

تأثیر تابش نور فرابنفش بر زیست فعالی پوشش‌های هیبریدی نانوساختار پلی سیلوکسان-تیتانیوم دی اکسید- شیشه زیستی به روش سل-ژل

عاطفه خراسانی فردوانی^۱، مجتبی نصر اصفهانی^{۲*}، سید علی حسن زاده^۳

۱- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

*m-nasresfahani@iaun.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۲۸، تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۴/۳۰)

چکیده

این تحقیق توسعه پوشش‌های حاوی ذرات شیشه زیست‌فعال (45S5) و نانو ذرات TiO_2 در سل اسیدی هیبریدی از ۳- متااکریلوکسی پروپیل تری‌متوکسی سیلان (TMSM) و تترا اتوکسی سیلیکات (TEOS) را که بر روی صفحات شیشه‌ای به روش لایه‌نشانی چرخشی اعمال شده است به منظور اصلاح فعالیت آپاتیت‌سازی پوشش توصیف می‌کند. چسبندگی فیلم‌های تهیه شده بوسیله روش برش متقاطع بررسی شد. نتایج نشان داد که حضور ذرات 45S5 و TiO_2 در ماتریس هیبریدی به مقدار کم، چسبندگی پوشش را کاهش می‌دهد. میکروساختار و زیست‌فعالی در محیط آزمایشگاهی فیلم‌های کامپوزیتی و اثر مقدار ذرات 45S5 و TiO_2 و تابش نور فرابنفش (UV) بر زیست‌فعالی در محیط مصنوعی توسط تکنیک میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف‌سنجی توزیع انرژی پرتو ایکس (EDS) مورد بررسی قرار گرفت. زیست‌فعالی در محیط مصنوعی فیلم‌های تهیه شده نشان می‌دهد که هسته‌های هیدروکسی آپاتیت تشکیل و بر روی سطح فیلم‌های کامپوزیتی پوشش داده شده روی صفحات شیشه‌ای رشد می‌کند. اگرچه تابش نور UV منجر به افزایش تشکیل تجمعات هیدروکسی آپاتیت بر روی پوشش هیبریدی می‌شود ولی اثر آن قابل توجه نیست. این امر احتمالاً بخاطر سرکوب خواص فتوکاتالیستی TiO_2 در اثر پوشیده شدن با سل هیبریدی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

شیشه زیست‌فعال 45S5، تیتانیوم دی اکسید، پوشش هیبریدی، نانوساختار، تابش نور فرابنفش.

۱- مقدمه

این طریق، جراحی یا بیماری اندام مذکور بهبود یابد [۱]. در سال ۱۹۶۹، نظریه زیست‌فعالی ارائه شد. در این نظریه مفهوم زیست‌فعالی بدین صورت تعریف شده بود: یک ماده زیست‌فعال، ماده‌ای است که پاسخ واکنش بیولوژیکی ویژه‌ای در سطح مشترک با ماده متصل ایجاد کند، که نتیجه آن تشکیل

بیوماده یک ماده مصنوعی است که برای جایگزین‌سازی یا تعویض بخشی از بدن انسان یا موجود زنده یا به منظور کار کردن در تماس نزدیک با بافت زنده استفاده می‌شود. کاربرد بیومواد جایگزین‌سازی و تعویض اعضا و اندام‌هایی از بدن است که بر اثر بیماری یا آسیب، کاربری خود را از دست داده‌اند تا از

۲- مواد و روشها

۲-۱- مواد لازم

تترااتیل اورتوسیلیکات (TEOS)، با خلوص ۹۹ درصد، تری اتیل فسفات (TEP)، کلسیم نترات چهار آبه $(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$ ، متا اکریلوکسی پروپیل تری متوکسی سیلان (TMSM)، بنزوئیل پراکساید (BPO)، اتانول خالص $(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH})$ و هیدروکلریک اسید (HCl) ۳۵ درصد از شرکت مرک برای تهیه شیشه زیست فعال 45S5 و سل هیبریدی استفاده شد. نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید از شرکت آلدریچ در محدوده ۱۰ تا ۱۵ نانومتر تهیه شد. این مواد شیمیایی بدون هیچ گونه خالص سازی مورد استفاده قرار گرفت. در کلیه واکنش ها از آب دو بار تقطیر استفاده شد. جهت لایه نشانی پوشش های هیبریدی از اسلایدهای میکروسکوپی به ابعاد $2 \text{ mm} \times 2/5 \text{ cm} \times 7/5 \text{ cm}$ استفاده گردید.

۲-۲- شیشه زیست فعال 45S5

برای تهیه شیشه زیست فعال 45S5 ابتدا به $7/6$ میلی لیتر محلول ۱ مولار نیتریک اسید به آرامی $3/4$ میلی لیتر TEOS اضافه شد. سپس در مراحل بعدی به ترتیب $0/31$ میلی لیتر TEP، $2/1$ گرم کلسیم نترات ۴ آبه و در انتها $1/39$ گرم نترات سدیم به محلول حاصل اضافه شد. در هر مرحله افزایش، ۳۰ دقیقه زمان داده شد تا محلول کاملاً هموژن شود. سل شفاف حاصل بعد از ۲۴ ساعت در دمای محیط به ژل تبدیل می شود. ژل حاصل در دمای ۶۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ و ۴۰ ساعت در خشک کن قرار گرفت و سپس پودر حاصل به مدت ۵ ساعت با نرخ افزایش دمای ۲ درجه سانتیگراد بر دقیقه در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد کلسینه شد.

۲-۳- سل هیبریدی آلی- معدنی

برای تهیه ۱۰ گرم سل هیبریدی، $0/03$ گرم BPO به $1/16$ گرم TMSM اضافه شد و تا شفاف شدن محلول همزده شد. سپس ۱ گرم TEOS به محلول حاصل اضافه گردید و گرانروی سل با

یک پیوند بین بافت ها و مواد می باشد. این واکنش، حد وسط مواد قابل جذب و خنثی می باشد [۲]. اولین شیشه زیست فعال در سال ۱۹۶۹ میلادی توسط هنج ساخته شد، او توانست نشان دهد که این شیشه می تواند بدون ایجاد لخته خون در اطراف بافت های بدن با آنها پیوند تشکیل دهد [۳]. شیشه های زیست فعال بدلیل داشتن خواص مکانیکی ضعیف ذاتی مانند چقرمگی شکست پایین و تردی، اغلب به صورت پوشش بر روی سطح کاشتنی فلزی استفاده می شود. بیشتر این مواد چسبندگی ضعیفی با زیر لایه داشته و نرخ زیست تخریب پذیری آنها نیز هنگام قرار گرفتن در بدن زیاد خواهد است [۴]. نانوذرات تیتانیوم دی اکسید یکی از پرکاربردترین نانوذرات نیمه رسانا با ویژگی های خاص آبدوستی و فوتوکاتالیستی، جاذب نور فرابنفش و آنتی باکتریال می باشد که به طور گسترده در ساخت نانو کامپوزیت ها استفاده می شود [۵].

از آنجا که خواص مکانیکی بیوسرامیک ها محدود بوده و پوشش های سرامیکی نیز ترد و شکننده می باشد، در دهه اخیر پوشش های هیبرید آلی- معدنی به روش سل- ژل مورد توجه قرار گرفته است. پوشش های هیبریدی شامل شبکه های درهم نفوذکننده دو جزء آلی و معدنی است. پوشش های هیبریدی آلی- معدنی به دلیل داشتن خواص مکانیکی مطلوب، انعطاف پذیری و چسبندگی خوب به سطح فلز و زیست فعالی کاربردهای بسیار زیادی در پزشکی، دندان پزشکی پیدا کرده است [۶]. در تحقیق حاضر سل هیبریدی آلی- معدنی از واکنش های پلیمریزاسیون، هیدرولیز و متراکم شدن ۳- متا اکریلوکسی پروپیل تری متوکسی سیلان (TMSM) و تتراتوکسی سیلیکات (TEOS) تهیه شد و نانو ذرات شیشه زیست فعال و دی اکسید تیتانیوم به منظور افزایش دهنده زیست فعالی به سل هیبریدی آلی- معدنی اضافه گردید و بر روی زیر لایه شیشه ای پوشش داده شد. ساختار و زیست فعالی پوشش های هیبریدی قبل و بعد از تابش نور فرابنفش و غوطه وری در محلول SBF توسط تکنیک های SEM، EDS و FTIR مورد ارزیابی قرار گرفت.

انعکاسی مدل 27BRUKER TENSOR در محدوده cm^{-1} ۴۰۰۰-۶۰۰ استفاده گردید. چسبندگی پوشش ها به زیرلایه بوسیله روش برش متقاطع با تیغه ۲ میلی متر طبق استاندارد ۲-ASTM D ۳۳۵۹ مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

جدول (۲) مقادیر اکسید سیلیسیم (SiO_2)، اکسید کلسیم (CaO)، اکسید فسفر (P_2O_5) و اکسید سدیم (Na_2O) برای نمونه های تولید شده شیشه زیست فعال 45S5 را با استفاده از آزمون فلورسانس پرتو ایکس (XRF) نشان می دهد. نتیجه حاصله نشان دهنده این مطلب است که ترکیب شیشه زیست فعال تولید شده، نسبت به ترکیب شیمیائی استاندارد هنج دارای اختلاف بسیار کمی می باشد.

جدول (۲): میزان عناصر موجود در شیشه زیست فعال 45S5

ترکیب	غلظت تجربی (% W/W)	غلظت تنوری
SiO_2	۴۲/۹۹	۴۵
CaO	۲۸/۶۵	۲۴/۵
Na_2O	۲۱/۴۰	۲۴/۵
P_2O_5	۵/۵۷	۵
ناخالصی	۰/۴۴۹	-
LOI	۰/۸۶	-
Total	۹۹/۹۲	-

* Loss on ignition (1000 °C, 2 h)

در شکل (۱) الگوی XRD شیشه سرامیک زیست فعال 45S5 آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود، وجود پیک های فاز کریستالی $\text{Na}_2\text{Ca}_2\text{Si}_3\text{O}_9$ در نمونه قابل مشاهده است. بنابراین شیشه زیست فعال حاصل تا اندازه ای کریستالی بوده و در ۶۰۰ درجه سانتیگراد فاز CaO و Na_2O تشکیل فاز کریستالی $\text{Na}_2\text{Ca}_2\text{Si}_3\text{O}_9$ را داده است.

نتایج مطالعات محققان نشان می دهد که افزایش دمای پخت شیشه های زیستی موجب افزایش کریستالیتی و در نتیجه کاهش

اضافه کردن ۳/۷ میلی لیتر اتانول تنظیم شد. در انتها دو قطره هیدروکلریک اسید ۱ مولار و ۳ میلی لیتر آب مقطر به آرامی به محلول اضافه شد و به مدت ۱ ساعت برای تکمیل فرآیند هیدرولیز سل حاصل همزده شد.

۲-۴- کامپوزیت هیبریدی پلی سیلوکسان- شیشه زیست فعال- تیتانیوم دی اکسید

در ۳ لوله آزمایش، ۱ گرم سل هیبریدی ریخته و ۵٪ وزنی نانو پودر طبق جدول (۱) به آن اضافه شد. محتوای داخل لوله ها به خوبی توسط همزن و حمام اولتراسونیک مخلوط شد تا سل کامپوزیتی کاملاً همگن شود. سل های کامپوزیتی بر روی اسلایدهای میکروسکوپی توسط لایه نشانی چرخشی پوشش داده شد. پوشش ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط و سپس به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد در خشک کن قرار گرفت تا کاملاً خشک شود.

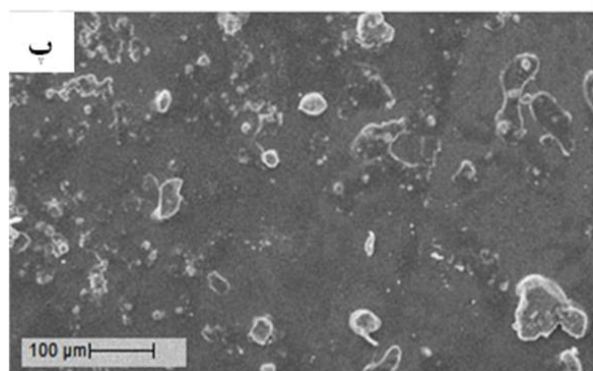
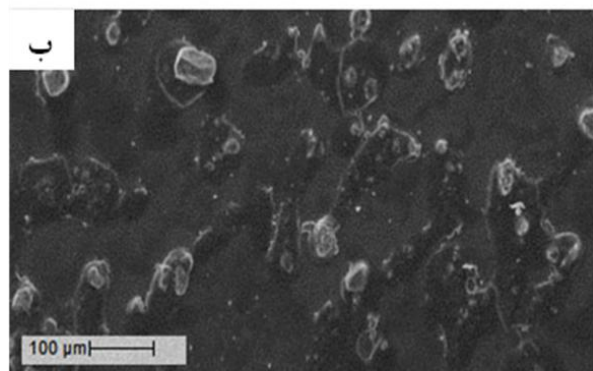
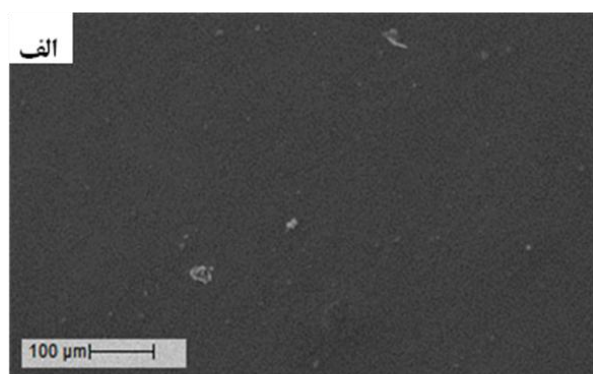
جدول (۱): ترکیب درصد سل کامپوزیتی

نمونه	سل هیبریدی (gr)	تیتانیوم دی اکسید (%)	درصد شیشه زیست فعال
۱	۱ گرم	۰٪	۵٪
۲	۱ گرم	۲/۵٪	۲/۵٪
۳	۱ گرم	۵٪	۰٪

۲-۵- مشخصه یابی

آزمون های در محیط مصنوعی توسط غوطه وری نمونه های پوشش داده شده در SBF انجام شد. نمونه ها در این محلول به مدت ۲۱ روز و در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد با رعایت نسبت سطح نمونه به حجم محلول $0.35 \text{ cm}^2/\text{ml}$ غوطه ور گردید. برای بررسی های ساختاری و آنالیز عنصری پوشش قبل و بعد از غوطه وری در SBF از دستگاه های طیف نگاری فلورسانس اشعه X (XRF) مدل S4PIONEER، پراش پرتو ایکس (XRD) مدل Philips Xpert با آند مسی ($\text{Cu K}\alpha$)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/ EDS) مدل ZISE و آنالیز FTIR

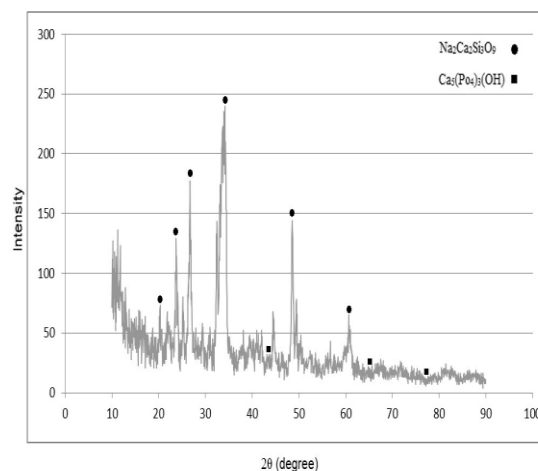
این نشان می‌دهد که نه تنها بدلیل عدم وجود ترک بلکه به دلیل داشتن چسبندگی مناسب با زیرلایه، این پوشش‌های هیبریدی می‌توانند جایگزین مناسبی برای پوشش‌های سرامیکی باشد.



شکل (۲): تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از پوشش‌های هیبریدی نانوساختار پلی‌سیلوکسان-تیتانیوم دی‌اکسید-شیشه‌زیستی: (الف): پوشش پلی‌سیلوکسان-تیتانیوم دی‌اکسید، (ب): پوشش پلی‌سیلوکسان-شیشه زیستی و (پ): پوشش پلی‌سیلوکسان-تیتانیوم دی‌اکسید-شیشه زیستی

شکل (۳) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پوشش‌های هیبریدی را با و بدون ۲۴ ساعت تابش نور فرابنفش و پس از ۲۱

زیست فعالی آنها می‌شود. از سوی دیگر دمای شیشه‌ای شدن شیشه‌های زیست‌فعال $550-600^{\circ}\text{C}$ گزارش شده است [۶]. بنابراین در این پژوهش نیز به منظور دستیابی به شیشه زیست‌فعال با فاز کریستالی هیدروکسی آپاتیت و حداکثر زیست فعالی ممکن، دمای 600°C برای عملیات حرارتی انتخاب گردید.

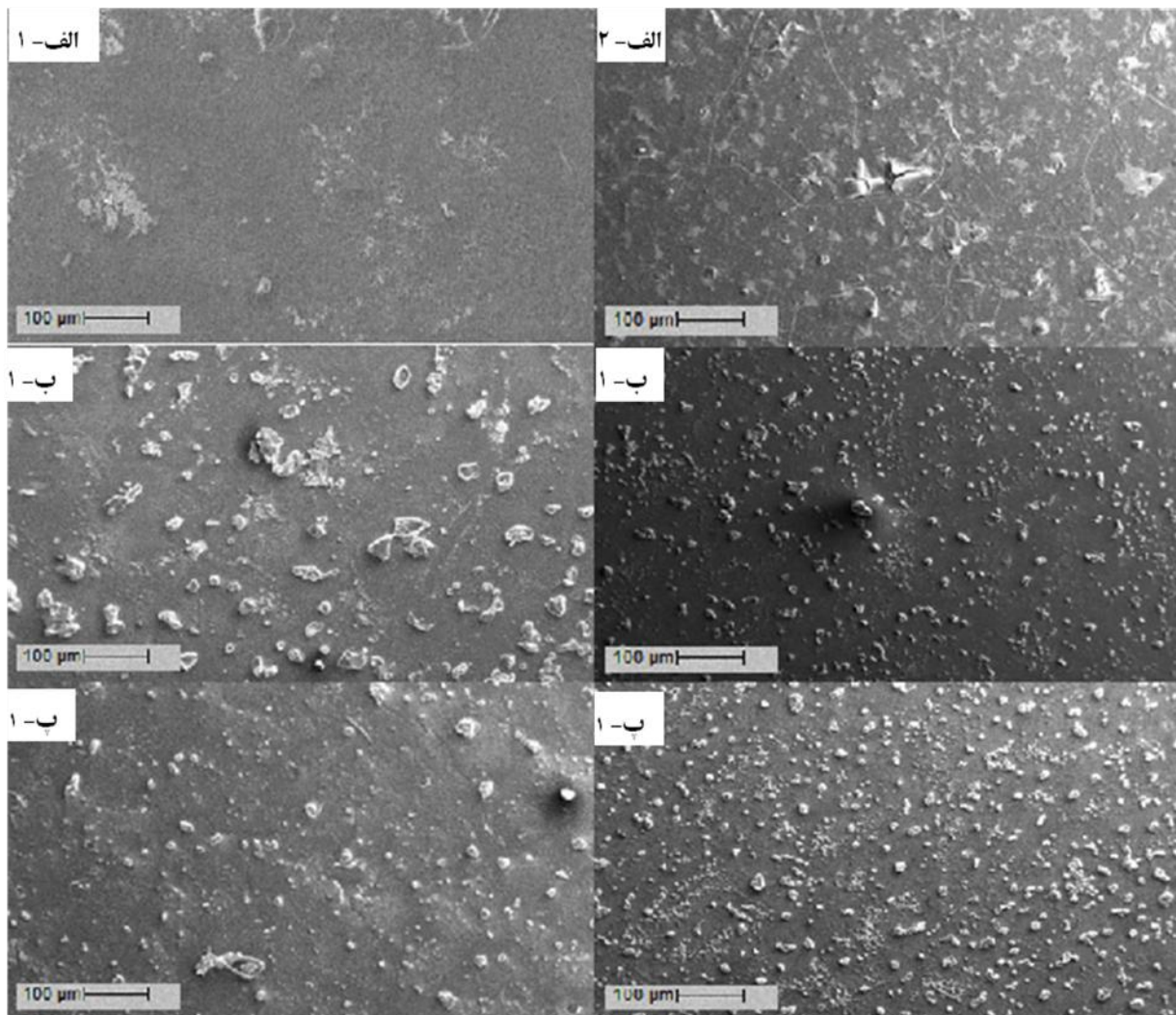


شکل (۱): الگوی پراش اشعه ایکس شیشه زیست فعال

نتایج آزمون چسبندگی پوشش‌های هیبریدی نشان می‌دهد که برای نمونه ۱ چسبندگی پوشش به زیرلایه در حد 1B بوده و حدوداً ۶۵٪ پوشش از زیرلایه جدا می‌شود. در نمونه ۲ با افزودن نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید میزان چسبندگی از 1B به 3B افزایش یافته بطوری که فقط حدود ۱۵٪ از پوشش در اثر برش متقاطع از سطح زیرلایه جدا شده است. در نمونه ۳ بیشترین چسبندگی مشاهده شد و پوشش کاملاً به زیرلایه چسبیده بود و تقریباً هیچ قسمتی از پوشش از سطح زیرلایه جدا نشده است (5B). با توجه به اینکه میزان چسبندگی در پوشش‌های کامپوزیتی به ابعاد ذرات ارتباط دارد، شیشه‌زیستی چون دارای ذرات بزرگی است تا اندازه‌ای از چسبندگی پلیمر به زیرلایه جلوگیری می‌کند در حالیکه نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید مانعی برای چسبندگی پلیمر به زیرلایه ایجاد نمی‌کند.

شکل (۲) تصاویر پوشش‌های هیبریدی را قبل از غوطه‌وری در SBF نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود سطح پوشش‌های هیبریدی آلی- معدنی کاملاً بدون ترک می‌باشد و

روز غوطه‌وری در SBF نشان می‌دهد.



شکل (۳): تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از پوشش های هیبریدی بعد از غوطه‌وری در SBF به مدت ۲۱ روز: (الف-۱ و الف-۲): پوشش پلی سیلوکسان-تیتانیوم دی اکسید بدون و تحت تابش UV، (ب-۱ و ب-۲): پوشش پلی سیلوکسان-شیشه زیستی بدون و تحت تابش UV و (پ-۱ و پ-۲): پوشش پلی سیلوکسان-تیتانیوم دی اکسید-شیشه زیستی بدون و تحت تابش UV

Si-OH در سطح پوشش باشد که به تشکیل هیدروکسی آپاتیت، بیش از پیش کمک می‌کند.

با وجود تشکیل تجمع‌هایی از هیدروکسی آپاتیت بر روی پوشش های هیبریدی، حتی ورود همزمان TiO_2 و 45S5 نتوانسته است باعث تشکیل یک لایه هیدروکسی آپاتیت بر روی سطح پوشش گردد. مطالعات قبلی نیز ضعف تشکیل لایه متراکم از هیدروکسی آپاتیت را بر روی پوشش های سرامیک و هیبریدی نشان داده است که دلیل عمده آن متراکم بودن

با دقت در تصاویر SEM شکل (۳) الف-۱، ب-۱ و پ-۱ مشاهده می‌شود که لکه‌های سفید رنگی بصورت جزیره‌های کوچک در کل سطح تشکیل شده است. داده‌های FTIR و EDS تایید می‌کند که این لکه‌های سفید از جنس آپاتیت شبه‌استخوانی می‌باشد. همانطور که در شکل ۳ (پ-۱) مشاهده می‌شود با ورود همزمان تیتانیوم دی اکسید و شیشه زیستی 45S5 در پوشش، هیدروکسی آپاتیت بیشتری تشکیل شده است که دلیل آن می‌تواند ناشی از حضور همزمان گروه‌های Ti-OH و

به فسفر (Ca/P) پوشش هیبریدی که تنها حاوی TiO_2 است به ترتیب ۱/۶، ۲/۸ بدست می‌آید. بنابراین تابش نور فرابنفش باعث افزایش نسبت Ca/P شده است که نشان‌دهنده افزایش ترسیب یون کلسیم نسبت به فسفر بر روی سطح پوشش است. غیراستوکیومتری بودن نسبت Ca/P به آمورف بودن ذرات هیدروکسی آپاتیت بر روی پوشش نسبت داده می‌شود [۸].

شکل‌های (۴) ب-۱ و ب-۲ مربوط به آنالیز EDS پوشش هیبریدی است که تنها حاوی ذرات 45S5 می‌باشد. با توجه به اینکه خود شیشه‌زیستی 45S5 حاوی هیدروکسی آپاتیت می‌باشد بعد از غوطه‌وری در محلول SBF مجدداً بر روی پوشش، ذرات هیدروکسی آپاتیت رسوب نموده است. نکته قابل توجه افزایش نسبت مولی Ca/P در این پوشش در اثر تابش نور فرابنفش می‌باشد که احتمالاً بخاطر رسوب غیر استوکیومتریک هیدروکسی آپاتیت است.

شکل‌های (۴) ب-۱ و ب-۲ مربوط به آنالیز EDS پوشش هیبریدی حاوی ترکیب ذرات TiO_2 و 45S5 می‌باشد. مطابق با این داده‌ها، تابش نور فرابنفش مجدداً باعث افزایش نسبت مولی Ca/P در اثر ترسیب هیدروکسی آپاتیت غیراستوکیومتریک شده است. با توجه به نیمه کمی بودن آنالیز EDS، از داده‌های فوق بطور کلی می‌توان اینگونه درک کرد که تابش نور فرابنفش باعث افزایش میزان ترسیب کلسیم و فسفر بصورت فاز هیدروکسی آپاتیت شده است که بخوبی نقش ارزنده تابش نور فرابنفش را نشان می‌دهد.

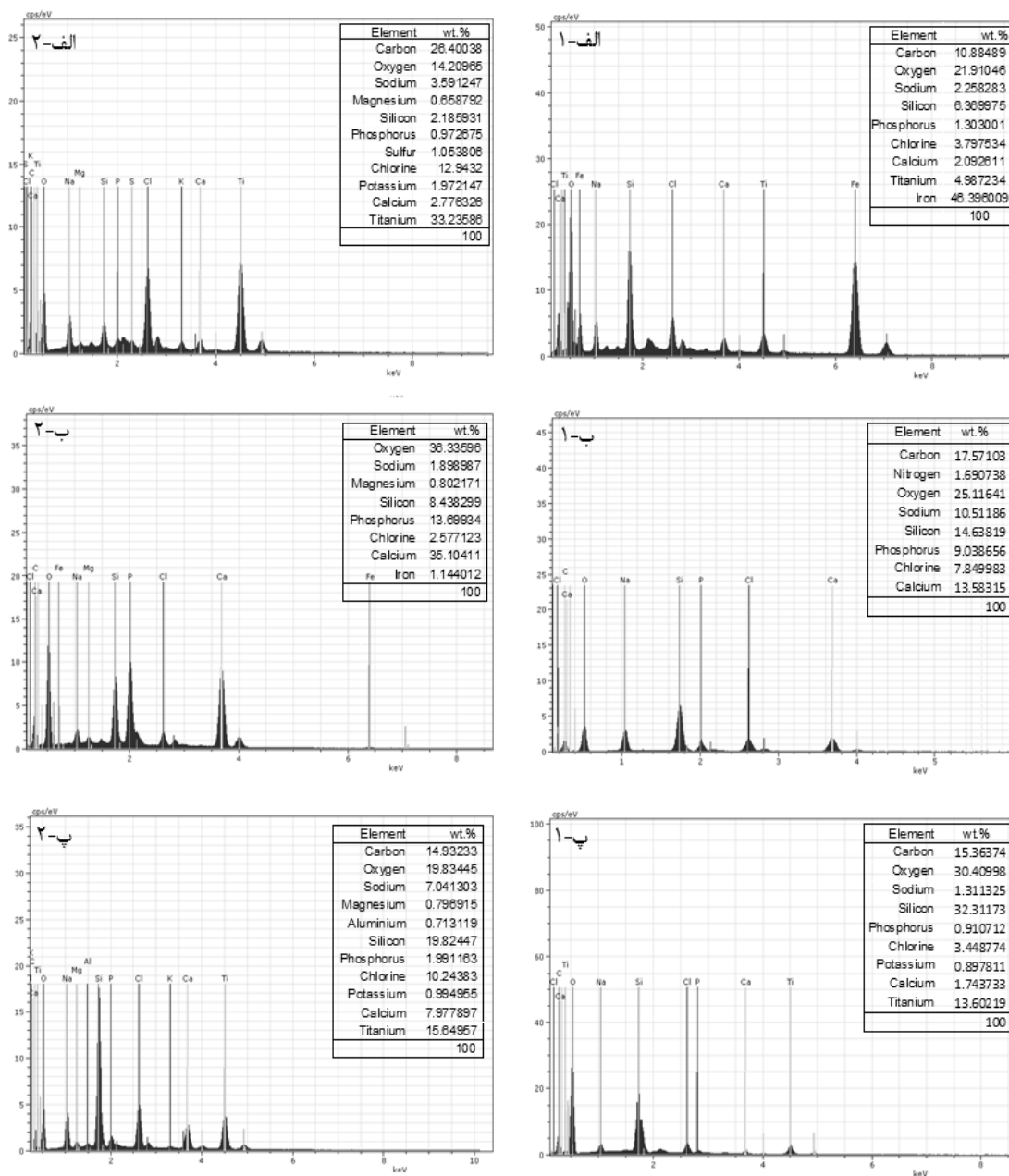
نتایج حاصل از آنالیز FTIR نمونه پوشش هیبریدی پلی‌سیلوکسان-تیتانیوم دی‌اکسید- شیشه‌زیستی قبل از غوطه‌وری در SBF و بعد از تابش نور فرابنفش و غوطه‌وری در SBF در شکل ۵ نشان داده شده است.

پوشش‌ها نسبت به نمونه‌های بالک (پودر) شیشه زیست فعال و TiO_2 گزارش شده است [۷]. در واقع عامل تخلخل و ناهموازی سطح یک عامل مهم در تشکیل هیدروکسی آپاتیت بر روی سطح در هنگام غوطه‌وری در SBF می‌باشد.

در شکل‌های (۳) الف-۲، ب-۲ و پ-۲ مورفولوژی سطح پوشش‌های هیبریدی بعد از ۲۴ ساعت تابش نور فرابنفش و سپس غوطه‌وری در SBF به مدت ۲۱ روز نشان داده شده است. با مقایسه شکل‌های (۳) الف-۱ و الف-۲ مشخص می‌شود که پوشش هیبریدی که فقط حاوی نانو ذرات TiO_2 است، در اثر تابش نور فرابنفش با افزایش تشکیل تجمع‌های هیدروکسی آپاتیت مواجه شده است که دلیل آن خاصیت نیمه رسانایی TiO_2 و تشکیل گروه‌های هیدروکسیل بیشتری روی سطح پوشش می‌باشد. این گروه‌های هیدروکسیل مراکز تشکیل هسته‌های هیدروکسی آپاتیت می‌باشد [۸]. اگرچه تابش نور فرابنفش منجر به افزایش تجمع‌های هیدروکسی آپاتیت شده است ولی این افزایش در مقایسه با پوشش‌های سرامیکی حاوی TiO_2 در تحقیقات قبلی بسیار کمتر است [۹]. دلیل عمده این کاهش را می‌توان به سرکوب شدن خاصیت نیمه رسانایی TiO_2 در اثر پوشیده شدن با پلیمر نسبت داد.

از مقایسه شکل‌های (۳) ب-۱ و ب-۲ تغییر چشمگیری در تشکیل تجمع‌های هیدروکسی آپاتیت در اثر تابش نور فرابنفش قابل مشاهده نیست و حتی تا اندازه‌ای افت تشکیل این تجمع‌ها نیز مشاهده می‌شود که بخوبی، نبود خاصیت نیمه رسانایی برای ذرات شیشه 45S5 را نشان می‌دهد. در حالیکه با ورود همزمان TiO_2 و ذرات شیشه 45S5 در پوشش هیبریدی در شکل‌های (۳) ب-۱ و ب-۲، به وضوح، افزایش تشکیل تجمع‌های هیدروکسی آپاتیت را در اثر تابش نور فرابنفش می‌توان مشاهده کرد. این افزایش را به می‌توان تجمع خاصیت نیمه رسانایی TiO_2 و زیستی 45S5 در پوشش هیبریدی شیشه زیستی-تیتانیوم دی‌اکسید نسبت داد.

شکل (۴) طیف EDS پوشش‌های هیبریدی شکل (۳) را نشان می‌دهد. مطابق با شکل‌های ۴ الف-۱ و الف-۲، نسبت کلسیم



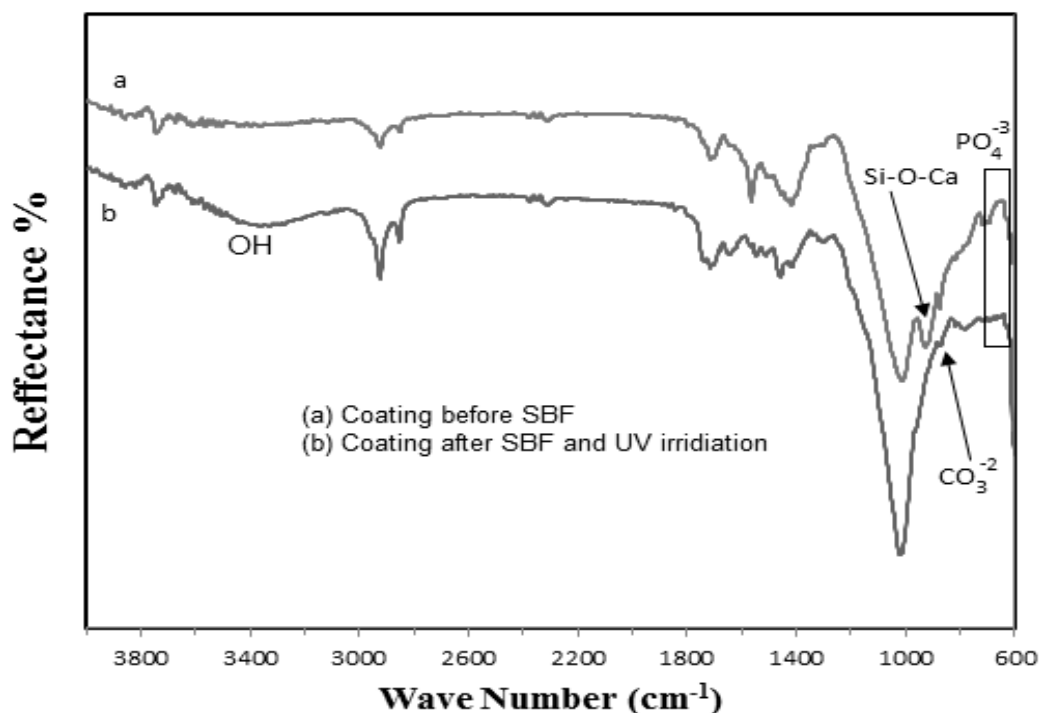
شکل (۴): آنالیز EDS پوشش های هیبریدی بعد از غوطه وری در SBF به مدت ۲۱ روز: (الف-۱ و الف-۲): پوشش پلی سیلوکسان-تیتانیوم دی اکسید بدون و تحت تابش UV، (ب-۱ و ب-۲): پوشش پلی سیلوکسان-شیشه زیستی بدون و تحت تابش UV و (پ-۱ و پ-۲): پوشش پلی سیلوکسان-تیتانیوم دی اکسید-شیشه زیستی بدون و تحت تابش UV

آپاتیت تشکیل شده آمورف است [۱۰]. پیک در عدد موج cm^{-1} ۸۸۰ نشان دهنده تشکیل CO_3^{2-} می باشد که در زمان های غوطه وری بالا در SBF ظاهر می شود. بنابراین می توان نتیجه

در این شکل پیک های مشخص شده در کادر مربعی، پیک های مشخصه تشکیل هیدروکسی آپاتیت را نشان می دهد. با توجه به کوچکی پیک های حاصل، می توان اظهار نمود که هیدروکسی

افزایش شدت پیک مشخصه هیدروکسی آپاتیت شده است.

گرفت که هیدروکسی آپاتیت حاصل حاوی گروه‌های کربناتی است و با عنوان کربنات هیدروکسی آپاتیت بیولوژیک شناخته می‌شود [۱۱]. بوضوح مشاهده می‌شود تابش نور UV باعث



شکل (۵): آنالیز FT-IR پوشش هیبریدی پلی سیلوکسان-تیتانیوم دی اکسید-شیشه زیستی: قبل: (الف) و بعد: (ب) از غوطه وری در محلول شبیه سازی شده بدن انسان به مدت ۲۱ روز

۴- نتیجه گیری

۴- تشکیل هیدروکسی آپاتیت شبه استخوانی بر روی سطح

پوشش‌ها بوسیله آزمون‌های EDS و FTIR اثبات شد.
۵- نتایج نشان داد تابش نور فرابنفش در کل باعث افزایش زیست‌فعالی پوشش‌های هیبریدی حاوی نانو ذرات تیتانیوم دی‌اکسید می‌شود.

۱- پوشش هیبریدی بر پایه ی ۳- متا اکریلوکسی پروپیل تری متوکسی سیلان حاوی ذرات شیشه زیست فعال و نانو ذرات تیتانیوم دی‌اکسید بطور موفقیت آمیز بدون ترک و تخلخل تهیه شد.

۲- نتایج حاصل از آزمون چسبندگی نشان داد که افزودن نانو ذرات تیتانیوم دی‌اکسید به شیشه زیست فعال، میزان چسبندگی پوشش به زیر لایه را افزایش می‌دهد.

۳- نتایج بررسی زیست‌فعالی در محلول شبیه‌سازی شده بدن، نشان دهنده تشکیل هیدروکسی آپاتیت شبه استخوانی بر روی پوشش هیبریدی نانو ساختار پلی سیلوکسان-تیتانیوم دی‌اکسید-شیشه زیستی می‌باشد.

۵- تشکر و قدردانی

هزینه‌های این پژوهش با کمک مالی معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد انجام شده است.

۶- مراجع

[۱] م. رفیعی نیا و ش. بنکدار، بیومتریال‌ها اصول و کاربرد، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ اول، ۱۳۸۶.

- [8] M. Ueda, T. Kinoshita, M. Ikeda & M. Ogawa, "Photo-induced formation of hydroxyapatite on TiO₂ synthesized by a chemical-hydrothermal treatment", *Materials Science and Engineering C*, Vol. 29, pp. 2246-2249, 2009.
- [9] م. امید بختیاری، "تهیه، مشخصه یابی و بررسی تاثیر نور UV بر زیست فعالی پوشش های کامپوزیتی نانوساختار شیشه زیست فعال- تیتانیوم دی اکسید به روش سل ژل"، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، ۱۳۹۱.
- [10] M. Omid-Bakhtiari, M. Nasr-Esfahani & A. Nourmohamadi, "TiO₂-Bioactive Glass Nanostructure Composite Films Produced by a Sol-Gel Method: In Vitro Behavior and UV-Enhanced Bioactivity", *Journal of Material Engineering and Performance*, Vol. 1, pp. 258-293, 2014.
- [11] P. Saravanapavan, J. R. Jones, R. S. Pryce & L. L. Hench, "Bioactivity of gel glass powders in the CaO-SiO₂ system: A comparison with ternary (CaO-P₂O₅-SiO₂) and quaternary glasses (SiO₂-CaO-P₂O₅-Na₂O)", *Journal of Biomedical Materials Research Part*, Vol. 66A, pp. 110-119, 2003.
- [۲] م. فتیحی، کاربرد پزشکی پوشش های بیوسرامیکی ایمپلنت ها، انتشارات ارکان، ۱۳۸۱
- [3] T. Kokubo & H. Takadama, "How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity", *Biomaterials*, Vol. 27, pp. 2907-2915, 2006.
- [4] R. Ramachandra & T. S. Kannan, "Synthesis and Sintering of Hydroxyapatite-Zirconia Composites", *Materials Science and Engineering*, Vol. 20, pp. 187-193, 2002.
- [5] A. Chatterjee & M. S. Islam, "fabrication and characterization of TiO₂-epoxy nano composite", *Materials Science and engineering*, Vol. A 487, pp. 574-585, 2008.
- [6] Duran, A. Conde, A. Gomez Coedo, T. Dorado, C. Garcia & S. Cere, "Sol-gel coatings for protection and bioactivation of metals used in orthopaedic devices", *Journal of Materials Chemistry*, Vol. 14, 2004, pp. 2282-2290.
- [۷] م. نصر اصفهانی، ر. ابراهیمی، م. داداش و س کریمی، "مقایسه خواص فیزیکی-شیمیایی پوشش نانوکامپوزیت شیشه زیست فعال-دی اکسید تیتانیوم و زیست فعالی آنها"، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی مواد مجلسی، شماره ۲، صفحه ۱-۷، تابستان ۱۳۸۹.