تهیه، مشخصه یابی و ارزیابی مقایسه‌ای زیست فعالی سه نوع نانو پودر شیشه زیست فعال برای کاربردهای پزشکی

حامد ادریس* و محمد حسین فتحی**

دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد

دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۱/۱۰– دریافت نسخه نهایی: ۱۳۸۹/۸/۱۵)

چکیده – ساخت بیومواد‌ی که توانایی تشکیل یک پیوند مستحکم با بافت استخوان برای ترمیم مناسب سیستم اسکلتی استخوان را داشته باشد، یکی از اهداف محققان علم بیومواد است. شیشه‌های زیست فعال در سیستم $CaO-SiO_2-P_2O_5$ به دلیل توانایی پیوند با بافتهای نرم و سخت از جمله مهمترین بیومواد مصرفی در پزشکی و دندان پزشکی برای کاربردهایی چون ترمیم عیوب استخوانی و نوسازی فک و صورت‌اند. هدف از پژوهش حاضر، تولید نانو پودر شیشه زیست فعال با روش سل- ژل و شناسایی مناسبترین ترکیب آن برای کاربرد در بدن است. سه ترکیب مختلف (۴۵S، ۴۹S، ۵۸S) به روش سل- ژل تهیه شد. از تکنیک پراش پرتو ایکس (XRD) و روش فلورسانس اشعه ایکس (XRF) برای مشخصه یابی و ارزیابی ساختار شیشه‌ای و آمورف محصول تولیدی و بررسی ترکیب شیمیایی نانو پودرهای تهیه شده بهره گرفته شد. سپس به کمک میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) شکل و اندازه ذرات ارزیابی شد. در ادامه، به منظور بررسی زیست فعالی نانو پودرهای تهیه شده، شیشه‌های زیست فعال تولیدی در مایع شبیه سازی شده بدن (SBF) در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد به مدت سی روز غوطه ور شد. پس از آن، از روشهای طیف سنجی مادون قرمز (FTIR) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) برای بررسی تشکیل لایه آپاتیت و تعیین زیست فعالی نانو پودرهای تهیه شده، استفاده شد. ارزیابی با میکروسکوپ الکترونی عبوری، حصول پودر در اندازه‌های زیر ۱۰۰ نانومتر را تایید کرد. آزمونهای به عمل آمده، تشکیل لایه آپاتیت را بر روی نانو پودرهای تولیدی تایید کرد که نشان دهنده زیست فعالی شیشه‌های زیست فعال بود. نتایج آزمایشات نشان داد که شیشه زیست فعال با ترکیب ۴۵S زیست فعالی بیشتری نسبت به دو ترکیب ۴۹S و ۵۸S دارد. شایان ذکر است از طریق بهینه سازی ترکیب شیمیایی شیشه زیست فعال امکان استفاده از نانو پودر شیشه‌های زیست فعال برای کاربردهای پزشکی و به ویژه ترمیم استخوان و درمان نواقص استخوانی تسهیل می‌شود..

واژگان کلیدی : پودر شیشه زیست فعال، سل- ژل، زیست فعالی

* – کارشناس ارشد

** – استاد

[DOR: 20.1001.1.2251600.1389.29.2.3.3]

Preparation, Characterization and Comparative Evaluation of Bioactivity of Three Different Bioactive Glass Nano Powders for Medical Applications

H. Edris and M. H. Fathi

Department of Materials Engineering, Azad University of Najafabad, Isfahan.
Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology,Isfahan

Abstract: ***Fabrication of biomaterials with ability to form a bond with bone tissue for bone skeletal system repair is one of the biomaterial science aims. Bioactive glasses containing $CaO-SiO_2-P_2O_5$ are among the most important groups used in biomedicine and dentistry such as bone defect repair and maxillo-facial reconstruction. The aim of this work was preparation and characterization of nano particle bioactive glass with optimum bioactivity. Bioactive glasses with three different compositions (45S, 49S and 58S) were prepared via sol- gel technique. X- ray diffraction (XRD) technique and X- ray fluorescent (XRF) method were utilized for the phase analysis and also to investigate the chemical composition of the obtained bioactive glass nanopowders. Transmision electron microscopy (TEM) and Scanning electron microscopy (SEM) were utilized to study the structure, morphology and particle size of synthesized bioactive glass nanopowders. In order to investigate the bioactivity, the prepared bioactive glasses were immersed in the simulated body fluid (SBF) solution at 37°C for 30 days. Scanning electron microscopy (SEM) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) were utilized to recognize and confirm the apatite layer on the prepared bioactive glass nanopowders. TEM images showed that the prepared bioactive glasses had the particle sizes less than 100 nanometers. SEM, FTIR and XRD confirmed the formation of bone-like apatite layer formed on the bioactive glass nanopowders surface, confirming the bioactivity of synthesized bioactive glass nanopowders. It was concluded that the amount of apatite on the 45S bioactive glasse was greater in comparison with 49S and 58S bioactive glasses. It is notable that by optimizing the chemical composition, bioactive glass nanopowder could be used in applications such as repair of bone defects and bone replacement.***

Keywords: ***Bioactive glass powder, Sol-gel, Bioactivity.***

۱- مقدمه

با توجه به افزایش سرعت استفاده از بیومواد به عنوان کاشتنی در بیمارانی که خواستار بالا رفتن عمر مفید کاشتنی در بدن خود و در نتیجه افزایش طول عمر خود هستند، متخصصان و دانشمندان بیومواد سعی می‌کنند مناسبترین بیومواد را برای کاربرد در بدن به جامعه پزشکی معرفی و جایگزین مواد قبلی کنند. بدین منظور مواد کاشتنی و طراحی مواد مصنوعی با عمر مفید ۲۰ تا ۴۰ سال مورد نیاز است که این زمان دو برابر عمر بسیاری از مواد موجود است. به همین دلیل، تمرکز تحقیقات و مطالعات بر طول مدت کارایی بیومواد مصنوعی بوده است که بتوانند یک فصل مشترک با بافت زنده با قابلیت پایداری زیستی- مکانیکی و زیستی- بافتی به طور همزمان ایجاد کنند[۱].

استفاده از بیوسرامیکهای زیست فعال با توجه به قابلیت بالای آنها در پیوند با استخوان و همچنین فاکتورهای رشد [۲و۳]، بر سطح کاشتنیهای استفاده شده نتایج مطلوبی را فراهم کرده است. اخیرا فعالیتهایی برای جایگزینی بافت سخت و نرم با بیوسرامیکها انجام پذیرفته است که هدف آن ترمیم عیوب ایجاد شده ناشی از آسیبها و بیماریها و بازگرداندن کارکرد اصلی آن است[۴]. شیشه‌های زیست فعال با پایه سیلیکاتی جزو معدود بیوسرامیکهای زیست فعال‌اند که توانایی پیوند شیمیایی با بافتهای نرم و سخت را دارند [۵]. واکنش پذیری شیمیایی بالا، سریع و قوی این شیشه‌ها زمانی که در ارتباط با بافتهای موجود زنده قرار می‌گیرند از فواید مهم و با اهمیت شیشه‌های زیست فعال است [۶ و ۷]، که اساس استفاده کلینیکی این نوع شیشه‌ها برای جایگزینی استخوان کوچک گوش میانی و یا ساخت کاشتنی برای نگه داشتن فک در بیماران مبتلا به بی دندانی است[۸ و ۹].

تشکیل سریع لایه هیدروکسی آپاتیت (بخش معدنی استخوان) بر روی شیشه‌های زیست فعال پس از قرارگیری در محلول شبیه سازی شده بدن اساس ایجاد پیوند شیمیایی قوی

[DOR: 20.1001.1.2251600.1389.29.2.3.3]

جدول۱- مواد اولیه مورد استفاده در پژوهش

ماده	نشان تجارتی
تترااتیل اورتو سیلیکات ($Si(OC_2H_5)_4$)	Aldrich 99.999% -33859
تری اتیل فسفات ($(C_2H_5O)_3PO$)	Aldrich >99.8% - 538728
کلسیم نیترات ($Ca(NO_3)_2.4H_2O$)	Aldrich >99.99% - 470880
اتانول (C_2H_5OH)	Merck
هیدروکلریک اسید (HCl)، ۲ نرمال	Merck
آب دی یونیزه	-----

این نوع کاشتنی با بافت مجاور خود است[۱۱]. شیشه‌های زیست فعال علاوه بر به‌کارگیری به شکل پودر و یا وسایل بالکی برای ترمیم، افزودن یا جایگزینی بافتهای آسیب دیده، به عنوان پوشش نیز بر روی آلیاژهای فلزی به منظور حصول همزمان خصوصیات زیست فعالی عالی این شیشه‌ها با خصوصیات مکانیکی بالای فلزات به کار می‌روند[۱۱].

فرایند سل- ژل روشی ایدئال برای به دست آوردن ترکیبات شیشه زیست فعال و کنترل ساختار آنهاست [۱۲]. با استفاده از کنترل ساختار و اندازه ذرات در حد نانومتر در بیوسرامیکهای زیست فعال می‌توان به زیست فعالی مطلوبتر و خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوبتری دست پیدا کرد [۱۳ و۱۴]. در این تحقیق سه نوع نانو پودر شیشه زیست فعال با سه ترکیب شیمیایی متفاوت به روش سل- ژل ساخته شد و بررسی زیست فعالی سه نوع شیشه زیست فعال به عمل آمد تا مناسبترین ترکیب از نظر زیست فعالی به جامعه پزشکی و دندانپزشکی، معرفی شود.

۲- مواد و روشها

۲- ۱- مواد اولیه

مواد اولیه به کار برده شده در این پژوهش شامل تترا اتیل اورتوسیلیکات (TEOS)، تترا اتیل فسفات (TEP) و کلسیم نیترات $(CaNO_3)_2$ به عنوان پیش سازه‌های سیلیس، کلسیم فسفات و کلسیم اکسید به ترتیب بود. همچنین از اتانول و آب دی یونیزه شده به عنوان حلال و از هیدروکلریک اسید به عنوان کاتالیزور استفاده شد. جدول (۱) نشانهای تجاری و خلوص مواد به کار برده شده را نشان می‌دهد.

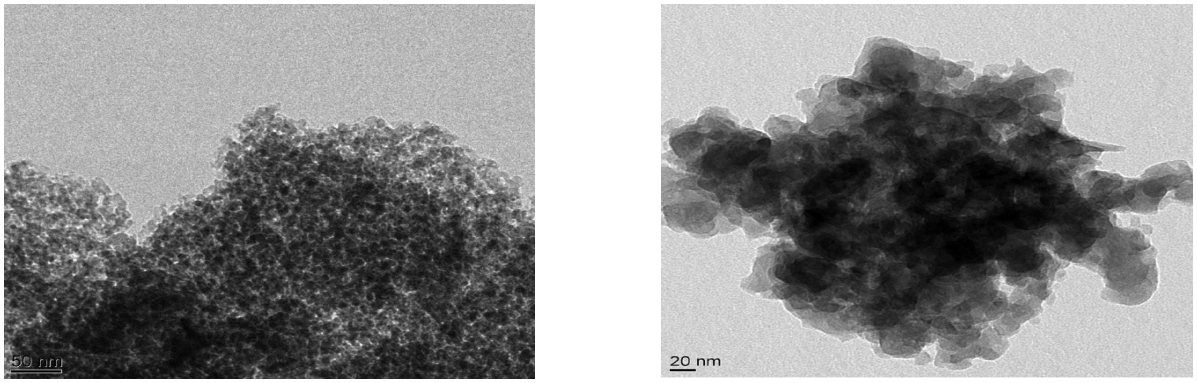
۲- ۲- روش تحقیق

فرایند سل- ژل برای تولید نانو پودر شیشه‌های زیست فعال مورد نظر در این تحقیق، به کار برده شد. در ابتدا، آب دی یونیزه و هیدروکلریک اسید که به عنوان کاتالیزور برای کاهش زمان ژله‌ای شدن و افزایش سرعت واکنشها به کار برده شده بود به مدت ۱۰ دقیقه بر روی همزن مغناطیسی قرار داده شد. سپس تترا اتیل اورتوسیلیکات (TEOS) و اتانول که در ظرف دیگر آماده شده بود به محلول قبلی اضافه شد. از اتانول به عنوان توزیع کننده استفاده شد تا از تشکیل ذرات کلوییدی در طول ژل شدن جلوگیری شود. پس از ۲۰ دقیقه تترا اتیل فسفات (TEP) اضافه شد و عملیات مخلوط کردن به مدت ۳۰ دقیقه به اجرا در آمد. و در نهایت کلسیم نیترات اضافه شد و به مدت ۱ ساعت برای تکمیل شدن هیدرولیز فرصت داده شد. به منظور آماده سازی ژل، سل حاصل به یک ظرف تفلونی منتقل شد. سپس عملیات پیرسازی در گرمکن با دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۵۴ ساعت انجام گرفت. در ادامه ژل تولیدی به منظور حذف آب و اتانول به صورت تعادلی، در حضور بخار آب در دمای ۱۳۰ درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ ساعت خشک شد. و در نهایت عملیات کلسینه کردن در دو دمای مختلف ۶۰۰ درجه سانتیگراد و ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت بر روی پودرهای تولیدی انجام شد. مقداری از سه نوع پودر

[DOR: 20.1001.1.2251600.1389.29.2.3.3]

جدول۲- غلظت یونی محلول شبیه سازی شده بدن و پلاسمای انسانی[۱۵].

یون	پلاسمای خون (mmol/l)	محلول شبیه سازی شده بدن (mmol/l)
Na^{+}	۱۴۲	۱۴۲
K^{+}	۵	۵
Mg^{+2}	۱٫۵	۱٫۵
Ca^{+2}	۲٫۵	۲٫۵
Cl^{-}	۱۰۳	۱۴۷٫۸
HCO^{-}_{3}	۲۷	۴٫۲
HPO_{4}^{-2}	۱	۱
SO_{4}^{-2}	۰٫۵	۰٫۵



شکل۱- تصاویر تهیه شده توسط TEM از نانو پودرهای تولیدی کلسینه شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد

تولیدی به منظور مشخصه یابی اولیه (تعیین اندازه ذرات، ترکیب شیمیایی و ریزساختار و مورفولوژی سطح) به ترتیب با تکنیکهای میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) (Philips CM 200)، فلورسانس پرتو ایکس(XRF) (S4 Pioneer System)، پراش پرتو ایکس(XRD) (Philips Xpert-MPD System) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) (Philips XL30) بررسی و ارزیابی شد.

به منظور ارزیابی زیست فعالی سه نوع پودر تولیدی، نانو پودرهای به دست آمده در مایع شبیه سازی شده بدن[1] (SBF) که ترکیبی مشابه با پلاسمای انسانی داشت، جدول (۲) و طبق استاندارد بررسی فعالیت زیستی [۱۵] تهیه شده بود، به مدت سی روز (۳۰ روز) در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد که کنترل آن به کمک حمام بن ماری (Eyela Thermistor Temppet T-80) صورت می‌گرفت، غوطه ور شد. پس از سی روز غوطه وری سه نوع پودر تولیدی با سه ترکیب مورد نظر، تحت آزمون طیف سنجی تبدیل فوریه فرو سرخ[2] (FTIR) (Bomem, MB 100 System) برای بررسی تشکیل لایه آپاتیت قرار گرفت. به منظور مقایسه بهتر رفتار زیست فعالی، نمونه‌های تولیدی پس از غوطه وری در محلول SBF نیز تحت ارزیابی با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و تکنیک پراش پرتو ایکس (XRD) قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳- ۱- مشخصه یابی شیشه‌های زیست فعال تولیدی

تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) در شکل (۱) حصول پودرهای تولیدی را در اندازه‌های زیر ۱۰۰ نانومتر تأیید می‌کند که این امر لازمه به دست آوردن زیست فعالی بالاتر است.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1389.29.2.3.3]

جدول ۳- ترکیب شیمیایی سه نوع شیشه زیست فعال تولیدی که با استفاده از فلورسانس پرتو ایکس تعیین شده است

ترکیب ۴۵S	نمونه تهیه شده	استاندارد هنچ[۳] [۱۶]
SiO_2	۴۲٫۳۰	۴۵
CaO	۵۲٫۵۸	۴۹
P_2O_5	۵٫۰۰	۶
جمع	۹۹٫۸۸	۱۰۰

ترکیب ۴۹S	نمونه تهیه شده	استاندارد هنچ[۱۶]
SiO_2	۴۹٫۵۹	۴۹
CaO	۴۱٫۵۵	۴۲
P_2O_5	۸٫۷۶	۹
جمع	۹۹٫۹۰	۱۰۰

ترکیب ۵۸S	نمونه تهیه شده	استاندارد هنچ[۱۶]
SiO_2	۵۷٫۷۲	۵۸
CaO	۳۵٫۰۹	۳۳
P_2O_5	۷٫۱	۹
جمع	۹۹٫۹۱	۱۰۰

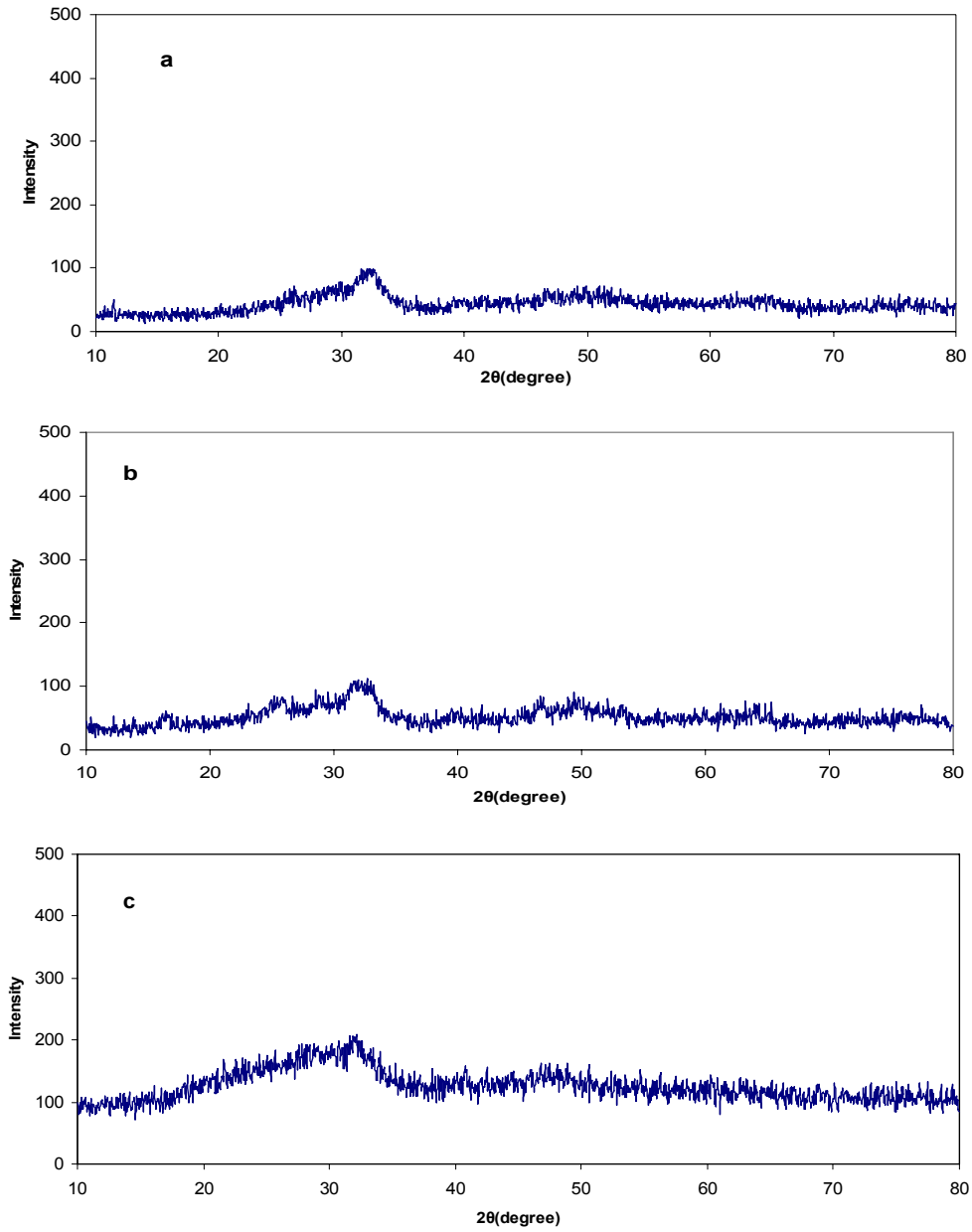
نتایج آزمون فلورسانس پرتو ایکس (XRF) نشان می‌دهد، جدول (۳) که ترکیب شیمیایی سه نوع شیشه زیست فعال تولیدی با درصد خطای قابل قبولی با نمونه‌های استاندارد [۱۶] مطابقت دارد.

ارزیابی ساختار فازی با استفاده از روش پراش پرتو ایکس (XRD) بر روی پودرهای خام اولیه سه نوع شیشه زیست فعال تولیدی کلسینه شده در دو دمای ۶۰۰ و ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد، به عمل آمد. شکلهای (۲) و (۳) الگوهای پراش پرتو ایکس سه نمونه متفاوت را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود هر سه نوع ترکیب تولیدی شیشه زیست فعال به صورت آمورف‌اند این مطلب که با نتایج سایر محققان نیز تطابق دارد [۱۱، ۱۷ و ۱۸]، موید این نکته است که روش سل- ژل قادر به تولید شیشه با ساختار آمورف خواهد بود. با افزایش دمای فرایند کلسینه کردن از دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد به دمای ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد فازهای سرامیکی همچون لارنیت (JCPDS# 20-0237) و فاز ولاستونیت (JCPDS# 100487) تشکیل شده و موجب تبدیل شیشه‌های زیست فعال به شیشه ـ سرامیک می‌شود.

همان طور که در الگوهای XRD در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد ملاحظه می‌شود، شکل (۳) در دو ترکیب ۴۵S و ۴۹S شیشه زیست فعال تولیدی، فاز لارنیت (Ca_2SiO_4) در 2θ حدود ۳۲٫۶، ۳۳٫۳ و ۴۱٫۳ به ترتیب با اندیس صفحات (۰۲۰)، (۰۱۳) و (۳۰۱) با شدتهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد به خوبی نمایان است. و فاز کلسیم اکسید (CaO) در 2θ حدود ۳۷٫۳، ۵۳٫۸ با اندیس صفحات (۲۰۰) و (۲۲۰) و با شدتهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد ظاهر شده است و در ترکیب ۵۸S فاز ولاستونیت ($CaSiO_3$) نمایان شده است. این نتیجه تاییدی بر این است که نوع و میزان عناصر موجود در شیشه زیستی، تشکیل فاز

[DOR: 20.1001.1.2251600.1389.29.2.3.3]



شکل۲- الگوهای پراش پرتو ایکس سه نوع شیشه زیست فعال تولیدی کلسینه شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد

الف) ۴۵S ب) ۴۹S ج) ۵۸S

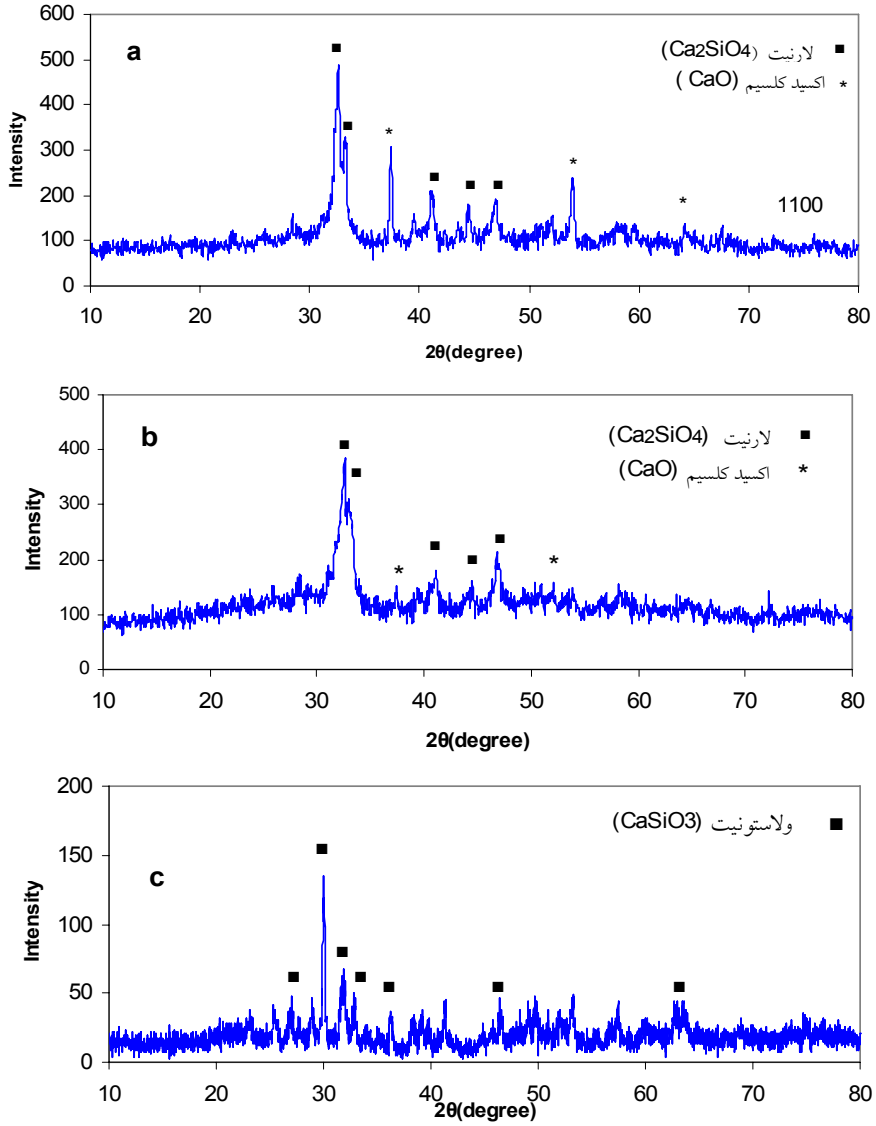
ولاستونیت ($CaSiO_3$) بـه جـای لارنیـت (Ca_2SiO_4) را در پـی خواهد داشت [۱۷]. همچنین واضح است کـه بـه دلیـل درصـد پایینتر کلسیم (Ca) در شیشه زیست فعـال تولیـدی بـا ترکیـب ۵۸S نسبت به دو ترکیب دیگر تولیدی، فـاز کلسـیم اکسـید در این ترکیب ظاهر نشده است.

شایان ذکر است شیشه- سرامیکها خواص مکانیکی همچون استحکام پیوند، چقرمگی شکست و مدول یانگ، بالاتری نسبت به شیشه‌های زیست فعال دارند و می‌توانند در مکانهـای تحـت بار در بدن استفاده شوند[۴].

۳- ۲- ارزیابی زیست فعالی نانو پودرهای تولیدی

تصاویر تهیه شده قبل و بعد از غوطـه وری سـه نـوع نـانو

[DOR: 20.1001.1.2251600.1389.29.2.3.3]



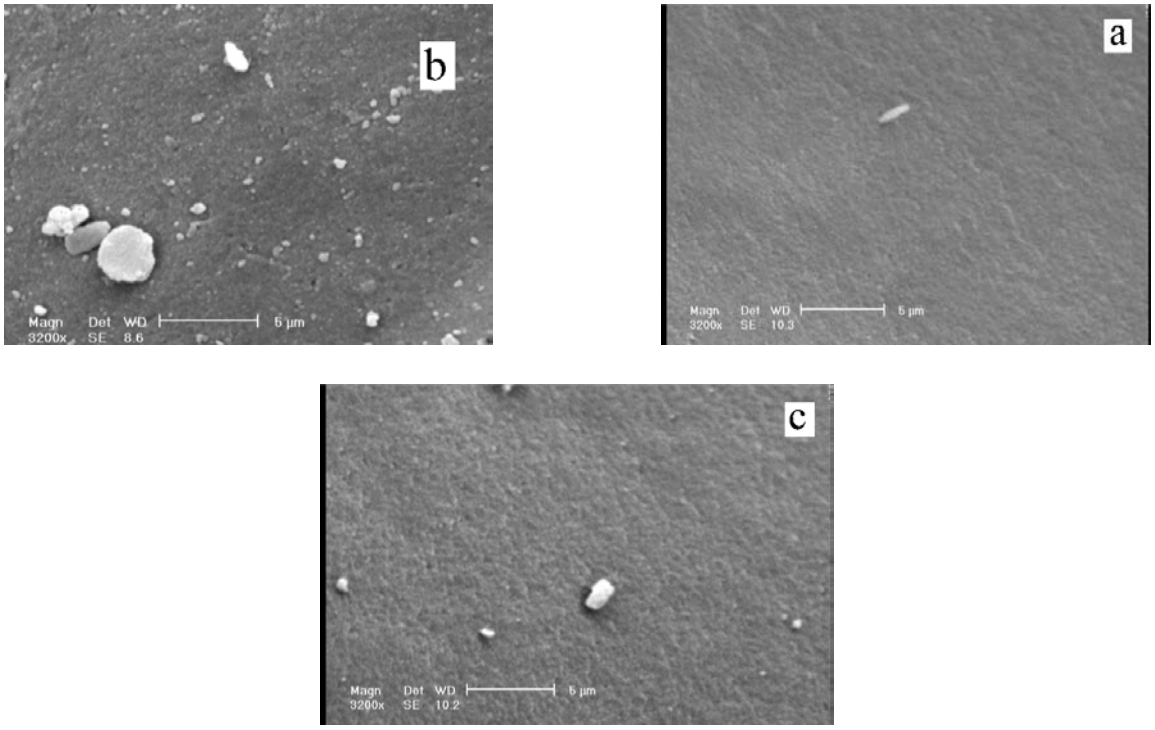
شکل ۳- الگوهای پراش پرتو ایکس سه نوع شیشه زیست فعال تولیدی کلسینه شده در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد

الف) ۴۵S ب) ۴۹S ج) ۵۸S

پودر تولیدی از سه ترکیب شیشه زیست فعال در محلول شبیه سازی شده بدن، شکلهای (۴) و (۵) توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM)، تشکیل آپاتیت را بعد از ۳۰ روز غوطه وری بر سطح شیشه‌های زیست فعال تهیه شده نشان داد. همان‌طور که مشاهده می‌شود قبل از غوطه وری در محلول SBF، شیشه‌های تولیدی سطحی صاف و بدون بلورینگی دارند و بعد از غوطه وری در محلول SBF، خوشه‌های هیدروکسی آپاتیت بر روی ذرات شیشه زیست فعال تشکیل شده است و ملاحظه می‌شود تشکیل آپاتیت بر سطح ذرات شیشه زیست فعال با ترکیب ۴۵S نسبت به دو ترکیب دیگر ۴۹S و ۵۸S به میزان بیشتری صورت گرفته است. این نتیجه موید این نکته است که با افزایش درصد SiO_2 در شیشه‌های زیستی، سرعت و تشکیل لایه آپاتیت کند و کمتر می‌شود. [۱، ۱۶ و ۱۹].

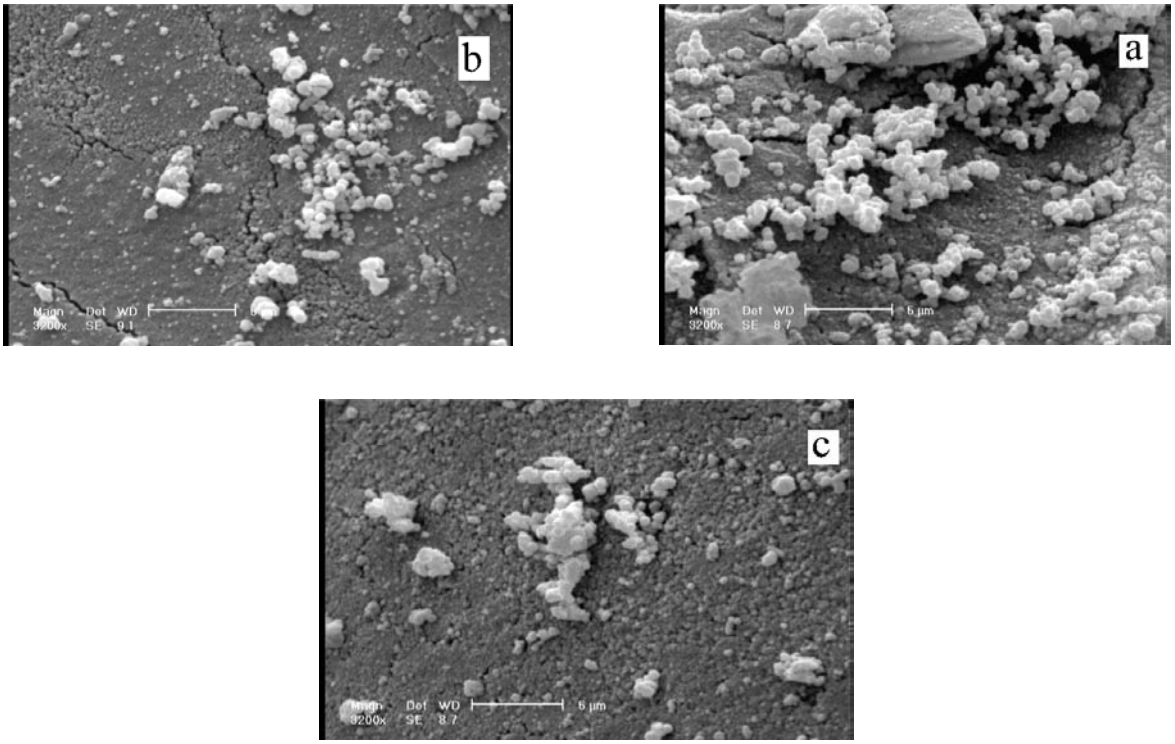
الگوهای تهیه شده به روش پراش پرتوایکس (XRD) بعد از غوطه وری در شکل (۶) نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود بعد از ۳۰ روز غوطه وری، لایه هیدروکسی

[DOR: 20.1001.1.2251600.1389.29.2.3.3]



شکل۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سه ترکیب شیشه زیست فعال تولیدی قبل از غوطه وری در محلول SBF

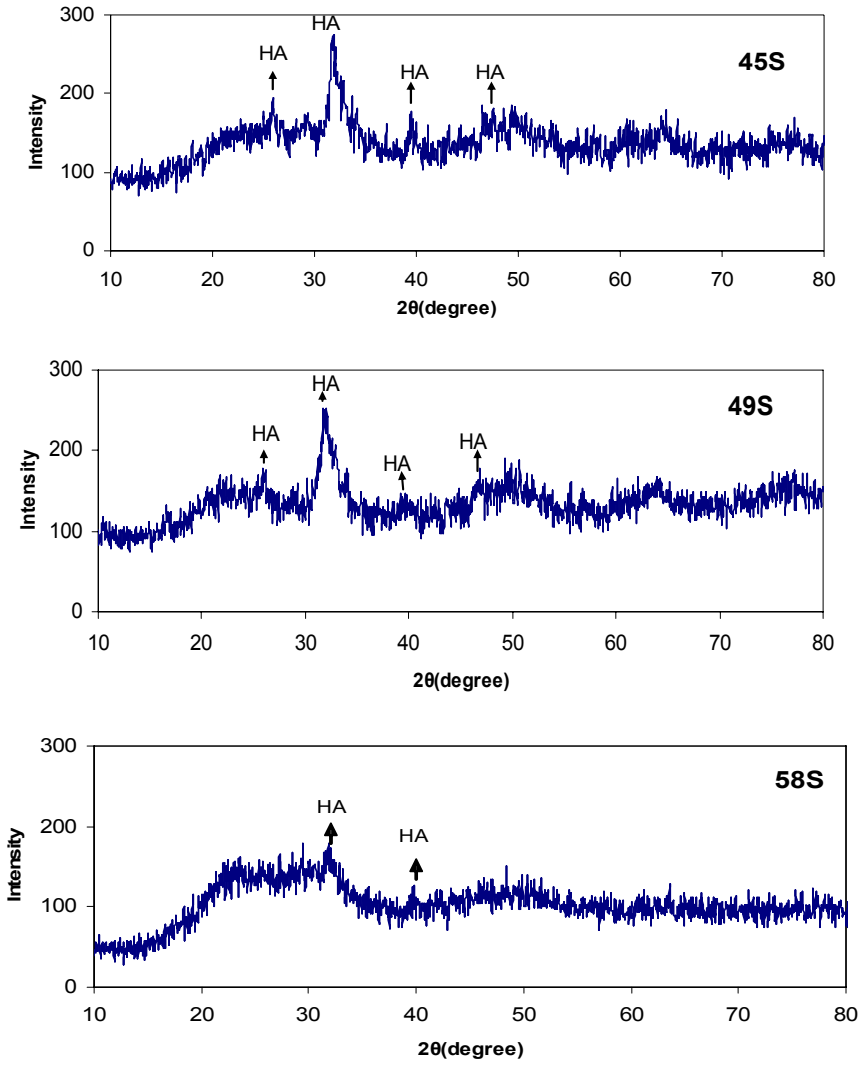
الف) ۴۵S ب) ۴۹S ج) ۵۸S



شکل۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سه ترکیب شیشه زیست فعال تولیدی بعد از۳۰روز غوطه وری در محلول SBF

الف) ۴۵S ب) ۴۹S ج) ۵۸S

[DOR: 20.1001.1.2251600.1389.29.2.3.3]



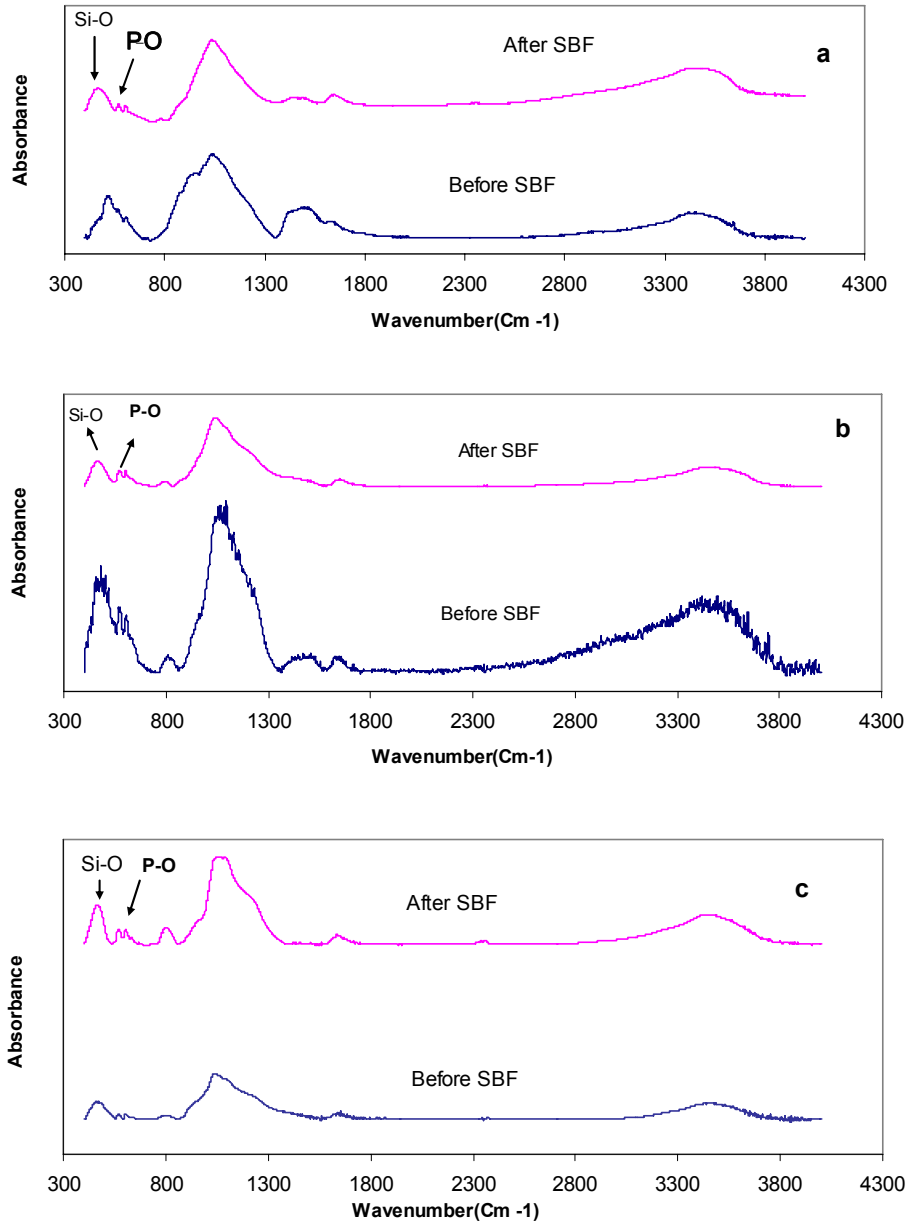
شکل۶- الگوهای پراش پرتو ایکس از سه نوع شیشه زیست فعال تولیدی بعد از ۳۰ روز غوطه وری در محلول SBF

آپاتیت با ترکیب ($Ca_5(PO_4)_3OH$) (JCPDS# 09-0432) بر روی هر سه نمونه زیست فعال تولیدی ایجاد شده است. در ۲θ حدود ۲۵/۹ و ۳۱/۸ درجه با اندیس صفحات (۰۰۲) و (۲۱۱) و شدت ۴۰ و ۱۰۰ درصد، ترکیب مذکور به خوبی مشخص است و در۲θ حدود ۳۹/۸، ۴۶/۷ و ۴۹/۵ درجه نیز این ترکیب دیده می‌شود. این نتیجه نیز تاییدی بر زیست فعالی شیشه‌های تولیدی است که با نتایج سایر محققان نیز تطابق دارد [۱۲، ۲۰ و ۲۱].

نتایج آزمون طیف سنجی تبدیل فوریه فرو سرخ (FTIR) قبل و بعد از غوطه وری شیشه‌های زیستی در مایع شبیه سازی شده بدن (SBF) در شکل (۷)، نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود لایه آپاتیت بر روی تمامی شیشه‌های زیستی تولیدی بعد از ۳۰ روزغوطه‌وری در SBF تشکیل شده است. مشاهده می‌شود قله‌های مربوطه به لایه آپاتیت (پیوند P-O) در عدد موج بین cm^{-1} ۶۰۵-۵۷۰ برای هر سه نمونه تولیدی تشکیل و یا شدت یافته است و همچنین قله دیگری از گروه پیوندهای فسفات (پیوند P-O) در طول موج بین cm^{-1} ۱۰۴۰-۱۰۳۰ نیز مشاهده می‌شودکه این نتایج با پژوهشهای گزارش شده نیز سازگاری دارد [۱۸، ۲۱ و ۲۲].

به منظور بررسی دقیقتر مقدار هیدروکسی آپاتیت تشکیل

[DOR: 20.1001.1.2251600.1389.29.2.3.3]



شکل۷- منحنیهای FTIR قبل و بعد از غوطه وری سه نوع شیشه زیست فعال تولیدی درمحاول SBF

الف) ۴۵S ب) ۴۹S ج) ۵۸S

شده بر روی نانو پودرهای شیشه‌های زیست فعال تولیدی، از مقایسه مساحت قله‌های جذبی مربوط به گروه فسفاتها $۵۷۰-۶۰۵Cm^{-1}$ و گروه سیلیکاتها $۱۰۳۰-۱۰۴۰Cm^{-1}$ برای هر سه ترکیب تولیدی استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان تشکیل لایه آپاتیت برای ترکیب شیشه زیست فعال ۵۸S بسیار کمتر از شیشه‌های زیست فعال ۴۹S و ۴۵S تولیدی است و شیشه زیست فعال با ترکیب ۴۵S بالاترین زیست فعالی را در سه نوع ترکیب تولیدی داراست، جدول (۴).

این نتایج تطابق قابل قبولی با اختراع ۶۱۷۱۹۸۶ دارد که مقایسه آزمون برون محیطی[۴] سه ترکیب ۵۸S و ۶۸S و ۷۷S را نشان داده است و ترکیبات با سیلیس کمتر بعد از ۸ هفته به طور کامل می‌تواند با استخوان جایگزین شود [۲۳].

[DOR: 20.1001.1.2251600.1389.29.2.3.3]

جدول۴- مقایسه مساحتهای قله‌های جذبی در آزمون FTIR قبل و بعد از غوطه وری در محلول SBF برای سه ترکیب شیشه زیست فعال تولیدی

ترکیب	P-O/Si-O		
	قبل از غوطه وری در محلول SBF	بعد از غوطه وری در محلول SBF	درصد افزایش
۴۵S	۰/۰۱۶	۰/۱۲۳	۶۶۸
۴۹S	۰/۰۶۹	۰/۲۱۹	۲۱۷
۵۸S	۰/۱۴۴	۰/۳۱۱	۱۱۶

۴- نتیجه‌گیری

۱. شیشه‌های زیست فعال با سه ترکیب ۴۵S، ۴۹S و ۵۸S را می‌توان با روش سل- ژل تولید کرد. و به اندازه ذرات در حد نانومتر دست پیدا کرد.

۲. با قرارگیری نانوپودر شیشه‌های زیست فعال تولیدی در محلول شبیه سازی شده بدن، لایه آپاتیت بر روی سطح آنها تشکیل شد.

۳. با افزایش درصد SiO_2 از زیست فعالی شیشه‌های تولیدی کاسته شد و بالاترین زیست فعالی در ترکیب ۴۵S به دست آمد.

۴. با افزایش دمای عملیات حرارتی در طی تولید شیشه‌های زیست فعال می‌توان به شیشه- سرامیکها نیز دست پیدا کرد.

واژه نامه

1. simulated body fluid (SBF)
2. fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)
3. Hench
4. in vivo test

مراجع

1. Cao, W., and Hench., L. L. "Bioactive Materials," *Ceramic Int*., Vol. 22, pp. 493-507, 1996.
2. Wildemann B., Sander A., Schwabe P., Lucke M., Shtockle U., Raschke M., Hass N. P., and Schmidmaier G.," Short Term in Vivo Biocompatibility Testing of Biodegradable Poly (D, L Lactied) – Growth Factor Coating for Orthopedic Implants," *Biomaterials*, Vol. 26, pp. 4035-4040, 2005.
3. Schmidmaier, G., Wildemann, B., Bail, H., Lucke, M., Fuchs, T., Stemberger, A., Flyvbjery, A., Hass, N, P., and Raschke, M,. "Local Application of Growth Factors (Insulin- Like Growth Factor-1 and Transforming Growth Factor β1) from a Biodegradable Poly (D, L Lactide) Coanting of Osteosyntheic Implants Accelerates Froacture Healing in Rats Bone," Vol. 28, No.4, pp. 341-350, 2001.
4. S. M. Best *et al*, "Bioceramic: Past, present and for the Future," *Journal of European Ceramic Society*, Vol. 28, pp.1319-1327, 2008
5. Dashing Zhao *et al*, "Mechanical Verification of Soft-Tissue Attachment on Bioactive Glasses and Titanium Implants," *Acta Biomaterial*, Vol. 4, pp. 1118-1122, 2008.
6. Galliano, P. De damborenea, J. J. Pascual, M. J. and Duran, A "Sol-Gel Coating on 316L Steel for Clinical Applications"., *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, Vol.13, pp.723-7271998
7. Larry L. Hench, "The Story of Bioglass," *J. Mater Sci*, Vol. 17, pp. 967-978, 2006.
8. Fathi, M. H. Mortazavi, V. and Doostmohammadi, A. "Bioactive Glass Nanopowder for the Treatment of Oral Bone Defects, *Journal of Dentistry*, Vol. 4, pp 115, 2007.

۹. دوست محمدی، ع.، فتحی، م. ح.، ساخت نانو پودر شیشه زیست فعال برای جایگزینی استخوانچه‌های گوش میانی، مجله شنوایی سنجی ، ۱۶(۱)، ۱۰-۱۷، ۱۳۸۶.

۱۰. ادریس، ح. ساخت و مشخصه یابی نانو پودر شیشه زیست

[DOR: 20.1001.1.2251600.1389.29.2.3.3]

فعال و بررسی تاثیر ترکیب بر زیست فعالی آن، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، ۱۳۸۷.

11. Fathi, M. H. Doost Mohammadi, A. "Preparation and Characterization of Sol-Gel Bioactive Glass Coating for Improvement of Biocompatibility of Human Body Implant," *Materials Science and Engineering A*, Vol. In Press, pp.128-133, 2008.
12. Saboori, A. *et al*, "Synthesis, Characterization and in Vitro Bioactivity of Sol-Gel Derived SiO_2-CaO-P_2O_5-MgO Bioglass," *Material Science and Engineering C*, 2008.
13. IF. Vasconcelos *et al*, "Optical Properties of $Bi_{12}SiO_{20}$ (BSO) and $Bi_{12}TiO_{20}$ (BTO) Obtained by Mechanical Alloying," *J. Mat. Sci*., Vol. 36, p. 587, 2001.
14. Murugan, R. Rao, K. P. Kumar, T. S. S. "Heat-Deproteinated Xenogeneic Bone from Slaughterhouse Waste: Physico-Chemical Properties," *Bull. Mater. Sci*. Vol. 26, pp. 523-528, 2003.
15. Kokubo, T. *et al*, "Solution Able to Reproduce in Vivo Surface-Structure Changes in Bioactive Glass-Ceramic A-W," *J. Biomed Mater Res*.,Vol. 24, pp. 721-734, 1990.
16. Hench, L. L. *An Introduction to Bioceramics*, Advanced series in ceramics, University of Florida, World Scientific Publishing Co. Pte.Ltd., 1993.
17. Jiliani, L. and Xigeng, M. "Sol-Gel Derived Bioglass as a Coating Material for Porous Alumina Scaffolds," *Ceramics International*. Vol. 30, pp. 1781-1785, 2004.
18. Wei Xiaa, B. and Changa, J. "Preparation and Characterization of Nano-Bioactive Glass (NBG)," *J. Material Letters*, Vol. 61, pp. 3251-3253, 2007.
19. J. Perez-pariente, *et al*., "Influence of Composition and Surface Characterization on the in Vitro Bioactivity of SiO_2-CaO-P_2O_5-MgO Sol-Gel Glasses," *J. Biomed. Mater. Res*, Vol. 41, pp. 170-175, 1999.
20. M. Wallet-Regi, *et al*., "Glasses with Medical Applications," *Eur. J. Inorg. Chem*. pp. 1029-1042, 2003.
21. A. Balamurugan, *et al*., "Synthesis and Characterization of Sol Gel Derived Bioactive Glass for Biomedical Applications," *Materials Letters*, Vol. 60, pp. 3752-3757, 2006.
22. M. Laszca, *et al*., "Gel Derived Material of CaO-P_2O_5-SiO_2 System Modified by Boron, Sodium, Magnesium, Aluminum and Fluorine Compounds," *J. Biomed. Mater. Res*, Vol. 52, pp. 601-612, 2000.
23. Zhong, I. and Greenspan, D. C. "Bioactive Sol-Gel Compositions and Methods," *United States Patent*, US 6171986B1, 2001.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1389.29.2.3.3]