



## تأثیر میزان جریان پلازما اسپری بر پوشش دهی شیشه سرامیک آپاتیت - ولاستونیت بر روی فولاد ۳۱۶

ایمان مباحشرپور<sup>۱</sup>، اسماعیل صلاحی<sup>۲</sup>، علی عسجدی<sup>۳</sup>، لیلیا کرم زاده<sup>۴</sup>، علی رضا رضایی<sup>۵</sup>

۱. پژوهشگاه مواد و انرژی (استادیار-عضو هیات علمی پژوهشگاه سرامیک)
۲. پژوهشگاه مواد و انرژی (دانشیار عضو هیات علمی پژوهشگاه سرامیک)
۳. پژوهشگاه مواد و انرژی (کارشناس ارشد آزمایشگاه پلازما اسپری)
۴. پژوهشگاه مواد و انرژی (فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مواد)
۵. پژوهشگاه مواد و انرژی (دانشجو کارشناسی ارشد)

### چکیده

به دلیل خواص مکانیکی و همچنین شکل دهی مناسب فولاد ۳۱۶ در تولید ایمپلنت ها از این آلیاژ به عنوان بدنه اصلی ایمپلنت استفاده می شود اما این آلیاژ از خواص زیست سازگاری سطحی مناسبی برخوردار نیستند لذا به وسیله روشهای پوشش دهی خواص بیولوژیکی لازم را در آنها فراهم می کنند. در این تحقیق شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت بر روی آلیاژ فولاد ۳۱۶ که خود نیز به عنوان یک بیومواد شناخته شده است پوشش داده شد. این کار توسط تکنیک پوشش دهی پلازما اسپری صورت پذیرفت. تأثیر میزان جریان پلازما بر روی پوشش مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی فازهای تشکیل شده نمونه ها به کمک تکنیک پراش پرتو ایکس (XRD) و طیف سنجی مادون قرمز (FT-IR) مورد آنالیز قرار گرفت، پس از پوشش دهی با جریان های مختلف پوشش تشکیل شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. نتایج نشان می دهد شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت از سیستم شیشه های بیو اکتیو  $\text{SiO}_2\text{-CaO-P}_2\text{O}_5\text{-MgO-CaF}_2$  با موفقیت سنتز و با استفاده از تکنیک پلازما اسپری به خوبی بر روی فولاد ۳۱۶ پوشش داده شد. همچنین به دلیل دمای بالا ناشی از جریان اعمالی بالاتر فاز شیشه ای غنی از سیلیس شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت ذوب شده و مجدداً به صورت فیبر در ساختار نمایان شده است.

**واژه‌های کلیدی:** پلازما اسپری؛ شیشه سرامیک؛ آپاتیت؛ ولاستونیت؛

<sup>۱</sup>. [Iman.Mobasherpour@gmail.com](mailto:Iman.Mobasherpour@gmail.com)

## مقدمه

مایعات بافت بدن انسان دارای آب، اکسیژن حل شده، پروتئین و یون های مختلفی چون یون کلر و یون هیدروکسید است. بنابراین بدن انسان یا موجود زنده محیط بسیار مستعد برای خوردگی فلزات مصنوعی نظیر کاشتنی هاست. مقاومت خوردگی ماده کاشتنی فلزی جنبه مهمی از زیست سازگاری آن محسوب می شود. مواد فلزی همچون فولاد زنگ نزن ۳۱۶ به دلیل خواص مکانیکی و پایداری شیمیایی مناسب، به طور گسترده ای به عنوان ایمپلنت در بافت های سخت مثل استخوان مورد استفاده قرار می گیرند. البته مشکلات زیادی در استفاده از فولادهای زنگ نزن ۳۱۶ به عنوان ایمپلنت در بدن انسان در دراز مدت وجود دارد. برای مثال، ایمپلنت فلزی مستعد به خوردگی و سایش است و پیوند ضعیفی مابین سطح ایمپلنت و استخوان ایجاد می شود که در دراز مدت می تواند مشکلات زیادی را ایجاد نماید [۱]. همانگونه که اشاره شد ایمپلنت های فلزی اولاً دچار خوردگی می شوند و ثانياً در برخی از کاربردها دچار سایش می گردند. پس برای غلبه بر این مشکلات اولاً سعی شده از ترکیبات دارای مقاومت بالاتر به خوردگی استفاده شود، ثانياً خواص سایشی سطح بهبود داده شود، ثالثاً سطح به گونه ای بازسازی شود که علاوه بر داشتن این دو خاصیت بتواند سازگاری لازم را نیز با بدن پیدا کند. لذا در مورد ایمپلنت هایی که بارهای زیاد را تحمل می کنند. معمولاً از آلیاژهای فلزی به عنوان ماده اصلی استفاده می گردد و از سرامیک و شیشه سرامیک های مناسب به عنوان پوشش استفاده می شود لذا با توجه به آسیب های به وجود آمده از این تجهیزات، استفاده از پوشش های مقاوم به خوردگی و زیست سازگار بر روی سطح این آلیاژها گسترش یافته است [۲و۱].

پوشش دهی هیدروکسی آپاتیت یا شیشه سرامیک های زیست سازگار بر روی کاشتنی های فلزی، توسط روش های فیزیکی و شیمیایی مختلفی نظیر پاشش پلاسمایی [۳]، روش رسوب گذاری برقی ذرات معلق در مایع [۴]، فرایند زیست تقلیدی [۵]، پوشش دهی سل-ژل [۶] و پاشش حرارتی [۷]، توسعه پیدا کردند. پاشش پلاسمایی یکی از فرایندهای پاشش حرارتی است که به دلیل دارا بودن قابلیت لایه نشانی آسان مواد گوناگون، کاربرد گسترده ای در صنعت دارد. به دلیل دمای بالا و انرژی حرارتی بالای جت پلاسما، مواد با نقطه ذوب بالا می توانند توسط این روش پاشش شوند. فرایند پاشش پلاسما توسط ترکیب دمای بالا، منبع حرارتی با انرژی بالا، محیط پاشش نسبتاً خنثی و سرعت بالای ذرات (معمولاً ۳۰۰-۲۰۰ m/s) یک پوشش با کیفیت بالا تولید می کند. پوشش های سرامیکی معمولاً در اتمسفر (هوا) پاشش می شوند، اگر فرایند در هوای آزاد انجام شود به آن پاشش پلاسما در اتمسفر (APS) می گویند. در این روش مواد پودری توسط پلاسما ذوب شده و با انرژی جنبشی زیاد به سطح قطعه پاشیده می شوند. پلاسما توسط ایجاد قوس در گاز آرگون، هلیوم، نیتروژن، هیدروژن و یا ترکیبی از آنها ایجاد می گردد. در این حالت قوس بین یک الکتروود مرکزی تنگستن و نازل خنک شونده با آب ایجاد می گردد. در ناحیه قوس، گاز یونیزه شده و با سرعت بالا به سمت قطعه کار از نازل خارج می گردد. ذرات توسط گاز پلاسما هم زمان ذوب شده و به سمت قطعه شتاب می گیرند. همچنین با استفاده از نازل های خاص می توان به پلاسما با سرعت بالا دست یافت. بیش تر مصارف این روش در صنایع

هوافضا و بیومتریال است و اندازه ذرات پودر معمولاً در حدود ۴۰ میکرومتر می‌باشد، ذرات با اندازه بزرگ‌تر به صورت کامل ذوب نمی‌شوند [۹ و ۸].

به منظور دست‌یابی به مجموعه‌ای از خواص زیستی و خواص مکانیکی مناسب، محققین ایجاد پوشش‌های زیست‌فعال بر روی ایمپلنت‌های فلزی را پیشنهاد داده‌اند. روش‌های مختلفی برای ایجاد این نوع از پوشش‌ها نظیر کاشت یونی، لیزر، پلاسما اسپری، سل-ژل و ... وجود دارد، که از میان روش‌های موجود پلاسما اسپری و سل-ژل به طور گسترده‌ای در پوشش‌دهی بر روی ایمپلنت مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر میزان جریان پلاسما در پوشش‌دهی شیشه‌سرامیک پایه آپاتیت-ولاستونیت بر ریز ساختار و ضخامت پوشش به دست آمده بر روی فولاد آلیاژی ۳۱۶ به روش پلاسما اسپری تولید شده است.

### مواد و روش تحقیق

در این پژوهش جهت رسیدن به ترکیب شیمیایی مورد نظر برای دست‌یابی به شیشه‌سرامیک آپاتیت-ولاستونیت از منابع زیر استفاده شد:

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Merck Art No. 100549), CaF<sub>2</sub> (Merck Art No. 102840), MgO (Merck Art No. 105866), CaO (Merck Art No. 102109), SiO<sub>2</sub> (Merck Art No. 113126), ترکیب شیمیایی مورد مطالعه بر حسب درصد وزنی در شکل ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی اولیه شیشه‌سرامیک آپاتیت-ولاستونیت مورد مطالعه بر حسب درصد وزنی

ترکیب شیمیایی	SiO <sub>2</sub>	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO	CaF <sub>2</sub>
درصد وزنی	۳۴	۴۴/۷	۱۶/۲	۴/۶	۰/۵

جهت ساخت ترکیب شیشه-سرامیک مورد نظر، مواد اولیه با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ توزین، مخلوط و همگن گردید. پس از اختلاط مواد اولیه، مخلوط در درون بوتله آلومینایی مناسب در کوره الکتریکی در دمای ۱۵۵۰ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت ذوب گردید. جهت جلوگیری از خروج مواد فرار نظیر دی‌فلورید کلسیم در بوتله با صفحه آلومینایی پوشانده شد. مذاب حاصله توسط تخلیه در آب مقطر سریعاً تبدیل به فریت شیشه‌سرامیک آپاتیت-ولاستونیت شد. فریت‌های به دست آمده به مدت ۲۵ دقیقه توسط هاون آسیا شدند.

عملیات حرارتی بر روی پودر فریت تولید شده در اتمسفر معمولی و با استفاده از یک کوره اتاقکی آزمایشگاهی مجهز به المانهای سیلیکون کاربرد و با قابلیت رسیدن به دمای حداکثر ۱۴۰۰ °C صورت گرفت. کوره مجهز به ریزپردازنده‌ای برای برنامه‌ریزی و اجرای منحنی گرمایش نمونه‌ها بود. نمونه‌های مورد نظر بر روی صفحات آلومینایی قرار گرفته و مطابق با برنامه آزمایشها در محدوده ۱۰۰ تا ۹۰۰ °C با نرخ گرمایش

۱۰°C/min حرارت داده شدند. مدت زمان قرارگیری در بیشینه دما (۹۰۰ °C) ۱ ساعت بوده و عملیات سرمایش نیز در همین کوره صورت گرفته تا پودرها به دمای محیط برسند. به منظور انجام فرآیند پوشش دهی پلاسما، نمونه‌هایی به شکل مکعب مستطیل با ابعاد ۱۵×۱۰ میلی‌متر و ضخامت ۲ میلی‌متر توسط برش با دستگاه وایر کات آماده شدند. در این پژوهش از فولاد ۳۱۶ به عنوان زیرلایه استفاده شد.

در این پژوهش برای ایجاد پوشش‌ها از دستگاه پاشش پلاسما در اتمسفر هوا با تفنگ Metco 3MB استفاده شد. در این پژوهش از گاز آرگون (Ar) به عنوان گاز اولیه پلاسما و گاز حامل پودر و از هیدروژن (H<sub>2</sub>) به عنوان گاز ثانویه استفاده شد. پارامترهای پاشش پلاسما بر اساس داده‌هایی که توسط شرکت‌های تولید کننده پودرها (سولزر متکو Sulzer Metco) تدوین شده بود، تنظیم شدند. پارامترهای پوشش دهی عمدتاً بر اساس نقطه ذوب و اندازه دانه پودرها و همچنین متناسب با درصد تخلخل مطلوب، انتخاب می‌شوند. پارامترهای مورد استفاده برای پوشش دهی نمونه‌ها در جدول ۲ آمده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود دو نوع فرآیند پوشش دهی انجام شده که تنها تفاوت آنها در میزان جریان اعمالی است.

جدول ۲: پارامترهای لایه نشانی پلاسما اسپری برای پودر شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت

فاصله پاشش (mm)	نرخ تغذیه (g/min)	نسبت Ar/H <sub>2</sub>	جریان (A)	نوع پوشش
۱۰۰	۱۵	۸۵/۱۵	۴۰۰	A-W TYPE 1
۱۰۰	۱۵	۸۵/۱۵	۴۵۰	A-W TYPE 2

برای تعیین فازهای به دست آمده بعد از پوشش دهی و مطالعه ساختار آنها از روشهای پراش پرتو ایکس (XRD) و طیف سنجی فرو سرخ استفاده گردید.

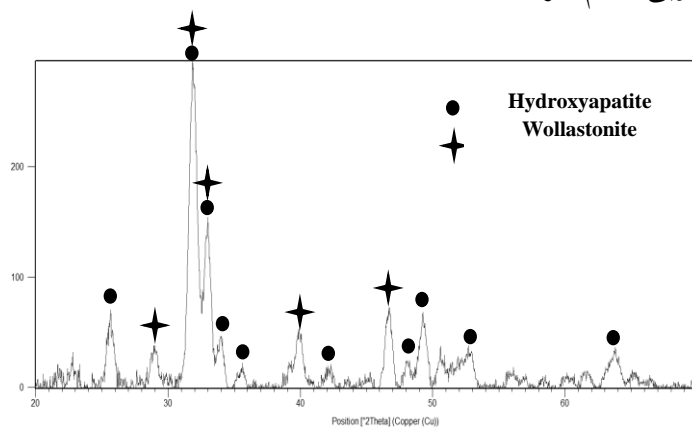
برای مطالعات طیف سنجی فرو سرخ از دستگاه FT-IR مدل Bruker IFS 48 ساخت آلمان در محدوده عدد موج  $4000-500\text{ cm}^{-1}$  در حالت عبوری استفاده گردید.

الگوهای پراش پرتو ایکس با دستگاه پراش پرتو ایکس Siemens تحت ولتاژ ۳۰ Kv و جریان ۲۵mA صورت گرفت. در تمام آزمایش‌ها از اشعه ایکس Cu k $\alpha$  با طول موج  $1.5404\text{ \AA}$  استفاده شد. زمان اقامت در هر گام یک ثانیه، اندازه گام ۰/۰۲ درجه و محدوده روبش بین ۲۰ تا ۷۰ درجه انتخاب گردید. فازهای موجود با مقایسه زاویه تفرق پیکهای XRD و میزان شدت مربوطه با مقادیر ارائه شده در کارتهای ASTM و نرم افزار Xpert شناسایی شدند. برای بررسی مورفولوژی سطح و ضخامت پوشش پس از پوشش دهی از میکروسکوپ الکترونی روبشی Cambridge استفاده شد. در مورد میکروسکوپ الکترونی روبشی ولتاژ کاری این دستگاه ۲۵kV می‌باشد. در مورد نمونه‌ها پوشش داده شده بر روی سطح روکشی از طلا داده می‌شود تا امکان تصویر

برداری فراهم گردد. با استفاده از تصاویر حاصل تاثیر میزان جریان پلازما بر روی ریز ساختار و تغییرات ضخامت آن بررسی می شود.

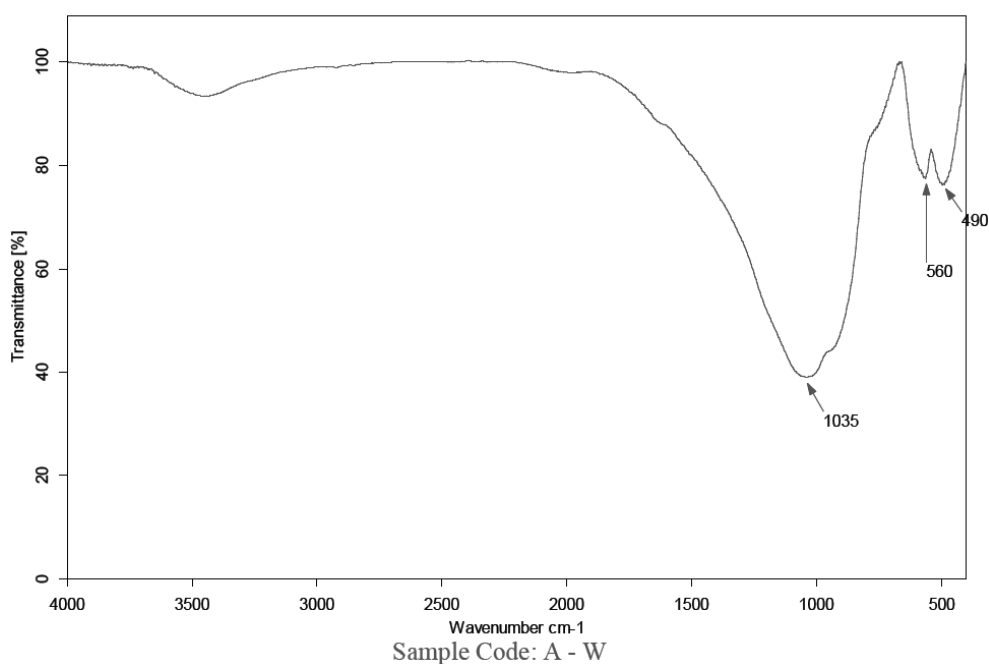
### نتایج و بحث

شکل ۱ الگوی پراش اشعه ایکس نمونه فریت تهیه شده مورد عملیات حرارتی قرار گرفته در دمای  $900^{\circ}\text{C}$  را نشان می دهد. با توجه به این الگو حضور فازهای ولاستونیت و هیدروکسی آپاتیت در ساختار مشخص است. با توجه به این الگو مشخص است که تولید شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت با توجه به سیکل عملیات حرارتی در نظر گرفته شده به خوبی انجام گرفته است.



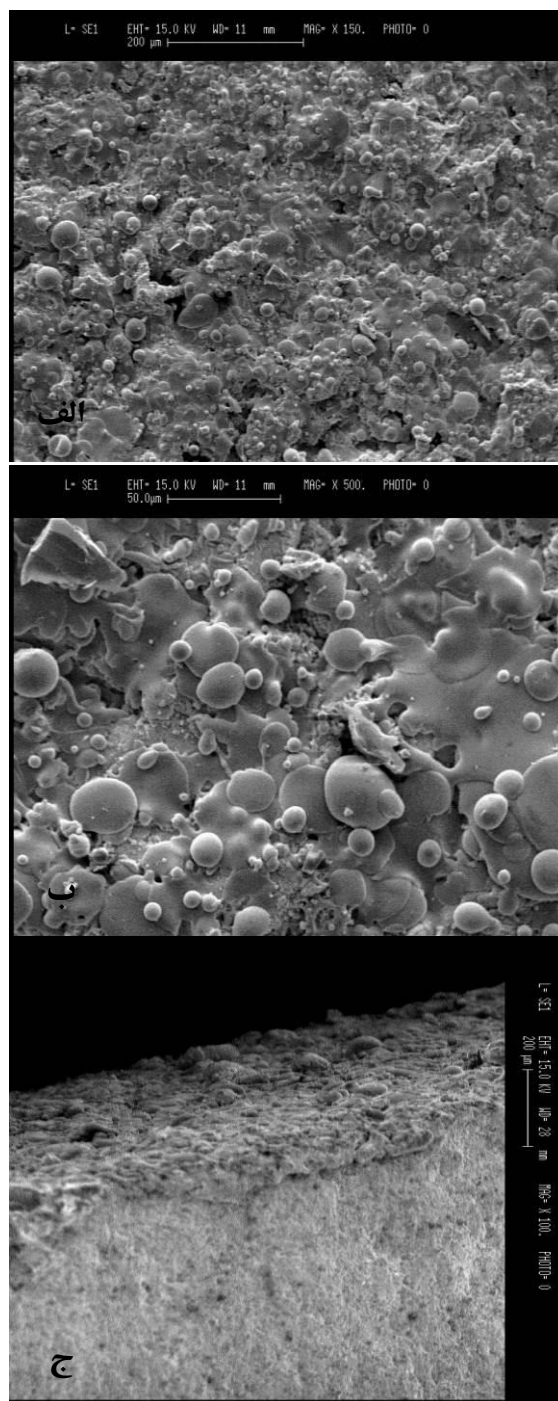
شکل ۱: الگوی پراش اشعه ایکس فریت شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت پس از عملیات حرارتی در  $900^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت

در شکل ۲ طیف سنجی مادون قرمز مربوط به پودر فریت شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت قبل از پوشش دهی مشاهده می شود. پیک های موجود در محدوده  $3300$  تا  $3700$  بر سانتی متر مربوط به بنیان هیدروکسیل می باشد. باند پیوندی در محدوده  $1035$  بر سانتی متر متعلق به گروه  $\text{PO}_4^{3-}$  است. باندهای موجود در محدوده  $500$  تا  $600$  بر سانتی متر نیز متعلق به گروه های فسفات است. تجربه نشان داده است که پیک دوتایی خمشی فسفات که در فاصله اعداد موج  $500-600\text{ cm}^{-1}$  قرار دارد با افزایش بلورینگی کلسیم فسفات مورد مطالعه تمایل بیشتری برای دو شاخه شدن می یابد [۱۰]. باندهای موجود شناسایی شده از ویژگی های ساختار هیدروکسی آپاتیت می باشد. باند موجود در محدوده  $490$  بر سانتی متر مطابق با بنیان O-Si-O است. با توجه به اینکه در آنالیز پرتو ایکس فاز ولاستونیت مورد شناسایی قرار گرفته است وجود این بنیان ناشی از وجود فاز ولاستونیت و یا فاز شیشه است. با توجه به نتایج به دست آمده از طیف سنجی مادون قرمز و پراش اشعه ایکس تشکیل شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت مورد تایید است.



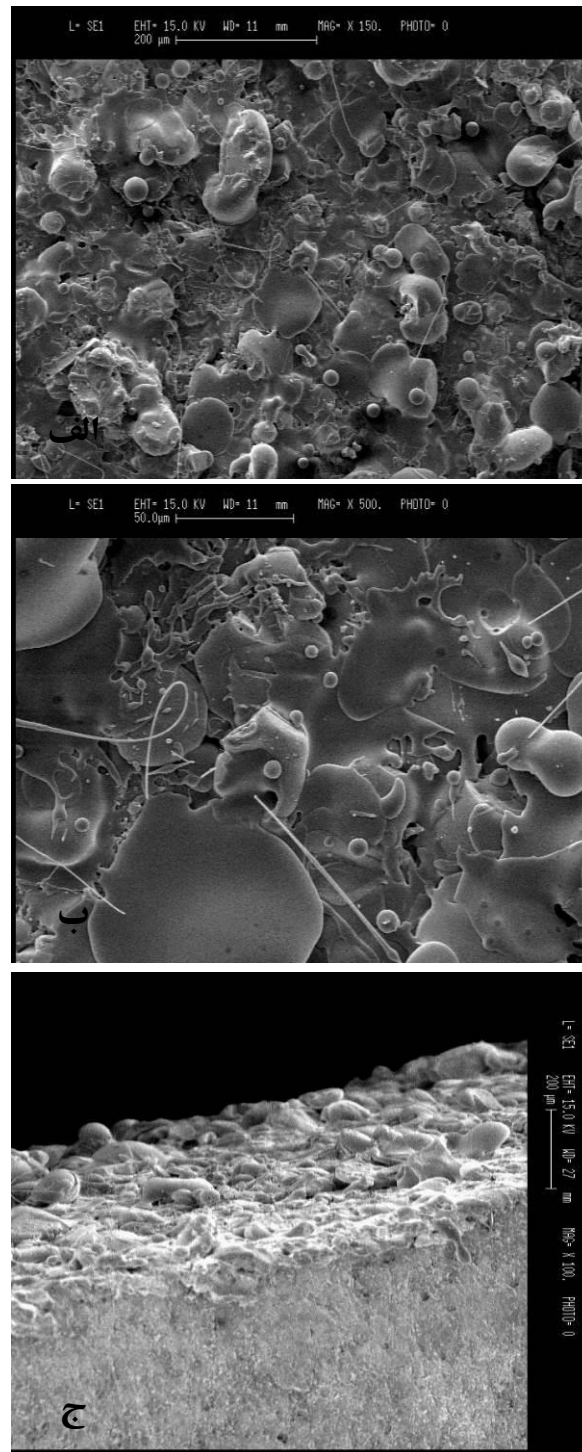
شکل ۲: طیف سنجی مادون قرمز مربوط به پودر فریت شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت قبل از پوشش دهی و قرار گیری در محلول شیشه سازی بدن

شکل ۳ نشان دهنده تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت که با جریان ۴۰۰ آمپر پوشش (A-W TYPE1) داده شده است می باشد. با توجه به شکل مشاهده می شود که یک سطح زبر با ذرات ذوب جزئی شده بر روی سطح تشکیل شده است. با افزایش بزرگنمایی در شکل ۳ ب مشاهده می شود که ساختار پوشش حاوی ذرات ذوب شده بسیار و میکرو ترک هایی بر روی سطح پوشش می باشد. در شکل ۳ ج تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح مقطع پوشش ارائه شده است. با توجه به این تصویر ساختار لایه ای با برخی تخلخل، میکرو ترک ها و بدون هیچ ترکی بین زیر لایه فولادی و پوشش لایه نشانی شده مشاهده می شود. شکل ۴ نشان دهنده تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت که با جریان ۴۵۰ آمپر پوشش (A-W TYPE2) داده شده است می باشد. با توجه به شکل مشاهده می شود که یک سطح زبر با ذرات ذوب شده به صورت قطرات ذوب پهن شده و قطره ناشی از ذوب بر روی سطح تشکیل شده است. با افزایش بزرگنمایی در شکل ۴ ب مشاهده می شود که ساختار پوشش حاوی ذرات ذوب شده بسیار، میکرو ترک هایی و فیبرها لوله ای شکل بر روی سطح پوشش می باشد.



شکل ۳: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از پوشش شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت (A-W TYPE1) (الف) از سطح با بزرگنمایی ۱۵۰ (ب) از سطح با بزرگنمایی ۵۰۰ (ج) از سطح مقطع

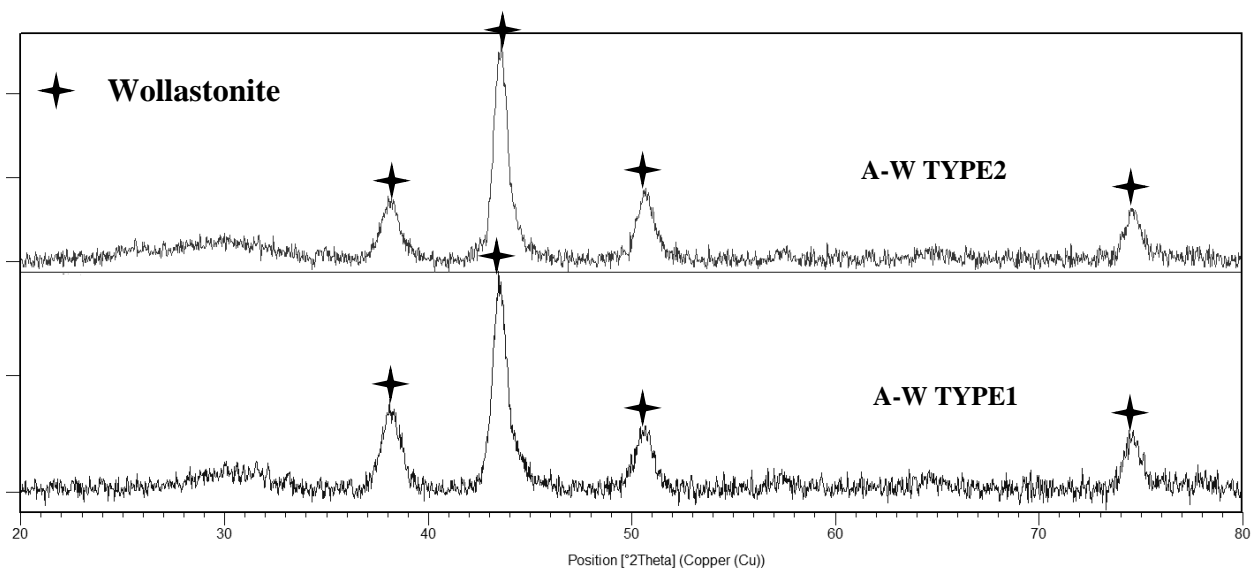
تأثیر میزان جریان پلازما اسپری بر پوشش دهی شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت



شکل ۴: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از پوشش شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت (A-W TYPE2) الف) از سطح با بزرگنمایی ۱۵۰ ب) از سطح با بزرگنمایی ۵۰۰ ج) از سطح مقطع



دلیل افزایش میزان قطرات ناشی از مذاب را می توان به دمای بالاتر شعله پلاسما اسپری نسبت داد. با توجه به اینکه تمام پارامترهای پوشش دهی ثابت بوده است مشاهده می شود که با افزایش جریان پلاسما به دلیل بالا رفتن دمای شعله پلاسما ذرات پودر شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت راحتتر ذوب شده و این امر باعث تشکیل تعداد بیشتر قطرات مذاب در هنگام پوشش دهی می شود که این پدیده در تصاویر میکروسکوپ الکترونی قابل مشاهده است. به دلیل دمای بالا ناشی از جریان اعمالی بالاتر فاز شیشه ای غنی از سیلیس شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت ذوب شده و مجدداً به صورت فیبر در ساختار نمایان شده است. حضور ساختار فیبری شکل نیز بر این امر دلالت دارد. در شکل ۴ ج تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح مقطع پوشش شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت (A-W TYPE2) پوشش داده شده با جریان ۴۵۰ آمپر ارائه شده است. با توجه به این تصویر ساختار لایه ای با برخی تخلخل، میکرو ترک ها و بدون هیچ ترکی بین زیرلایه فولادی و پوشش لایه نشانی شده مشاهده می شود.



شکل ۵: الگوی پراش اشعه ایکس پوشش شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت پس از پوشش دهی

در شکل ۵ به ترتیب الگوی پراش اشعه ایکس پوشش شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت با دو کد (A-W TYPE1) و (A-W TYPE2) ارائه شده است. با توجه به این الگو و مقایسه با الگوی پراش پودر قبل از پوشش (شکل ۱) مشاهده می شود که عمده فاز قابل شناسایی در هر دو نوع پوشش فاز ولاستونیت است. عدم حضور فاز آپاتیت را می توان به ذوب شدن آن و قرار گیری بر روی سطح نسبت داد. تپه تشکیل شده در محدوده ۲۵، ۲۸ تا ۳۲ درجه در نمونه پوشش داده شده با جریان ۴۰۰ آمپر و تپه ایجاد شده در محدوده ۲۵، ۲۸ تا ۳۴ درجه در نمونه پوشش داده شده با جریان ۴۵۰ آمپر نشانه وجود فازهای آمورف ناشی از ذوب پوشش توسط پلاسما اسپری می باشد. افزایش محدوده قسمت آمورف در نمونه پوشش داده شده با جریان ۴۵۰ آمپر را می توان به افزایش دما ناشی از بالا بودن جریان نسبت داد که باعث شده فاز مذاب بیشتری تشکیل شده که در

نتیجه محدوده فاز آمورف افزایش داشته است. ناشی از نکته قابل توجه دیگر با توجه به این الگو عدم تشکیل فاز شبه ولاستونیت (pseduowollastonite) به عنوان یک فاز نامطلوب در ساختار می باشد. دمای انتقال ولاستونیت به فاز شبه ولاستونیت در حدود ۱۱۲۰ درجه سانتیگراد می باشد. اگر چه سرعت این استحاله بسیار پایین می باشد چون ولاستونیت جزء سیلیکات های زنجیره ای است و فاز شبه ولاستونیت جزء سیلیکات های حلقوی می باشد [۱۱]. بنابراین با توجه به نتایج عدم تشکیل فاز شبه ولاستونیت در سیستم پوشش دهی مشاهده می شود. به طور کلی، هیدروکسی آپاتیت جز دسته سرامیک های زیست فعال بوده و دارای خواص زیستی مناسبی می باشد و در حدود ۷۰٪ از فاز معدنی استخوان را تشکیل می دهد. عدم وجود پیک هیدروکسی آپاتیت در نمونه ها بعد از پوشش دهی بیانگر این نکته است که بخش عمده ترکیب به صورت آمورف درآمده است.

### نتیجه گیری

(۱) شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت از سیستم شیشه های بیو اکتیو  $\text{SiO}_2\text{-CaO-P}_2\text{O}_5\text{-MgO-CaF}_2$  با موفقیت سنتز و تولید شد.

(۲) شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت با استفاده از روش پلاسما اسپری با موفقیت بر روی زیر لایه فولاد ۳۱۶ لایه نشانی شد. پوشش ایجاد شده دارای ساختار لایه ای با برخی تخلخل، میکرو ترک ها و بدون هیچ ترکی بین زیر لایه فولادی و پوشش لایه نشانی شده است.

(۳) تحت شرایط ثابت با افزایش جریان اعمالی دمای شعله پلاسما اسپری افزایش می یابد که در نتیجه با افزایش جریان پلاسما به دلیل بالا رفتن دمای شعله پلاسما ذرات پودر شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت راحت تر ذوب شده و این امر باعث تشکیل تعداد بیشتر قطرات مذاب در هنگام پوشش دهی می شود. به دلیل دمای بالا ناشی از جریان اعمالی بالاتر فاز شیشه ای غنی از سیلیس شیشه سرامیک آپاتیت-ولاستونیت ذوب شده و مجدداً به صورت فیبر در ساختار نمایان شده است. حضور ساختار فیبری شکل نیز بر این امر دلالت دارد

### مراجع

1. H. M., Grandin, S., Berner, and M., Dard, A Review of Titanium Zirconium (TiZr) Alloys for Use in Endosseous Dental Implants, *Materials*, 5 (2012) 1348-1360.
2. A., Jayagopal, Gregory P. Stone, and Frederick R. Haselton, Light-Guided Surface Engineering for Biomedical Applications, *Bioconjugate Chemistry*, 19 (2008) 792-796.
3. L., Sun, C.C., Berndt, K.A., Gross, and A. Kucuk, Material Fundamentals and Clinical Performance of Plasma-Sprayed Hydroxyapatite Coatings, *Journal of Biomedical Materials Research*, 58 (2001) 570-592.
4. C. Wang, J. Ma, W. Cheng, and R. Zhang, Thick Hydroxyapatite Coatings by Electrophoretic Deposition, *Materials Letters*, 57 (2002) 99-105.

5. D.A. Cortes, A. Medina, S. Escobedo, and M.A. Lopez, Biomimetic Apatite Formation on a CoCrMo Alloy by Using Wollastonite, Bioactive Glass or Hydroxyapatite, *Journal of Materials Science*, 40 (2005) 3509 – 3515.
6. J. Gallardo, and P. Galliano, Bioactive and Protective Sol-Gel Coatings on Metals for Orthopaedic Prostheses, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 21 (2001) 65–74.
7. H. Lia, K. A. Khora, and P. Cheang, Thermal Sprayed Hydroxyapatite Splats: Nanostructures, Pore Formation Mechanisms and TEM Characterization, *Biomaterials*, 25 (2004) 3463–3471.
8. S. Bose, High temperature coatings: Butterworth-Heinemann Ltd, Manchester, Connecticut, USA (2007).
9. O. A. Zubacheva, Plasma sprayed and physically vapor deposited thermal barrier coatings: comparative analysis of thermoelastic behavior based on curvature studies, Publikationsserver der RWTH Aachen University, Germany, (2004).
10. V. Cannillo, J. Colmenares-Angulo, L. Lusvarghi, F. Pierli, S. Sampath, “In vitro characterisation of plasma-sprayed apatite/wollastonite glass–ceramic biocoatings on titanium alloys”, *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 29, pp. 1665–1677, (2009).
11. X. Liu, C. Ding, Z. Wang, “Apatite formed on the surface of plasma-sprayed wollastonite coating immersed in simulated body fluid”, *Biomaterials*, Vol. 22, pp. 2007-2012, (2001).