

## بررسی تأثیر زمان آبکاری الکترولس نیکل بر پوشش‌دهی پودر SiC

محمد هفتنی<sup>۱\*</sup>، مینا سعیدی حیدری<sup>۲</sup>، جلال‌الدین قضاوتی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران

<sup>۲</sup> باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

<sup>۳</sup> گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده فنی و مهندسی، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، تبریز، ایران

\* moh7tani@gmail.com

### اطلاعات مقاله:

دریافت: ۱۴ فروردین ۱۳۹۷

پذیرش: ۱۷ تیر ۱۳۹۷

### چکیده:

در این تحقیق تأثیر زمان آبکاری بر پوشش‌دهی پودر SiC به روش الکترولس نیکل - بور در سه دمای ۷۵، ۸۵ و ۹۵ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی ریزساختار و مورفولوژی پودرهای SiC پوشش داده شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به آنالیزگر EDS استفاده شد و به منظور تعیین ترکیب و فازهای موجود در پودرهای SiC پوشش داده شده دستگاه پراش پرتو ایکس مورد استفاده قرار گرفت. در فرآیند پوشش‌دهی الکترولس، میزان زمان و دمای حمام آبکاری الکترولس تأثیر بسیاری بر میزان پوشش و یکنواختی آن بر روی سطح ذرات SiC دارند. نتایج نشان دهنده این است که بیش‌ترین میزان پوشش نیکل - بور بر سطح ذرات SiC در زمان ۴۵ دقیقه و دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد حاصل شده است. با این حال یکنواخت‌ترین پوشش در زمان ۳۰ دقیقه و دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمده است. آنالیز فازی نمونه‌های SiC پوشش داده شده نیز بیانگر آن است که در زمان ۳۰ دقیقه آبکاری الکترولس در هر سه دمای ۷۵، ۸۵ و ۹۵ درجه سانتی‌گراد؛ علاوه بر فاز SiC، فاز Ni نیز بر سطح ذرات SiC حضور دارد و با افزایش دما شدت پیک‌های Ni افزایش یافته است.

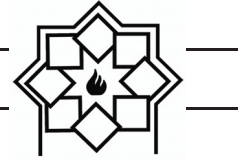
### کلید واژه:

نیکل - بور، پوشش‌دهی، پودر SiC، الکترولس، زمان آبکاری

### ۱- مقدمه

و پوسته‌ای فلزی اطلاق می‌شوند که به پودر سرامیکی خواص الکتریکی، مغناطیسی و شیمیایی ویژه می‌دهند و همزمان ترشوندگی میان فلز و ماده سرامیکی را بهبود می‌بخشند [۴]. افزودن ذرات سرامیکی با استحکام و دیرگدازی بالا به یک زمینه فلزی منجر به تولید ماده‌ای می‌شود که خواص آن بین آلیاژ زمینه و سرامیک تقویت کننده است. از مشکلات کاربرد صنعتی SiC در تولید مواد

ذرات سرامیکی SiC دارای استحکام بالا، سختی بالا، مقاومت پوششی و مقاومت خوردگی بالا هستند که آن‌ها را به عنوان مواد تقویت کننده ایده آلی در کامپوزیت‌های زمینه فلزی مانند مواد زمینه آلومینیومی، زمینه آهن و زمینه منیزیم معرفی کرده است [۱-۳]. پودرهای سرامیکی پوشش داده شده با فلز به پودرهای کامپوزیتی با هسته‌ای سرامیکی



نمک‌های نیکل (سولفات‌ی و کلریدی) است و در آن‌ها نحوه پوشش‌دهی ذرات SiC با اندازه ذرات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۲, ۸, ۹]. با این حال با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در خصوص ذرات SiC تاکنون تأثیر زمان فرآیند آبکاری الکترولس در حمام‌های بوریدی مورد مطالعه قرار نگرفته است. البته تعدادی از دانشمندان اثر زمان در فرآیند الکترولس دیگر عناصر را بررسی کرده‌اند. شارما<sup>۱</sup> و همکارانش [۱۰] در بررسی پوشش‌های الکترولس نیکل روی آلیاژهای آلومینیوم تأثیر افزایش زمان در دما و pH ثابت بر ضخامت لایه ایجادشده را به صورت خطی دانستند. بر اساس نتایج تحقیقات این دانشمندان با گذشت زمان نرخ رسوب‌گذاری مقدار اندکی کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند به کاهش مقدار واکنش‌دهنده‌ها در الکترولیت مربوط باشد. نوری و همکارانش [۱۱] در تحقیقاتی که به منظور بررسی اثر مورفولوژی ذرات اولیه SiC بر چگونگی ایجاد پوشش Co-P روی آن‌ها انجام داده‌اند نشان دادند وجود نقایص بیشتر در سطح پودرهای اولیه نرخ رسوب‌گذاری را افزایش داده و موجب کاهش زمان مورد نیاز برای ایجاد پوشش می‌شود. ژانگ<sup>۲</sup> و همکارانش [۱۲] در سال ۲۰۰۵ در تحقیقاتی که به منظور بررسی تأثیر زمان رسوب‌گذاری بر مورفولوژی سطح و چگالی پوشش نیکل روی سطح ریز ذرات کرومی شیشه انجام شد نشان دادند که با افزایش زمان ضخامت پوشش ایجادشده بیشتر می‌شود. با توجه به موارد ذکرشده در این مقاله تأثیر زمان آبکاری بر پوشش‌دهی پودر SiC به‌وسیله فرآیند

کامپوزیتی می‌توان به قابلیت ترشوندگی ضعیف آن توسط مذاب بسیاری از فلزات اشاره کرد. از بین روش‌های متعددی که امروزه برای رفع این مشکل به کار می‌رود، روش آبکاری الکترولس روی سطح ذرات SiC است. فرآیند پوشش‌دهی الکترولس روشی ساده، ارزان و کارآمد است و امروزه برای پوشش‌دهی فلزی روی مواد غیر هادی، نیمه‌هادی‌ها و فلزات استفاده می‌شود. الکترولس یک روش رسوب شیمیایی است که به طور خود به خودی روی سطح اعمال می‌شود و ضخامت پوشش به طور خطی مادامی که ترکیب شیمیایی محلول تغییر نکرده است، اضافه می‌شود [۵, ۶].

در آبکاری الکترولس هیچ‌گونه جریان خارجی وجود ندارد و الکترون‌های مورد نیاز توسط واکنش شیمیایی در محلول تأمین می‌شود. دلیل گستردگی استفاده از این روش، سازوکار تشکیل پوشش به وسیله احیای شیمیایی یا خود کاتالیزور یون‌های آبی روی سطح مورد نظر است. این سازوکار مزیت‌هایی نظیر قابلیت کنترل ساده، تکرارپذیری فرآیند، ایجاد لایه یکنواخت در تمامی سطوح و عدم وجود محدودیت در حجم سیستم دارد. بنابراین از فرآیند الکترولس می‌توان به عنوان یک روش مؤثر برای اصلاح سطح بهره برد [۵-۷]. همچنین باید دقت کرد که در این روش پارامترهای مختلفی وجود دارد که می‌تواند بر کیفیت پوشش اثر بگذارد. تاکنون در خصوص پوشش‌دهی ذرات SiC به روش الکترولس نیکل پارامترهای بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است که شامل بررسی انواع روش‌های فعال‌سازی، بررسی انواع مواد احیاکننده (هیدرازین و هیپو فسفیت) و انواع

<sup>1</sup> Sharma

<sup>2</sup> Zhang

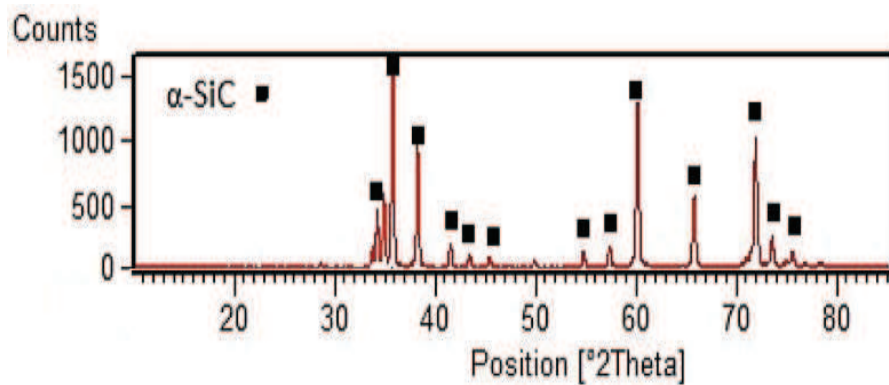


۱۵ میکرومتر، خلوص ۹۹/۹ درصد و ساخت شرکت Chengdu Rong Feng کشور چین استفاده شد. در شکل ۱ الگوی پراش پرتو ایکس پودر کاربید سیلیسیم نشان داده شده است که تنها دارای فاز آلفا SiC است. تصاویر SEM این پودر در شکل ۲ نشان داده شده است.

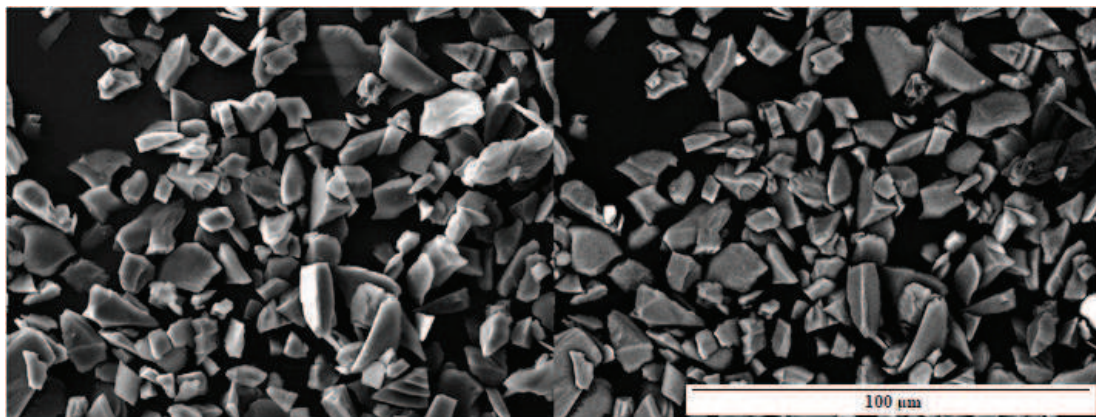
آبکاری الکترولس نیکل- بور با استفاده از عامل احیاکننده بوروهیدرید سدیم مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- فعالیت‌های تجربی

در این تحقیق از پودر کاربید سیلیسیم با متوسط اندازه ذرات



شکل ۱- الگوی پراش پرتو ایکس پودر SiC.

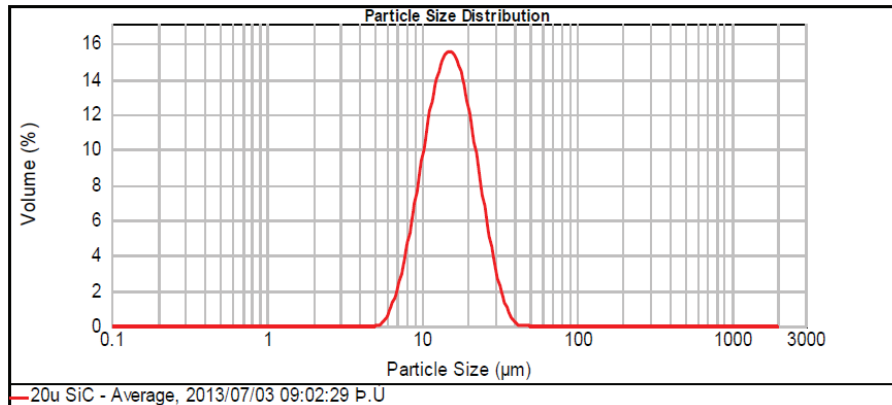
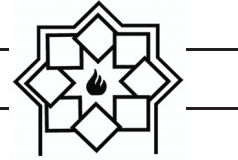


شکل ۲- تصاویر SEM پودر SiC.

پودر کاربید سیلیسیم مصرفی، ۱۵ میکرومتر است. آبکاری پودر کاربید سیلیسیم در حمام الکترولس نیکل - بور شامل ۴ مرحله است که در ادامه شرح داده شده است.

نتیجه حاصل از آنالیز اندازه ذرات PSA<sup>3</sup> و میانگین اندازه ذرات پودر کاربید سیلیسیم مصرفی در شکل ۳ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود متوسط اندازه ذرات

<sup>3</sup> Particle Size Analyser



شکل ۳- میانگین اندازه ذرات پودر SiC.

و در دستگاه گریز از مرکز قرار داده شد تا ذرات از محلول جدا شده و ته‌نشین شوند. شستشوی ذرات با آب مقطر نیز یک‌بار انجام شد. مرحله جداسازی ذرات در دستگاه گریز از مرکز ۱۵ دقیقه بود.

### ج) مرحله فعال‌سازی

برای فعال‌سازی، ابتدا محلولی شامل  $0.042$  مولار کلرید پالادیوم ( $PdCl_2$ ) و  $40$  میلی‌لیتر بر لیتر اسید کلریدریک آماده شد که مانند محلول حساس‌سازی کاملاً بی‌رنگ است. سپس مانند مرحله حساس‌سازی، ذرات به این محلول افزوده شدند و درون دستگاه اولتراسونیک به مدت  $15$  دقیقه قرار گرفتند. پس از آن نیز مرحله گریز از مرکز و شستشو با آب مقطر و جداسازی مانند مرحله حساس‌سازی تکرار شد.

### د) مرحله آبرکاری

آبرکاری الکترولس پودرهای SiC در سه زمان  $15$ ،  $30$  و  $45$  دقیقه در دماهای  $75$ ،  $85$  و  $95$  درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. اجزای اصلی حمام آبرکاری الکترولس و مقادیر آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. مقدار نمک سولفات نیکل، سدیم بوروهیدرید، کمپلکس‌کننده و NaOH بر اساس مقالات انتخاب شد [۱۳، ۱۴].

### الف) شستشوی ذرات کاربرد سیلیسیم به‌وسیله استون و آب مقطر

برای هر بار پوشش‌دهی،  $0.3$  گرم پودر کاربرد سیلیسیم به  $10$  سی سی استون افزوده شد و به مدت  $15$  دقیقه در دستگاه اولتراسونیک قرار گرفت تا آلودگی‌های احتمالی ذرات در استون حل شود. سپس استون حاوی ذرات اولتراسونیک شده در لوله‌های آزمایش ریخته شده و درون دستگاه گریز از مرکز قرار داده شدند تا ذرات از استون جدا گردند. مدت زمان ماندن لوله‌های آزمایش در دستگاه گریز از مرکز  $15$  دقیقه بود. ذرات یک‌بار نیز با آب مقطر شستشو و در دستگاه گریز از مرکز قرار داده شدند. بعد از این مدت، ذرات از لوله آزمایش تخلیه گردیدند.

### ب) مرحله حساس‌سازی

در این مرحله، محلول حساس‌سازی شده شامل  $0.07$  مولار کلرید قلع ( $SnCl_2$ ) و  $40$  میلی‌لیتر بر لیتر اسید کلریدریک ( $HCl$ ) آماده شد. این محلول کاملاً بی‌رنگ و شفاف است. ذرات کاربرد سیلیسیم در این محلول ریخته شد و به مدت  $15$  دقیقه در دستگاه اولتراسونیک قرار داده شد و بعد از آن، مانند مرحله قبل محلول درون لوله‌های آزمایش ریخته شده



### ۳-۱- بررسی اثر زمان در پوشش دهی پودر SiC به روش الکترولس در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد

شکل ۴ نمودار پراش پرتو ایکس نمونه‌های آبکاری شده به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد را نشان می‌دهد. وجود پیک‌های کوچک نیکل در این نمودار تشکیل پوشش نیکل بر سطح ذرات SiC را تأیید می‌کند. البته باید توجه کرد که به علت اینکه پوشش ایجاد شده به صورت کامل روی ذرات ایجاد نشده است پیک‌های نیکل در نمودار XRD با ارتفاع کم ظاهر شده‌اند. نتایج حاصل از آنالیز EDS نیز که در شکل ۵ آورده شده است، وجود نیکل در پودرهای حاصل از آبکاری را تأیید می‌کند.

شکل ۶ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پودرهای آبکاری شده در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد را نشان می‌دهد. وجود پوشش نیکل روی سطح ذرات SiC در این تصاویر قابل مشاهده است. اگرچه با افزایش زمان پوشش بیشتری روی سطح ذرات ایجاد شده است اما به طور کلی پوشش چندان یکنواخت به نظر نمی‌رسد که علت این امر را می‌توان پایین بودن دمای فرآیند آبکاری دانست. زیرا بر اساس نظر قضاوتی و سعیدی [۷] درجه حرارت مستقیماً روی واکنش‌هایی که در حمام الکترولس نیکل - بور انجام می‌شود تأثیرگذار است. دمای حمام روی سرعت واکنش‌های ۱ تا ۴ مؤثر است. به همین علت دمای حمام، میزان نیکل و بور وارد شده به پوشش را نیز کنترل می‌کند و سبب افزایش میزان نیکل و بور در پوشش می‌شود. در واقع پایین بودن دما سبب کاهش اجزاء یون‌های نیکل شده است و در نتیجه فرآیند تشکیل لایه نیکل بر سطح ذرات SiC به خوبی انجام نمی‌شود.

### جدول ۱- مقادیر مواد اولیه ساخت حمام آبکاری

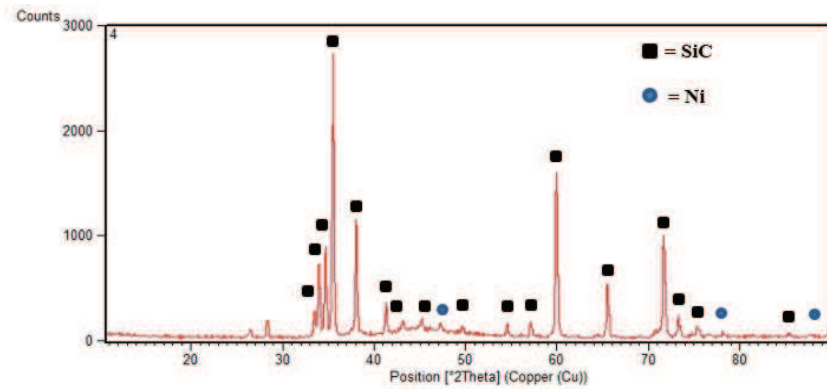
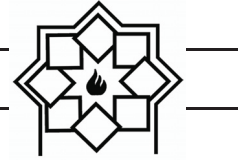
ماده	مقدار
$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	۱۵ گرم بر لیتر
$\text{NaBH}_4$	به نسبت ۱ به ۱ با $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ و به میزان ۱ سی سی در دقیقه
$\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2$	به نسبت ۱ به ۳ با $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
$\text{NaOH}$	۱۰ مولار

پس از فرآیند آبکاری خشک کردن ذرات در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد و به مدت ۳ ساعت صورت گرفت. برای بررسی ریزساختار و مورفولوژی پودرهای SiC پوشش داده شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) Tescan با ولتاژ اعمالی ۲۰-۱۵ کیلو ولت و مجهز به آنالیزگر EDS استفاده شد و به منظور تعیین ترکیب و فازهای موجود در پودرهای SiC پوشش داده شده دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) ساخت شرکت فیلیپس<sup>۴</sup> مورد استفاده قرار گرفت. الگوهای پراش با استفاده از پرتوی  $\text{CuK}\alpha$ ، فیلتر نیکل و ولتاژ ۴۰ کیلو ولت گرفته شدند.

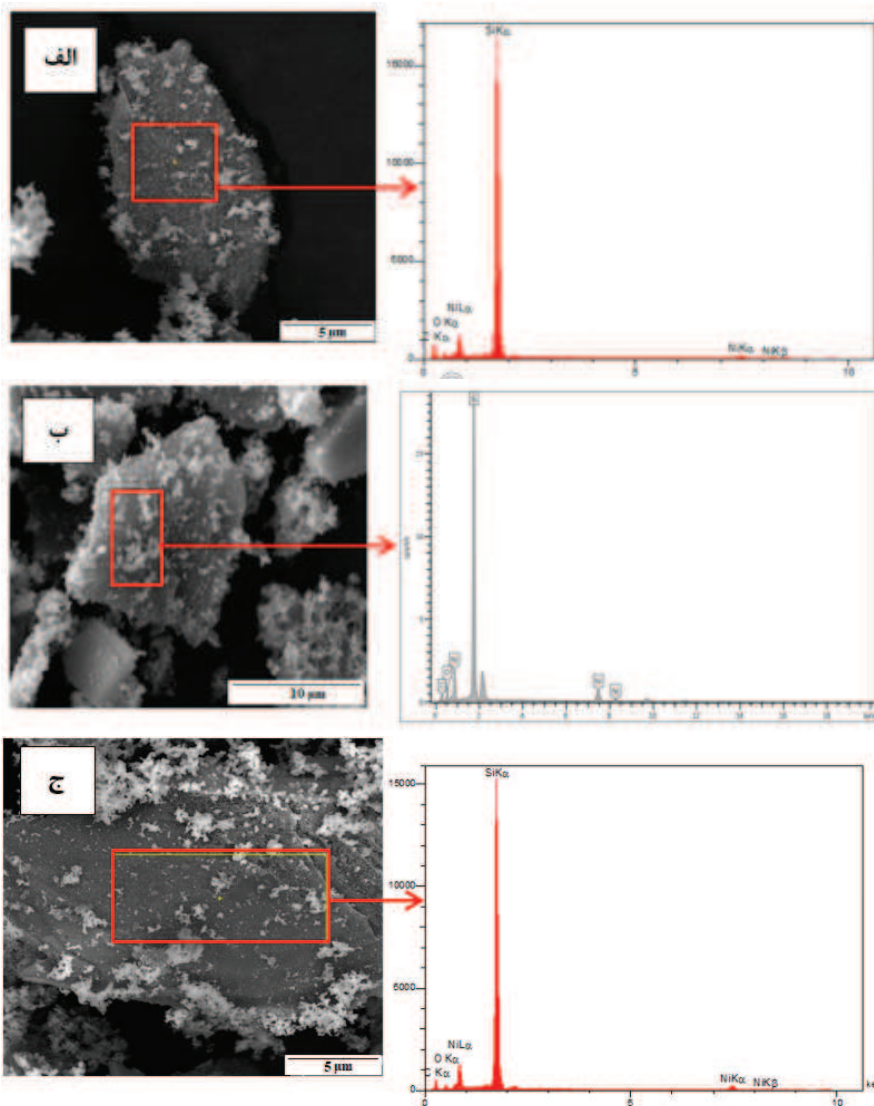
### ۳- نتایج و بحث

به منظور بررسی چگونگی تأثیر زمان بر پوشش نیکل ایجاد شده روی سطح ذرات SiC در فرآیند آبکاری تغییر وزن پودر SiC در دو حالت قبل و بعد از آبکاری محاسبه شد. در ادامه مقدار این تغییر وزن به همراه تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و نمودارهای پراش پرتو ایکس برای زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه در دماهای ۷۵، ۸۵ و ۹۵ درجه سانتی گراد آورده شده است.

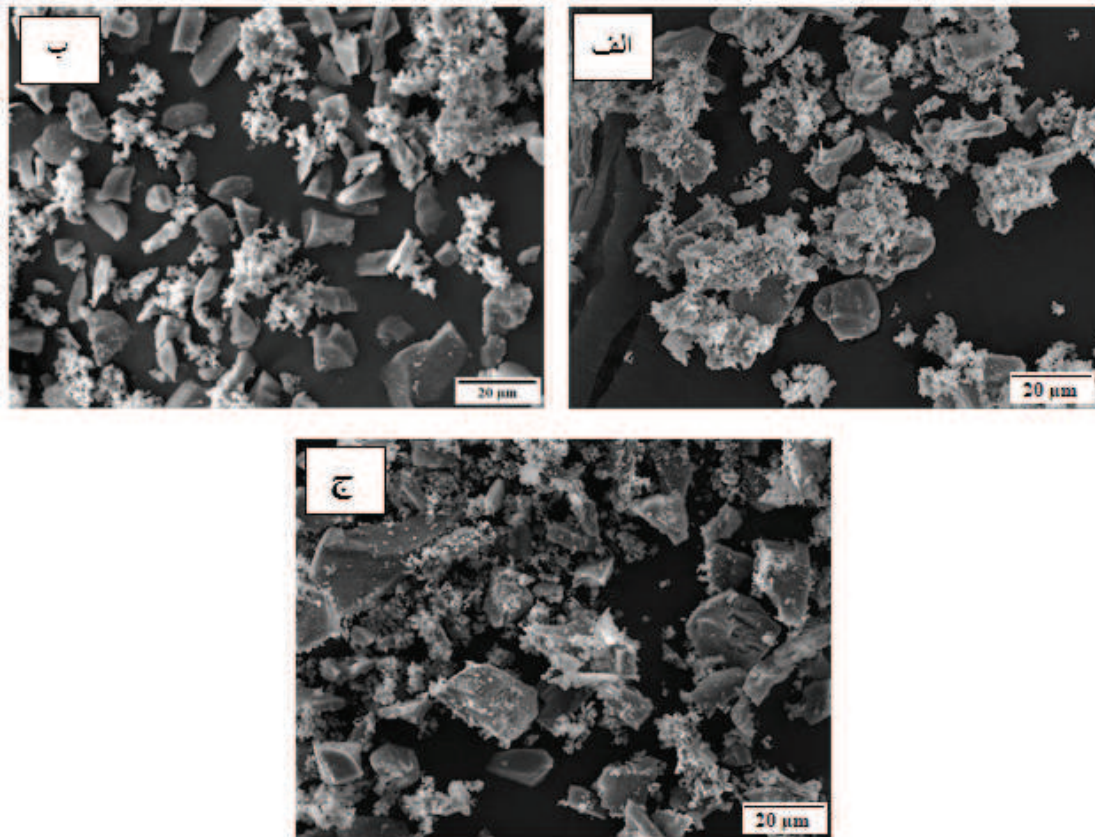
<sup>۴</sup> Philips



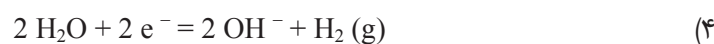
شکل ۴- نمودار پراش پرتو ایکس نمونه‌های آبکاری شده به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد.



شکل ۵- آنالیز EDS پودرهای SiC آبکاری شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و زمان الف) ۱۵، ب) ۳۰ و ج) ۴۵ دقیقه.

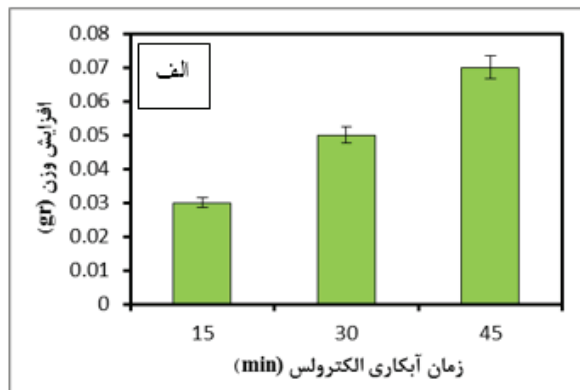
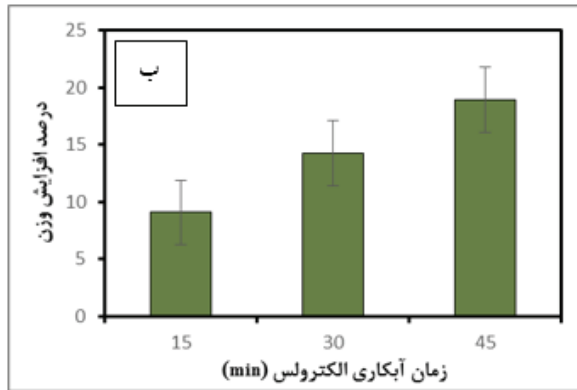
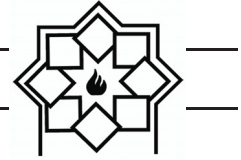


شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پودرهای SiC آبرکاری شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و زمان (الف) ۱۵، (ب) ۳۰ و (ج) ۴۵ دقیقه.



است که این مقادیر به ترتیب معادل ۹، ۱۴ و ۱۸/۵ درصد افزایش وزن است. این اعداد نشان می‌دهد که با افزایش زمان آبرکاری پوشش نیکل بیشتری روی سطح ذرات SiC رسوب نموده است که این امر در تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نیز مشاهده شد.

در شکل ۷-الف و ۷-ب به ترتیب نمودار تغییر وزن پودرهای SiC قبل و بعد از آبرکاری در زمان‌های مختلف در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به صورت مقدار و درصد نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اختلاف وزن پودرهای حاصل از آبرکاری و پودرهای اولیه در زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه به ترتیب ۰/۰۳ به ۰/۰۵ و ۰/۰۷ گرم

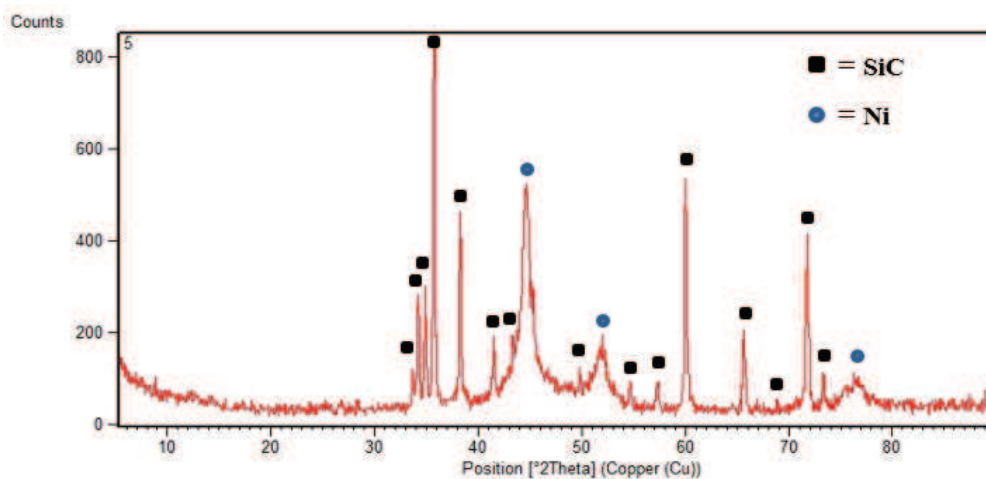


شکل ۷- الف) افزایش وزن و ب) درصد افزایش وزن پودرهای SiC قبل و بعد از آبرکاری در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه.

پیک‌های مربوط به نیکل با ارتفاع زیاد پدیدار شده‌اند که نشان‌دهنده وجود مقدار زیاد نیکل در نمونه است. بنابراین می‌توان گفت احتمالاً در این دما پوشش نیکل با ضخامت و کیفیت مناسب روی سطح رسوب کرده است. در نتایج حاصل از آنالیز EDS نیز که در شکل ۹ آورده شده است، پیک‌های نیکل با شدت مناسب در پودرهای حاصل از آبرکاری دیده می‌شود.

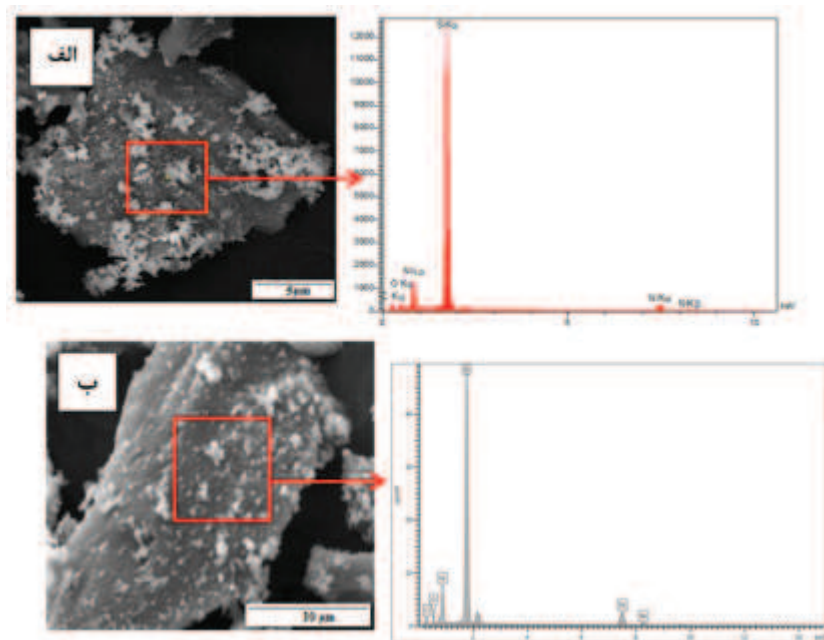
### ۳-۲- بررسی اثر زمان در پوشش‌دهی پودر SiC به روش الکترولس در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد

شکل ۸ نمودار پراش پرتو ایکس نمونه‌های آبرکاری شده به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. در این نمودار برخلاف نمودار مربوط به نمونه آبرکاری شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد (شکل ۴)



شکل ۸- نمودار پراش پرتو ایکس نمونه‌های آبرکاری شده به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد.





شکل ۹- آنالیز EDS پودرهای SiC آبکاری شده در دمای ۸۵۰ درجه سانتی گراد و زمان الف (۱۵، ب) ۳۰ و ج) ۴۵ دقیقه.

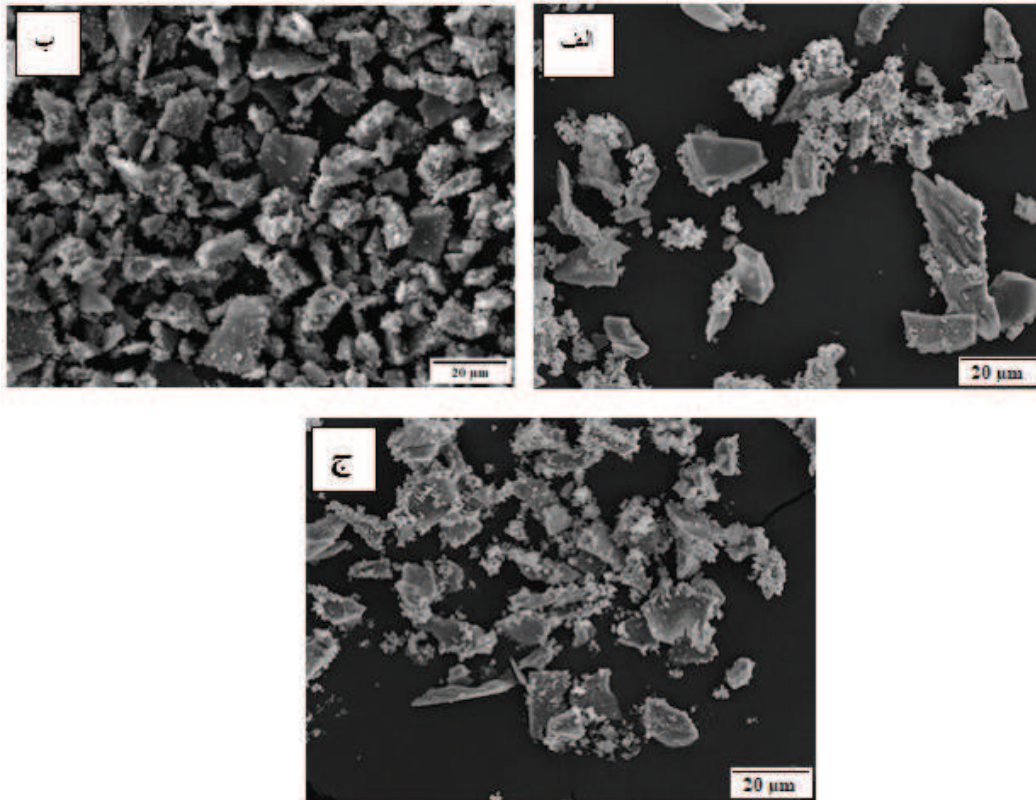
کرده و خوشه‌ها را تشکیل می‌دهند و کلوخه‌های ریز همگن در فاصله بین خوشه‌ها تشکیل می‌شوند. کلوخه‌های بزرگ احتمالاً از هسته‌زایی ترجیحی بر اساس کاهش شیمیایی در مراحل اولیه ایجاد پوشش ناشی می‌شود. به همین دلیل رسوب نیکل اغلب روی نقاط کاتالیتیکی یا جزایر جدا از هم تشکیل شده و در ادامه به مجموعه‌های بزرگ‌تر از کلوخه‌ها تبدیل می‌شوند. پس از آن کلوخه‌های ریز و همگن در نتیجه هسته‌زایی و رشد Ni بر اساس مکانیزم‌های الکتروشیمیایی در همسایگی کلوخه‌های اصلی یا در فاصله خالی بین آن‌ها می‌توانند تشکیل شوند. با انجام فرآیند رسوب‌گذاری در زمان‌های بیش از ۱۵ دقیقه به تدریج سطح ذرات SiC با یک لایه پیوسته پوشیده می‌شود. این لایه که ممکن است بسیار نازک باشد می‌تواند در اثر تجمع کلوخه‌های تشکیل شده در مراحل اولیه رسوب‌گذاری تشکیل شود. بر اساس تحقیقات این دانشمندان پس از گذشت ۳۰ دقیقه از زمان رسوب‌گذاری

شکل ۱۰ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پودرهای آبکاری شده در دمای ۸۵۰ درجه سانتی گراد را نشان می‌دهد. وجود پوشش نیکل روی سطح ذرات SiC در این تصاویر قابل مشاهده است. همان‌طور که در این تصویر مشاهده می‌شود با افزایش زمان آبکاری پوشش ایجادشده روی سطح ذرات افزایش یافته است، به طوری که در نمونه‌ی آبکاری شده در زمان ۳۰ دقیقه (شکل ۱۰-ب) سطح ذرات SiC به طور کامل پوشش یافته است. از طرفی در نمونه مربوط به ۴۵ دقیقه آبکاری (شکل ۱۰-ج) ضمن ضخیم‌تر شدن پوشش در کل سطح در برخی مناطق پوشش نیکل به صورت ناهمگن تجمع کرده است که موجب از بین رفتن یکنواختی پوشش شده است. علت این پدیده را می‌توان در مکانیزم ایجاد پوشش جستجو کرد. بر اساس نظر هی و همکارانش [۱۵] پس از ۱۰ دقیقه آبکاری ساختار کلوخه‌ای نامنظم روی ذرات SiC شکل می‌گیرد. در این مرحله کلوخه‌های بزرگ تجمع



ساختار کلوخه‌ای نامنظم روی سطح می‌شود. با افزایش زمان سطح ذرات SiC با یک لایه پیوسته و نازک از جنس Ni پوشیده می‌شود. زمانی که فرآیند ادامه پیدا می‌کند کلوخه‌های نیکل تازه رسوب کرده به عنوان کاتالیست برای ادامه فرآیند ترسیب نیکل عمل می‌کنند. بر اساس این مکانیزم پس از تشکیل لایه اولیه در برخی مناطق کلوخه‌ها مجدداً تجمع کرده و باعث ضخیم شدن پوشش می‌شوند که این امر یکنواختی پوشش را از بین می‌برد.

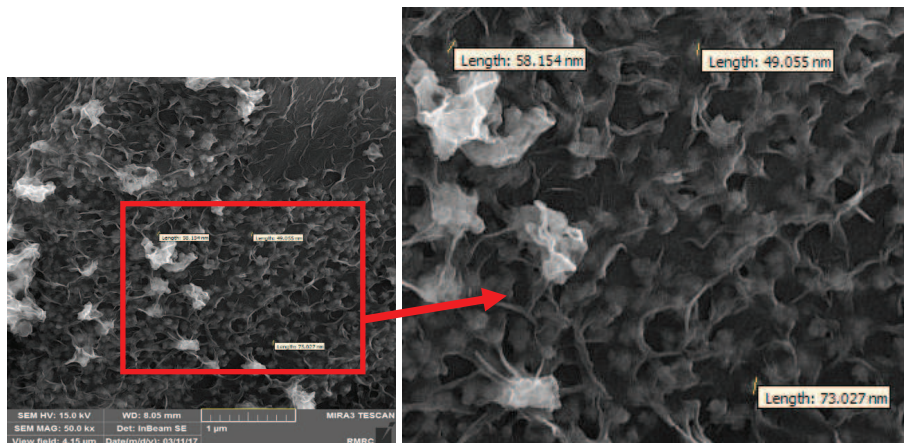
یک لایه پیوسته و همگن به طور کامل سطح ذرات SiC را می‌پوشاند. آن‌ها همچنین بیان کردند تعدادی کلوخه همچنان روی لایه‌ی ایجاد شده رسوب می‌کنند و برخی از آن‌ها نیز باهم تجمع می‌شوند. بر این اساس مکانیزم پیشنهادی برای تشکیل پوشش الکترولس نیکل روی ذرات SiC به شکل زیر است: رسوب‌گذاری از نقاط کاتالیتیکی آغاز شده و پس از آن واکنش هسته‌زایی الکتروشیمیایی در همسایگی کلوخه‌های نیکل و یا حد فاصل آن‌ها اتفاق می‌افتد و موجب تشکیل یک



شکل ۱۰- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پودرهای SiC آبرکاری شده در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد و زمان (الف) ۱۵، (ب) ۳۰ و (ج) ۴۵ دقیقه.

۳۰ دقیقه تهیه شده است و با استفاده از نرم‌افزار دیجی مایزر تحلیل شده است ذرات نیکل با اندازه‌ی کمتر از ۱۰۰ نانومتر به وضوح دیده می‌شوند.

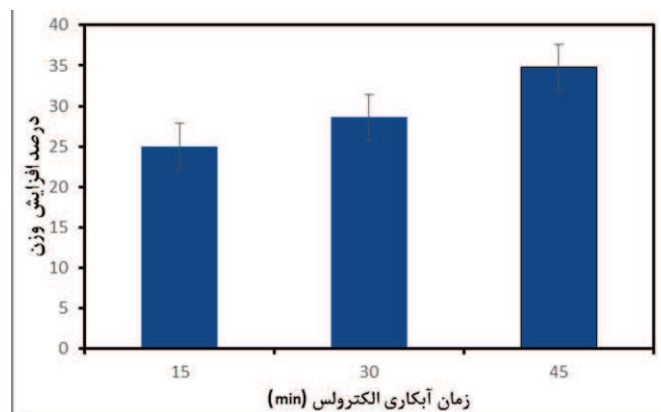
نانو بودن پوشش ایجاد شده روی سطح ذرات SiC به خوبی در شکل ۱۱ نشان داده شده است. در این تصویر که از پودرهای آبرکاری شده در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد و زمان



شکل ۱۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پودرهای SiC آבקاری شده در دمای ۸۵ درجه سانتی گراد و زمان ۳۰ دقیقه.

و با ایجاد لایه‌ی نیکل روی سطح ذرات وزن نمونه‌ها افزایش می‌یابد و با افزایش زمان آבקاری اختلاف وزن اولیه و ثانویه بیشتر هم می‌شود که این امر از ضخیم‌تر شدن لایه تشکیل شده روی سطح ذرات حکایت دارد.

در شکل ۱۲-الف و ۱۲-ب به ترتیب نمودار تغییر وزن پودرهای SiC قبل و بعد از آבקاری در زمان‌های مختلف در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به صورت مقدار و درصد نشان داده شده است. بر اساس این نمودارها پس از فرآیند آבקاری

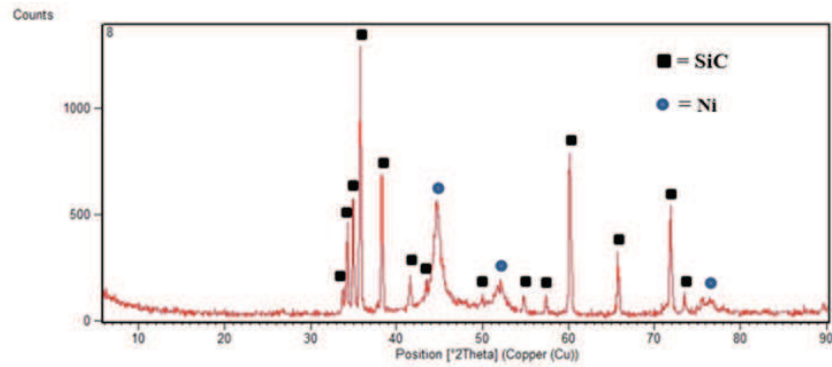
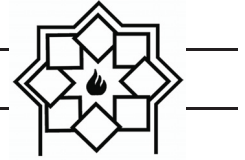


شکل ۱۲-الف) افزایش وزن و ب) درصد افزایش وزن پودرهای SiC قبل و بعد از آבקاری در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه.

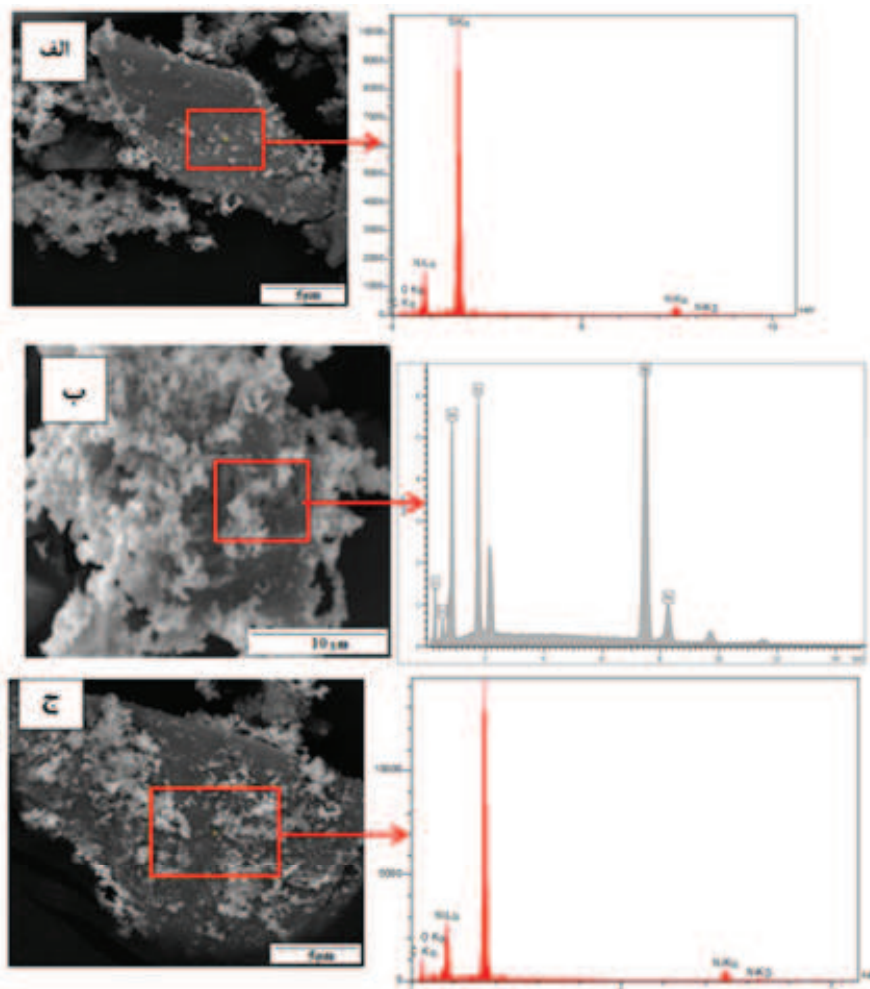
می‌دهد. در این نمودار پیک‌های مربوط به نیکل با ارتفاع زیاد پدیدار شده‌اند که نشان‌دهنده‌ی وجود مقدار زیاد نیکل در نمونه است. در نتایج حاصل از آنالیز EDS نیز که در شکل ۱۴ آورده شده است، پیک‌های نیکل با شدت مناسب در پودرهای حاصل از آבקاری دیده می‌شود.

### ۳-۳- بررسی اثر زمان در پوشش دهی پودر SiC به روش الکترونی در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد

شکل ۱۳ نمودار پراش پرتو ایکس نمونه‌های آבקاری شده به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد را نشان



شکل ۱۳- نمودار پراش پرتو ایکس نمونه‌های آبرازی شده به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد.



شکل ۱۴- آنالیز EDS پودرهای SiC آبرازی شده در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد و زمان الف) ۱۵، ب) ۳۰ و ج) ۴۵ دقیقه.

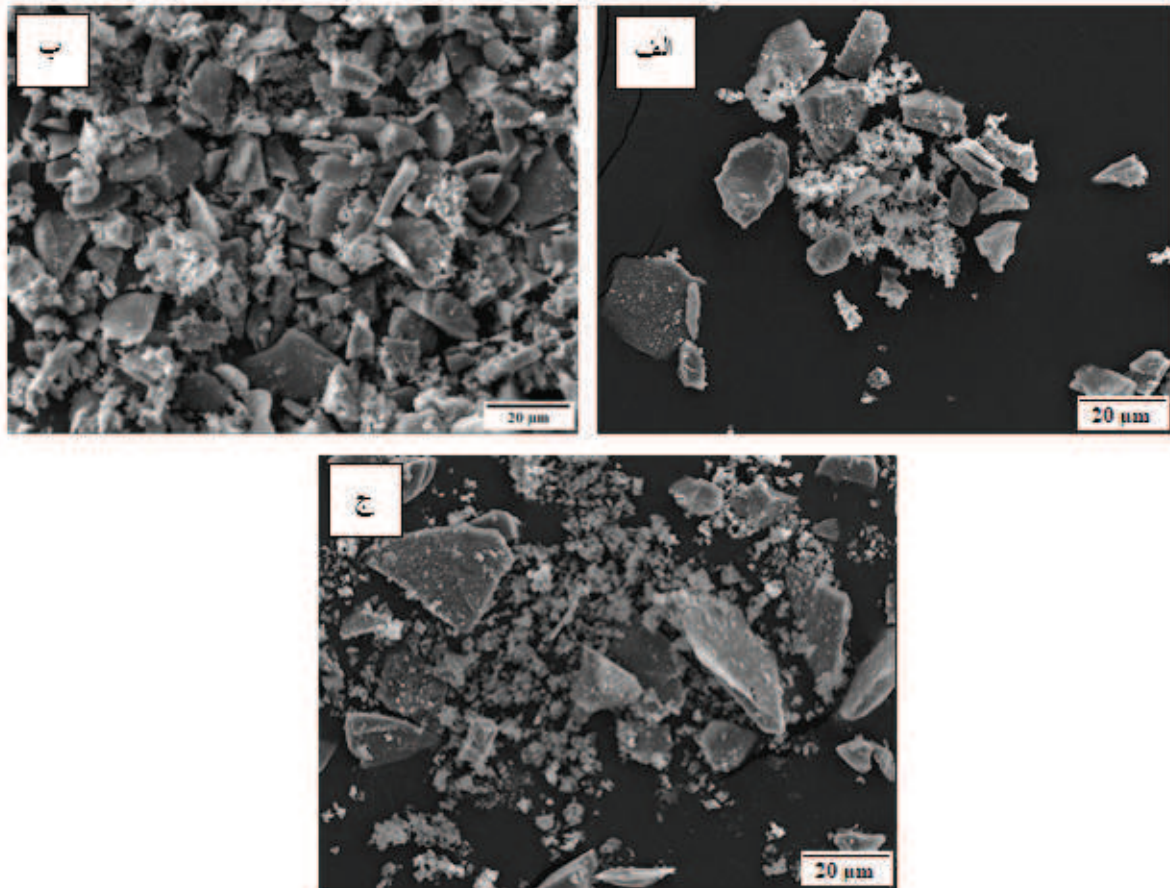
پوشش نیکل روی سطح ذرات SiC در این تصاویر به خوبی دیده می‌شود. همان‌طور که در این تصاویر مشاهده می‌شود

شکل ۱۵ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پودرهای آبرازی شده در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد.



سرعت واکنش‌های ۱ تا ۴ افزایش می‌یابد و در نتیجه سرعت احیای نمک فلز و تولید یون نیکل بیشتر می‌شود [۷]. بنابراین بر اساس مکانیزم پیشنهادی هی و همکارانش [۱۵] تعدادی از یون‌های نیکل نمی‌توانند در محل مناسب رسوب کرده و هسته‌هایی مجزا از جنس نیکل تشکیل می‌شود.

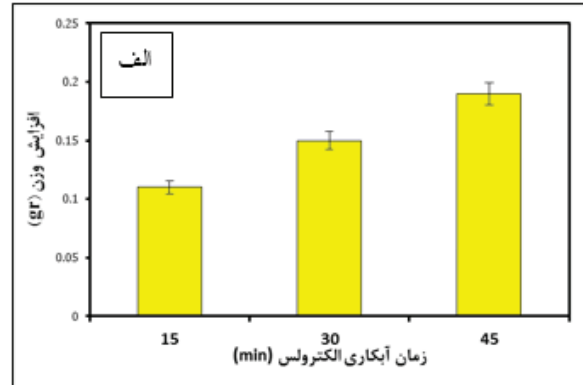
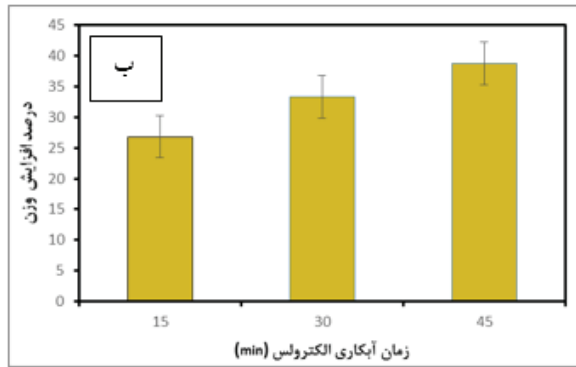
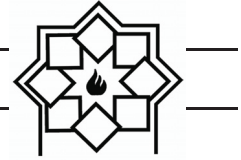
در این دما نیز با افزایش زمان آبکاری پوشش ایجاد شده روی سطح ذرات افزایش یافته است. البته در این شکل می‌توان برخی نقاط را که در آن‌ها ذرات نیکل به صورت خوشه تجمع کرده و روی سطح ذرات SiC قرار نگرفته‌اند نیز مشاهده نمود. علت این امر این است که با افزایش دما



شکل ۱۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پودرهای SiC آبکاری شده در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد و زمان (الف) ۱۵، (ب) ۳۰ و (ج) ۴۵ دقیقه.

و با ایجاد لایه‌ی نیکل روی سطح ذرات وزن نمونه‌ها افزایش می‌یابد و با افزایش زمان آبکاری اختلاف وزن اولیه و ثانویه بیشتر هم می‌شود که این امر از ضخیم‌تر شدن لایه تشکیل شده روی سطح ذرات حکایت دارد.

در شکل ۱۶-الف و ۱۶-ب به ترتیب نمودار تغییر وزن پودرهای SiC قبل و بعد از آبکاری در زمان‌های مختلف در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به صورت مقدار و درصد نشان داده شده است. بر اساس این نمودارها پس از فرآیند آبکاری

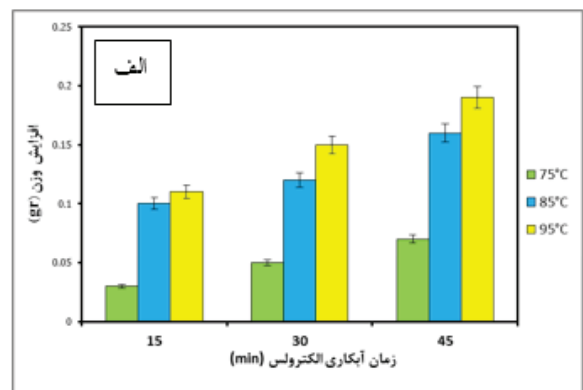
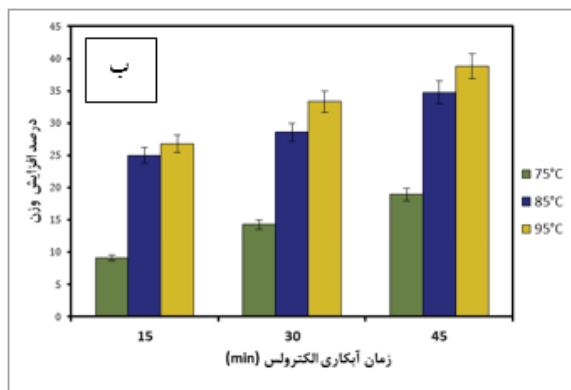


شکل ۱۶- الف) افزایش وزن و ب) درصد افزایش وزن پودرهای SiC قبل و بعد از آبکاری در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه.

البته درصد این افزایش با افزایش دما بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر شیب نمودار افزایش وزن نمونه‌های پس از آبکاری در دمای بالاتر مثبت‌تر است. نکته قابل توجه دیگر آن است که با گذشت زمان معمولاً مقدار درصد افزایش وزن کاهش می‌یابد. این پدیده که در مطالعات سایر دانشمندان نیز مشاهده شده است می‌تواند به کاهش مقدار واکنش‌دهنده‌ها در الکترولیت مربوط باشد [۱۰].

### ۳-۴- بررسی اثر زمان در پوشش‌دهی پودر SiC به روش الکترولس

تغییرات وزنی پودر SiC و درصد این تغییرات پس از پوشش‌دهی الکترولس نیکل در زمان‌ها و دماهای مختلف آبکاری در شکل ۱۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در همه دماها با افزایش زمان آبکاری از ۱۵ به ۳۰ و ۴۵ دقیقه، میزان پوشش نیکل افزایش یافته است.



شکل ۱۷- الف) تغییرات وزنی و ب) درصد تغییرات وزنی پودر SiC پس از پوشش‌دهی الکترولس نیکل در زمان‌ها و دماهای مختلف آبکاری.

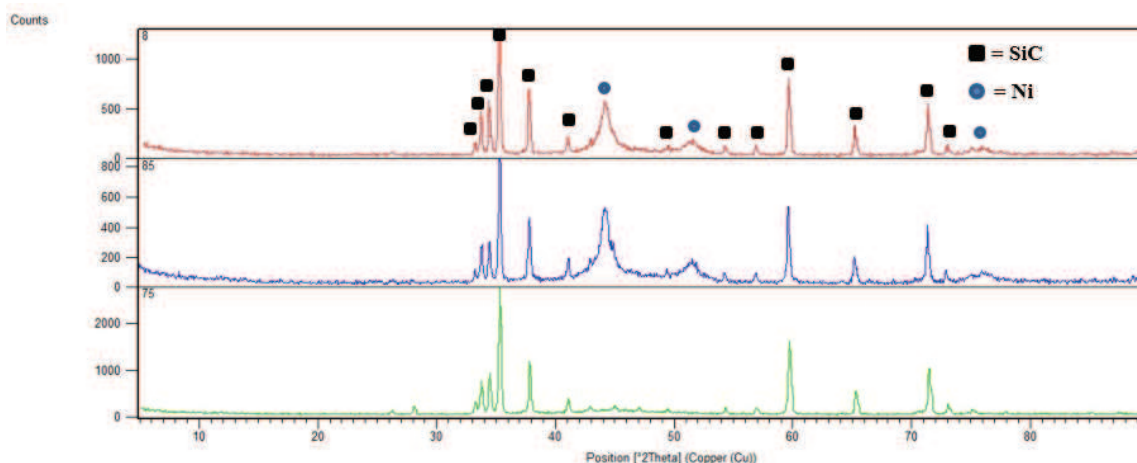
است. این امر که در نمودار پراش پرتو ایکس (شکل ۱۸) به صورت افزایش شدت پیک‌های مربوط به نیکل خود را

همچنین با افزایش دمای حمام آبکاری الکترولس از ۷۵ به ۸۵ و ۹۵ درجه سانتی‌گراد بر میزان پوشش افزوده شده



شد در دماهای ۷۵ و ۹۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب کم بودن و زیاد بودن سرعت واکنش‌ها موجب عدم پوشش دهی و یا ایجاد پوشش غیریکنواخت در سطح ذرات SiC می‌شود.

نشان می‌دهد، ناشی از افزایش فعل و انفعالات در حمام آبکاری و در نتیجه افزایش تولید یون فلزی است. البته می‌بایست دقت کرد که این افزایش وزن پوشش به معنای بهبود کیفیت آن نیست. چنانچه در بخش‌های قبل بحث



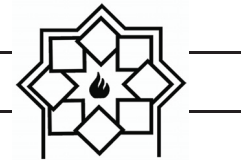
شکل ۱۸- آنالیز فازی پودرهای SiC آبکاری شده در زمان ۳۰ دقیقه و دمای (الف) ۷۵ درجه سانتی‌گراد، (ب) ۸۵ درجه سانتی‌گراد و (ج) ۹۵ درجه سانتی‌گراد.

## مراجع

- [1] F. Kretz, Z. Gácsi, J. Kovács, and T. Pieczonka, "The electroless deposition of nickel on SiC particles for aluminum matrix composites," *Surface and Coatings Technology*, vol. 180, pp. 575-579, 2004.
- [2] H. Zhang, X. Wu, Q. Jia, and X. Jia, "Preparation and microwave properties of Ni-SiC ultrafine powder by electroless plating," *Materials & design*, vol. 28, pp. 1369-1373, 2007.
- [3] L.-M. Luo, Z.-L. Lu, X.-Y. Tan, X.-Y.

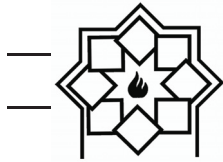
## ۴- نتیجه‌گیری

در فرآیند پوشش‌دهی الکترولس، میزان زمان و دمای حمام آبکاری الکترولس تأثیر بسیاری بر میزان پوشش و یکنواختی آن بر روی سطح ذرات SiC دارند. نتایج نشان دهنده این است که بیش‌ترین میزان پوشش نیکل-بور بر سطح ذرات SiC در زمان ۴۵ دقیقه و دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد حاصل شده است. با این حال یکنواخت‌ترین پوشش در زمان ۳۰ دقیقه و دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمده است. آنالیز فازی نمونه‌های SiC پوشش داده شده نیز بیانگر آن است که در زمان ۳۰ دقیقه آبکاری در هر سه دمای ۷۵، ۸۵ و ۹۵ درجه سانتی‌گراد؛ علاوه بر فاز SiC، فاز Ni نیز بر سطح ذرات SiC حضور دارد و با افزایش دما شدت پیک‌های Ni افزایش یافته است.



- "Preparation of Ni-coated SiC Ceramic composite powder by electroless plating," in *Applied Mechanics and Materials*, 2012, pp. 77-80.
- [10] A. Sharma, M. Suresh, H. Bhojraj, H. Narayanamurthy, and R. Sahu, "Electroless nickel plating on magnesium alloy," *Metal finishing*, vol. 96, p. 10121416, 1998.
- [11] H. Noori, R. T. Mousavian, R. A. Khosroshahi, D. Brabazon, and S. Damadi, "Effect of SiC particle morphology on Co-P electroless coating characteristics," *Surface Engineering*, vol. 32, pp. 391-396, 2016.
- [12] Q. Zhang, M. Wu, and W. Zhao, "Electroless nickel plating on hollow glass microspheres," *Surface and Coatings Technology*, vol. 192, pp. 213-219, 2005.
- [13] X. Zhu, "Processability of Nickel-boron Nanolayer Coated Boron Carbide," University Libraries, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2008.
- [14] H. Dong, X. Zhu, and K. Lu, "Morphology and composition of nickel-
- Ding, L.-M. Huang, J.-G. Cheng, et al., "A specific chemical activation pretreatment for electroless nickel plating on SiC ceramic powders," *Powder Technology*, vol. 249, pp. 431-435, 2013.
- [4] G. Ling and Y. Li, "Influencing factors on the uniformity of copper coated nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powders prepared by electroless plating," *Materials Letters*, vol. 59, pp. 1610-1613, 2005.
- [5] W. Riedel, *Electroless nickel plating*: ASM International, 1991.
- [6] J. R. Davis, *Surface engineering for corrosion and wear resistance*: ASM international, 2001.
- [7] جلال‌الدین قضاوتی، مینا سعیدی حیدری، "بررسی تأثیر دما و میزان pH بر پوشش‌دهی پودر SiC به روش الکترولس Ni-B"، اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین و کاربردی در مهندسی مکانیک، ۱۳۹۴.
- [8] J. Pázmán, V. Má dai, J. Tóth, and Z. Gácsi, "Investigation of the electroless nickel plated SiC particles in metal matrix composites," *Powder Metallurgy Progress*, vol. 10, pp. 102-109, 2010.
- [9] H. Yao, G. L. Zhu, and Y. Z. Wang,





boron nanolayer coating on boron carbide particles," *Journal of Materials Science*, vol. 43, pp. 4247-4256, 2008.

- [15] P. He, S. Huang, H. Wang, Z. Huang, J. Hu, X. Cheng, et al., "Electroless nickel-phosphorus plating on silicon carbide particles for metal matrix composites," *Ceramics International*, vol. 40, pp. 16653-16664, 2014.