر آنها به شدت وابسته به الکتروکاتود مورد استفاده در قطب های مثبت و منفی می باشد. در دسترس بودن، ارزان قیمت بودن و کارایی مناسب در ذخیره انرژی از ویژگی مورد انتظار پژوهشگران برای این الکتروکاتود ها می باشد. به همین منظور در این پژوهش به سنتز الکتروکاتود Co3O4/CF با استفاده از روش هیدروترمال جهت استفاده در الکتروکاتود ابرخازن ها پرداخته ایم. از مشخصه یابی های xrd, FESEM, mapping جهت اثبات سنتز و برای بررسی ساختار کریستالی و مورفولوژی نانوذره استفاده کردیم. در ادامه بررسی های EIS CV, GCD و پایداری ظرفیت ویژه عالی ۲۷۱۹ F/g در کنار پایداری ۸۴ درصدی پس از ۲۰۰۰ چرخه متوالی جریان - ولتاژ را نشان داد. همچنین در مقایسه با پژوهش های مشابه، Carbon felt می تواند الکتروکاتود کارآمد، ارزان قیمت و منعطف باشد. اصلاح Carbon felt با استفاده از Co3O4 مقاومت ناشی از انتقال بار و انتقال یون را کاهش داد و رسانندگی را افزایش داد.

*نویسنده مسئول:

رسول شمشادی

پست الکترونیکی:

rshemshadi@tvu.ac.ir



مقدمه

امروزه استفاده از انرژی های جدید سبز، ارزان قیمت و دوست دار محیط زیست یک راه حل مناسب برای کاهش استفاده از سوخت های فسیلی و آلودگی های ناشی از آن است. ابرخازن ها به عنوان دستگاه های جدید ذخیره انرژی به دلیل پایداری عالی، چگالی توان و انرژی مناسب، فرآیند نسبتاً سریع شارژ و دشارژ مورد توجه قرار گرفته اند، کاربرد های صنعتی آن در بسیاری از زمینه ها از جمله خودرو های برقی هیبریدی، شبکه های هوشمند و... باعث شده تا پژوهشگران به دنبال توسعه و بررسی مواد الکترونی استفاده شده در ابرخازن ها باشند. [1, 2]

در مطالعات اخیر بر روی مواد الکترونی، پژوهشگران به دنبال بهبود سطح ویژه، رسانایی و افزایش پایداری مخصوصاً با استفاده از مواد ارزان قیمت و دوست دار محیط زیست بوده اند [3, 4].

شبه خازن ها به دسته ای از ابرخازن ها گفته می شود که در ساختار خود به طور معمول دارای ترکیبات فلزات واسطه می باشند و در سطح مشترک الکترولیت - الکتروود با رد و بدل کردن الکترون، در واقع یک فرآیند فارادیک را طی می کنند.

خازن های لایه دوگانه الکترونیکی (EDLCs) دسته ای دیگر از ابرخازن ها هستند که شامل گروه های کربنی مانند GO، CNT، هالوکربن و... می شوند. ساختار های لایه لایه این مواد، حجم منافذ و توزیع یکنواخت این منافذ منجر به افزایش سطح ویژه در الکتروود های ساخته شده توسط این مواد می شود [5, 6].

همچنین قیمت مناسب و پایداری چرخه ای خوب باعث شده است تا این خازن ها برای استفاده های تجاری و صنعتی مورد توجه قرار گیرند، ولی با این حال از آنجایی که ذخیره بار در EDCL ها صرفاً با استفاده از لایه دوگانه الکترونیکی و از طریق جذب یون انجام می شود و فرآیند غیرفارادیک را طی می کند. ظرفیت ویژه بالایی را از خود نشان نمی دهند [7, 8].

بنابراین محدودیت های نانو مواد کربنی را می توان با استفاده از نانو موادی که دارای فرآیند فارادیک هستند برطرف کرد، از جمله این مواد می توان به اکسید ها، هیدروکسید ها و سولفید های فلزات واسطه اشاره کرد که به طور معمول ظرفیت بیشتری نسبت به EDCL ها دارند [9, 10].

در میان اکسید های فلزات واسطه Co_3O_4 در پژوهش های اخیر ظرفیت نظری عالی 3560 F/g همچنین ساختار بلوری پایدار، اندازه و شکل قابل کنترل، هزینه کم و سازگاری با محیط زیست را از خود نشان داده است [11, 12].

با این حال نتایج آزمایشات مقادیر کمتری را نسبت به محاسبات تئوری نشان می دهد. که دلیل آن می تواند نفوذ کم الکترولیت و سطح ویژه نسبتاً پایین، هدایت الکترونیکی کم، انباشتگی و توزیع نامناسب اکتیو سایت ها باشد [13].

14] به منظور برطرف کردن این مشکلات راهکار های مختلفی پیشنهاد شده است. یک راهکار عالی افزایش سطح برای سایت های فعال برگشت پذیر با اضافه کردن مواد کربنی به ساختار الکتود می باشد. در واقع مواد کربنی با ایجاد مسیرهای کوتاه در ساختار الکتروود سبب تسهیل در انتقال یون میشوند [15, 16].

امروزه در تحقیقات به روز برای گسترش و توسعه ابرخازن ها و ارتقاء الکتروود های آنها. زیر لایه ها نقش بسزایی پیدا کرده اند. [17, 18]

در این پژوهش ما به سنتز Co_3O_4 با ساختار نانو رود بر روی زیر لایه carbon felt با استفاده از روش ساده و ارزان هیدروترمال پرداختیم. و در ادامه به بررسی های الکتروشیمیایی در سیستم سه الکتروود پرداختیم.

بخش تجربی:**سنتز نانو میله های Co_3O_4 :**

جهت از بین بردن ناخالصی ها و آلودگی های سطحی، سطح carbon felt چندین مرتبه با استفاده از آب دیونیزه و متانول شستشو داده شد. CF با ابعاد ۱در ۱ cm چند بار با هیدروکلریک اسید، آب و اتانول شستشو داده تا ناخالصی های سطحی آن از بین برود در ادامه برای سنتز Co_3O_4 به روش معمول هیدروترمال از پیش ماده های $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ و $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ استفاده شد. برای این هدف ابتدا نیترات کبالت و اوره را در ۴۰ میلی لیتر آب دیونیزه به کمک همزن مغناطیسی حل کرده سپس به اتوکلاو ۱۰۰ منتقل کرده تا به مدت ۱۰ ساعت در دمای ۱۴۰ قرار گیرد. زمانی که راکتور در دمای اتاق به آرامی خنک شد، پودر و کربن فلت را با آب و اتانول شستشو داده تا در دمای ۷۰ خشک شود در نهایت در دمای ۴۰۰ درجه با ریت ۵ و به مدت ۴۵ دقیقه قرار گرفت.

روش تحقیق

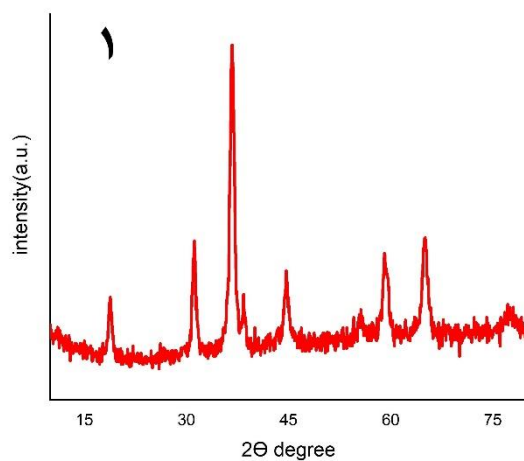
بررسی های الکتروشیمیایی در سیستم سه الکتروُد برای ارزیابی الکتروُد برتر ساخته شده انجام شد. الکتروُد های سنتز شده به عنوان الکتروُد کار، سیسم پلاتین (pt wire) به عنوان الکتروُد کمکی و Ag/AgCl به عنوان الکتروُد رفرنس استفاده شد. تمام آزمایشات الکتروشیمیایی با محلول ۳ مولار KOH و در دمای اتاق انجام شد. جرم مواد الکتروودی سنتز شده بر روی زیر لایه کربنی حدود ۰.۰۷ گرم می باشد. برای الکتروُد آنالیز CV در پنجره پتانسیلی 0.1 تا 0.6 ولت و از سرعت روبش 10mv/s تا 100mv/s همچنین فرآیند شارژ و دشارژ در چگالی جریان 0.5A/g تا 2A/g انجام شد. برای محاسبه ظرفیت ویژه خازنی از رابطه زیر استفاده شد:

$$C = I \Delta t / m \Delta V \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه I چگالی جریان، Δt زمان دشارژ، m، وزن ماده (برای سیستم دو الکتروُد مجموع وزن ماده بر روی هر دو الکتروُد) بر حسب گرم و ΔV بازه پتانسیلی فرآیند دشارژ می باشد.

نتایج و بحث:**مشخصه یابی:**

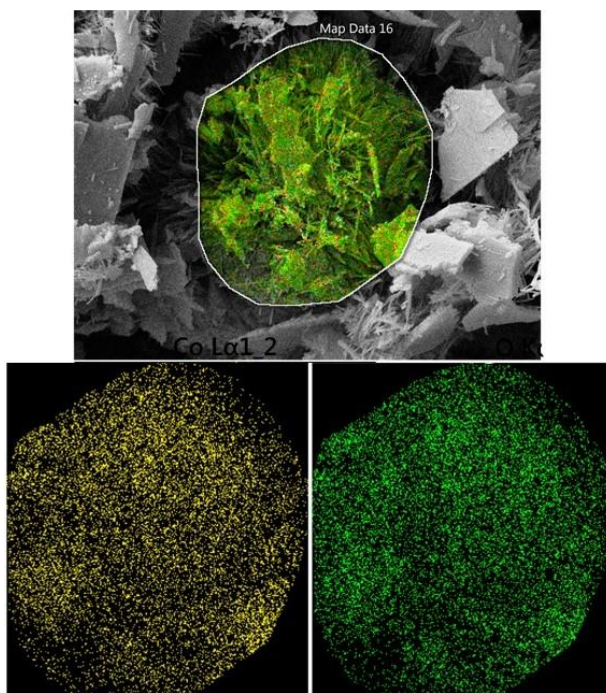
جهت بررسی ساختار کریستالی نانو مواد آنالیز xrd انجام شد. تصویر ۱ الگو های xrd مربوط به نانوذره را نشان می دهد پیک های شاخص در 2θ های 18/9، 31/2، 36/8، 38/5 و 44/8 در نانو ذره که مطابق با کد مرجع ۰۰۰۹۰۴۱۸ به ترتیب متناسب با صفحات با اندیس های میله (111)، (220)، (311)، (222) و (400) می باشد و حضور Co_3O_4 را در فاز کیوبیک تایید می کند، میانگین اندازه ذرات با استفاده از روش دبای شرر $42/21 \text{ nm}$ بدست آمد. در ادامه برای بررسی مورفولوژی نانو مواد از آنالیز FESEM استفاده شد Co_3O_4 با ساختار نانو میله و به صورت ریسمان های دسته ای در تصاویر ۲ الف مشاهده می شود که با افزایش بزرگنمایی از ۲۰۰ نانومتر تا ۲ میکرومتر ساختار ریسمان های درهم تنیده حفظ شده و تقریباً با یک الگوی تکراری سطح را پوشانده است. جهت بررسی عناصر موجود و درصد وزنی آنها آنالیز Eds mapping انجام شد (تصاویر ۲ ب) نتایج به خوبی حضور Co و O را برای نانو ذره نشان داد.



تصویر ۱: الگوی پراش اشعه ایکس از سطح اکسید سنتز شده جهت شناسایی ساختار کریستالی

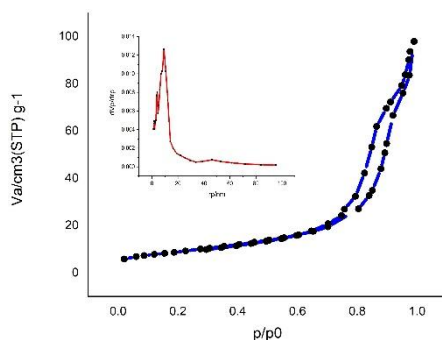


تصویر ۲ الف: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی در بزرگنمایی های مختلف از سطح الکترود سنتز شده



تصویر ۲: آنالیز مپینگ جهت شناسایی عناصر موجود در سطح و نحوه توزیع آنها

همانطور که می دانیم مساحت سطح ویژه و اندازه حفرات در رفتار الکتروشیمیایی نانو مواد بسیار موثر هستند به همین منظور آنالیز BET و BJH تحت جذب و واجذب گاز نیتروژن برای هیبرید سنتز شده در دمای ثابت نیتروژن مایع (۷۷ درجه کلوین) انجام شد شکل ۳ میانگین اندازه حفرات و مساحت سطح ویژه را به ترتیب $18/7 \text{ nm}$ و $32/33 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ نشان می دهد. به خوبی دیده می شود که تخلخل از نوع مزوپور می باشد.



شکل ۳: آنالیز BET برای شناسایی حفره ها و مساحت سطح ویژه

بررسی های الکتروشیمیایی تحت بازه پتانسیل ثابت و سرعت های روبش مختلف با چرخه های CV آغاز شد. به طور کلی الکترودهای ساخته شده از خود یک رفتار باتری گونه باپیک های ردوکس فارادیک نشان می دهد که این پیک های اکسایش و کاهش مربوط به واکنش زیر می باشد.



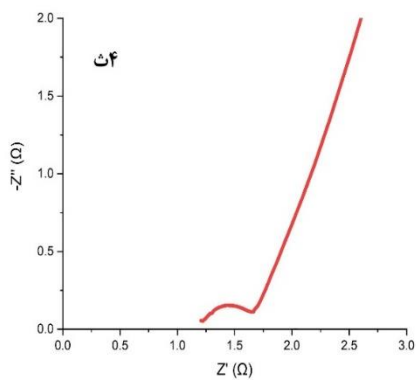
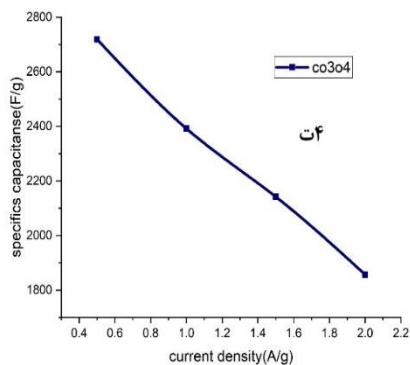
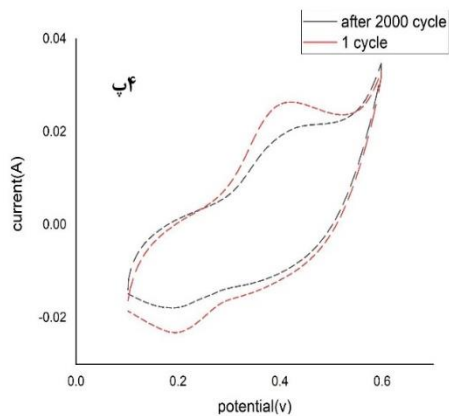
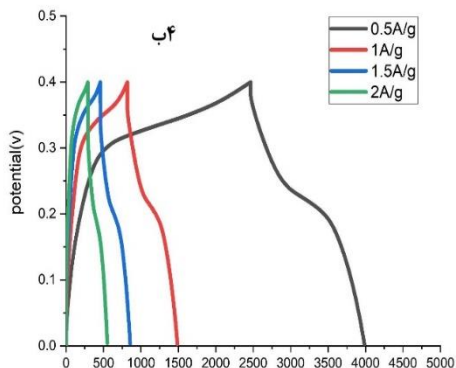
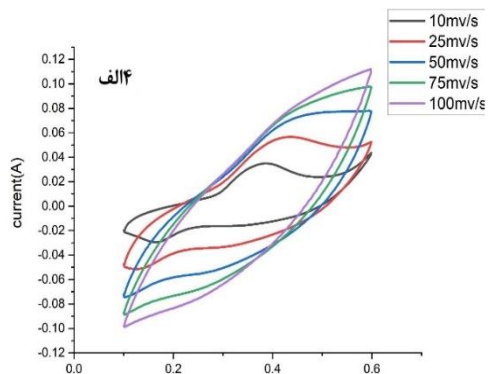
آنالیز CV الکترودهای سنتز شده در بازه پتانسیلی 0.1v تا 0.6v و از سرعت های روبش 10mv/s تا 100mv/s در دمای اتاق و در حضور محلول ۳ M KOH انجام شد. شکل ۴الف چرخه های CV مربوط به Co_3O_4 را نشان می دهد پیک اکسایشی شاخص در مسیر رفت در حدود پتانسیل 0.35 ولت و پیک شاخص برگشت در حدود پتانسیل 0.15 ولت رخ داده است که ناشی از تبدیل CO_2^+ به CO_3^+ و بلعکس می باشد و با افزایش سرعت روبش همانطور که انتظار می رود شاهد افزایش جریان نیز می باشیم که در سرعت های روبش بالاتر از 70 mv/s صرفاً افزایش جریان خازنی را مشاهده می کنیم زیرا زمان لازم جهت تبادل الکترون بین الکتروده و الکترولیت وجود نخواهد داشت.

در ادامه رفتار GCD الکتروده Co_3O_4 در چگالی جریان های 0.5 تا 2 A/g مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴ب) طبیعتاً با افزایش چگالی جریان مشاهده می شود که زمان دشوارژ کاهش پیدا می کند، به طوری که در چگالی جریان 0/5A/g زمان دشوارژ حدود 1490s و در چگالی جریان ۲ A/g حدود 530s می باشد.

از آنجایی که پایداری الکتروده جزء عوامل مهم در بررسی های ابر خازنی می باشد از الکتروده Co_3O_4 طی ۲۰۰۰ چرخه متوالی تست پایداری به عمل آمد (شکل ۴پ) که نتیجه پایداری 84 درصدی را نشان داد همچنین از رابطه ظرفیت ویژه نیز محاسبه شد که به ترتیب مقادیر 2719 و 2392 و 2142 و 1857F/g به دست آمد

شکل ۴ت نمودار چگالی جریان برحسب ظرفیت ویژه را نشان می دهد در واقع با افزایش چگالی جریان فرصت کافی برای انتقال یون و الکترون در الکترولیت و الکتروده وجود ندارد، در واقع در چگالی جریان های بالاتر زمان کافی برای اینکه تمام سطح موثر الکتروده در واکنش شرکت کند وجود ندارد.

یکی از از فاکتورهای مهم معرفی نانو مواد برای استفاده در الکتروده ابرخازن ها مقاومت انتقال بار و سرعت انتقال یون می باشد در همین راستا بررسی های EIS برای الکتروده سنتز شده بر روی CF انجام شد نتایج در شکل ۴ث مشاهده می شود R_{ct} که معادل با قطر نیم دایره ایجاد شده می باشد برای نانوذرات و برای حدود ۰،۳۵ اهم بدست آمد.



شکل ۴. الف: نمودار های جریان-ولتاژ در سرعت های روبش مختلف. ب: نمودار های شارژ و دشارژ در چگالی جریان های متفاوت. پ: بررسی پایداری چرخه ای طی ۲۰۰۰ چرخه متوالی. ت: نمودار ظرفیت ویژه بر حسب چگالی جریان. ث: بررسی مقاومت الکتروشیمیایی

نتیجه‌گیری:

به طور خلاصه در این پژوهش به سنتز یک مرحله Co_3O_4 با استفاده از زیرلایه منعطف Carbon felt جهت استفاده در الکترودها پرداخته شد. روش ساده، سبب و ارزان هیدروترمال همچنین استفاده از زیر لایه Carbon felt موفق به دستیابی به الکترودهای جدید و مقرون به صرفه برای معرفی جهت استفاده‌های بیشتر صنعتی در دستگاه‌های ذخیره ساز انرژی شدیم. نتایج بررسی‌های الکتروشیمیایی ظرفیت ویژه عالی 2719 F/g در کنار پایداری ۸۴ در صدی پس از ۲۰۰۰ چرخه متوالی جریان - ولتاژ امیدواری‌ها را جهت استفاده‌های بیشتری صنعتی افزایش می‌دهد.

فهرست منابع

- [1] Shafiee, M., 2023, Economic Design of a Hybrid Wind-solar Power Plant Based on the Energy Storage System with Consideration of the Equivalent Loss Factor, 20, 3, 287–310, 10.48301/kssa.2023.398615.2564. (In Persian)
https://karafan.tvu.ac.ir/article_178546_en.html
- [2] Zare, H. and H. Asgharpour Alamdari, 2022, Seven-level Switched-capacitor Inverter with Triple Boosting and Sensor-less Voltage Balancing Capability, 19, 1, 383–401, 10.48301/kssa.2021.295425.1626. (In Persian)
https://karafan.tvu.ac.ir/article_140918.html?lang=en
- [3] Jafarian, M., et al., 2022, Investigation of Some Important Thermal Properties of Phase Change Materials Upgraded with Nanomaterials, 18, 4, 453–473, 10.48301/kssa.2022.313531.1818. (In Persian)
https://karafan.tvu.ac.ir/article_145135_en.html
- [4] Mousazadeh, I., R. Shemshadi, and M. Farahpour, 2023, Investigating Supercapacitor Performance and Electrochemical Energy Storage Using New $\text{CuSn}(\text{OH})_6$ Nano-Cubes, 20, 64, 663–681. (In Persian)
https://karafan.tvu.ac.ir/article_181327_en.html
- [5] Arvas, M.B., et al., 2022, Supercapacitor applications of novel phosphorus doped graphene-based electrodes, 55, 105766. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105766>
- [6] Dhandapani, P., et al., 2022, In-situ grown of FeCo_2O_4 @ 2D-Carbyne coated nickel foam - A newer nanohybrid electrode for high performance asymmetric supercapacitors, 56, 105943. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105943>
- [7] Hu, L., et al., 2023, Synthesis, analysis and characterization of nitrogen/sulfur co-doped activated carbon for high-performance all-printed flexible supercapacitor, 73, 109004. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109004>
- [8] Iqbal, M.Z., et al., 2023, Unveiling the performance of hydrothermally synthesized transition metal sulfide with polyaniline composite for hybrid supercapacitor applications, 52, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2023.05.017>
- [9] Li, S., et al., 2023, Ultra-stable sandwich shaped flexible MXene/CNT@Ni films for high performance supercapacitor, 941, 168963. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.168963>
- [10] Lin, Q., et al., 2023, Preparation of dispersed hollow carbon spheres assisted by silica/carbon shell isolation for supercapacitors, 139, 110346. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2023.110346>

- [11] Azizi, S., M.B. Askari, and P. Salarizadeh, 2025, ZnS/FeS /activated carbon derived from rice husk loaded on nickel foam as a novel electrode material for supercapacitors, 157, 112459. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2025.112459>
- [12] Askari, M.B., et al., 2025, Binary transition metal oxide/carbon compounds-based electrode materials for supercapacitor application: A comprehensive review, 1027, 180573. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2025.180573>
- [13] Pawar, D.C., et al., 2024, Facile synthesis of layered reduced graphene oxide/polyaniline (rGO/PANI) composite electrode for flexible asymmetric solid-state supercapacitor, 79, 110154. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.110154>
- [14] Sun, R., et al., 2023, Application of long fibrous coconut silk-based porous carbon in flexible supercapacitor, 66, 107410. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107410>
- [15] Du, W., et al., 2013, Facile synthesis of hollow Co₃O₄ boxes for high capacity supercapacitor, 227, 101–105. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.11.009>
- [16] Xiang, C., et al., 2013, A reduced graphene oxide/Co₃O₄ composite for supercapacitor electrode, 226, 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.10.064>
- [17] Azizi Darsara, S., et al., 2021, Hierarchical 3D starfish-like Ni₃S₄–NiS on reduced graphene oxide for high-performance supercapacitors, 47, 15, 20992–20998. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.04.099>
- [18] Azizi, S., et al., 2023, High-capacity MnCo₂O₄/NiCo₂O₄ as electrode materials for electrochemical supercapacitors, 174, 111176. <https://doi.org/10.1016/j.jpics.2022.111176>