



پژوهشگاه مواد و انرژی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد – نانو مواد

موضوع :

بررسی اثر افزودن نانو ذرات آلومینا و سیلیکا بر خواص مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیکی داربست

های هیدروکسی آپاتیتی تولید شده به روش ریخته گری انجمادی

استاد راهنما :

دکتر علی زمانیان

نگارنده:

مهندس سید محمد حسین غضنفری

سال تحصیلی ۹۲-۱۳۹۱



تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای: سید محمد حسین غضنفری

را با عنوان: بررسی اثر افزودن نانو ذرات آلومینا و سیلیکا بر خواص مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیکی داربست های هیدروکسی آپاتیتی تولید شده به روش ریخته گری انجمادی

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی / کارشناسی ارشد تأیید می کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر علی زمانیان	استاد یار	
۲- استاد ممتحن	دکتر مسعود حافظی	استاد یار	
۳- استاد ممتحن	دکتر ربیعی	استاد یار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر کاظم زاده		

تقدیم به:

قطب عالم امکان دردانه ی آفرینش حضرت حجه ابن الحسن العسکری روحی و ارواحنا فداه

به امید گوشه چشمی بر این حقیر و به امید سلامتی و ظهور حضرتش...

سپاس نامه

به مصداق « من لم يشكر المخلوق لم يشكر الخالق » بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر علی زمانیان که با کرامتی چون خورشید ، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی های کار ساز و سازنده بارور ساختند ، تقدیر و تشکر نمایم.

(و یزکیهم و یعلمهم الكتاب و الحکمه)

همیشه توسن اندیشه ات مظفر باد

معلمانم مقامت ز عرش برتر باد

صحیفه های سخن از تو علم پرور باد

به نکته های دلاویز و گفته های بلند

همچنین از پدر و مادر عزیز، دلسوز و مهربانم که آرامش روحی و آسایش فکری فراهم نمودند تا با حمایت های همه جانبه در محیطی مطلوب، مراتب تحصیلی و نیز پایان نامه درسی را به نحو احسن به اتمام برسانم؛ سپاسگزاری نمایم.

بر منتهای همت خود کامران شدم

شکر خدا که هر چه طلب کردم از خدا

حق تالیف/گردآوری و تحقیق

این پروژه تحقیقاتی به شماره شناسه ۷۷۱۳۹۰۵۴ در پژوهشگاه مواد و انرژی به ثبت رسیده است و کلیه دستاوردهای تحقیقاتی شامل نتایج نظری، نتایج علمی و عملی، دانش فنی و سایر موارد مربوط به این پروژه متعلق به پژوهشگاه مواد و انرژی می باشد. بهره برداری از نتایج پروژه برای موسسات دولتی و غیر دولتی با مجوز پژوهشگاه مواد و انرژی و درج نام پژوهشگاه مواد و انرژی امکان پذیر است.

چکیده

ریخته گری انجمادی روش جدید و مناسبی جهت تهیه ی داربست های مورد استفاده در مهندسی بافت است. در مطالعه حاضر خواص داربست های کامپوزیتی HA/nAl_2O_3 و $HA/nSiO_2$ ساخته شده با این روش مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا دوغاب هایی با درصد های متفاوت HA/nAl_2O_3 و $HA/nSiO_2$ آماده شد. در ادامه نرخ های ۱ و ۴ درجه سانتیگراد بر دقیقه برای انجماد داربست ها به کار گرفته شده و به دنبال آن قطعات خام در دماهای ۱۲۰۰، ۱۲۵۰ و ۱۳۵۰ درجه سانتیگراد زینتر شدند. در نهایت، ترکیب فازی، ریز ساختار و استحکام فشاری این داربست ها به ترتیب با آنالیز فازی پراش پرتو ایکس XRD، میکروسکوپ SEM و دستگاه تست استحکام فشاری مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات فازی تجزیه هیدروکسی آپاتیت به آلفا و بتا تری کلسیم فسفات و تشکیل فاز های کلسیم آلومیناتی، کلسیم سیلیکاتی و شیشه آمورف بر پایه ی عناصر Si, P, Ca و O را تایید می کند. این تغییرات فازی تحت تاثیر درصد نانو آلومینا و نانو سیلیکا و دمای زینترینگ انجام می پذیرد. درصد تخلخل کل و استحکام فشاری بدست آمده برای داربست های HA/nAl_2O_3 به ترتیب ۷۸-۸۵٪ و ۴-۲۶ MPa می باشد. سایز تخلخل برای این داربست ها در بازه ی ۲۰-۲۸۵ μm می باشد که تمامی این نتایج تحت تاثیر عواملی همچون درصد نانو آلومینا، نرخ انجماد و دمای زینترینگ می باشد. در داربست های $HA/nSiO_2$ نیز درصد تخلخل کل، استحکام فشاری، سایز تخلخل ها به ترتیب در بازه های ۲۹/۸-۸۵/۸٪، ۹/۷۱-۲۲/۰ MPa و ۱۶-۴۲۰ μm بوده که همگی تحت تاثیر تغییرات درصد نانو سیلیکا، نرخ انجماد و دمای زینترینگ قرار دارند. پس از انجام تمامی تست ها و بررسی نتایج دو داربست حاوی ۱۵ درصد nAl_2O_3 و ۵ درصد $nSiO_2$ که هر دو در دمای $1350^{\circ}C$ زینتر شده اند به دلیل سایز، درصد تخلخل و همچنین استحکام مکانیکی نسبتا مناسب در مقایسه با باقی داربست ها به عنوان نمونه بهینه جهت انجام تست زیست تخریب پذیری و زیست فعالی در محلول SBF انتخاب شدند. پس از قرار گرفتن در محلول برای مدت زمان های مشخص تغییرات وزن و استحکام داربست ها بررسی شده و تصاویری از لایه رسوب کرده بر داربست با میکروسکوپ SEM تهیه گردید و همچنین آنالیز عنصری EDX این لایه ی رسوب کرده نیز تهیه گردید. نتایج حاکی از تشکیل لایه ای از هیدروکسی آپاتیت بر روی نمونه ها و بهبود خواص مکانیکی داربست ها مخصوصا در روز های ۳ و ۷ می باشد.

کلید واژه:

هیدروکسی آپاتیت، نانو آلومینا، نانو سیلیکا، داربست، ریخته گری انجمادی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل ۱- مقدمه.....
۳	فصل ۲- مروری بر منابع مطالعاتی.....
۳	۱-۲- بیو مواد.....
۳	۱-۱-۲- تاریخچه.....
۴	۲-۱-۲- معرفی بیو مواد.....
۵	۳-۱-۲- دسته بندی بیو مواد بر حسب فصل مشترک تشکیل دهنده با بافت.....
۶	۱-۳-۱-۲- مواد زیست خنثی.....
۶	۲-۳-۱-۲- مواد زیست فعال.....
۷	۳-۳-۱-۲- مواد زیست تخریب پذیر یا زیست جذب شونده.....
۷	۲-۲- بیو سرامیک ها.....
۹	۱-۲-۲- مبانی علم استخوان.....
۹	۲-۲-۲- استخوان یک نانو کامپوزیت.....
۱۰	۳-۲-۲- بیو سرامیک های پایه آلومینایی.....
۱۲	۴-۲-۲- بیو سرامیک های پایه زیرکونیایی.....
۱۲	۵-۲-۲- شیشه و بیو سرامیک های سیلیکاتی.....
۱۳	۶-۲-۲- شیشه سرامیک ها.....

- ۷-۲-۲- کلسیم فسفات ها..... ۱۳
- ۱-۷-۲-۲- آپاتیت ها و دیگر کلسیم فسفات ها..... ۱۳
- ۲-۷-۲-۲- هیدروکسی آپاتیت..... ۱۴
- ۳-۷-۲-۲- تری کلسیم فسفات..... ۱۵
- ۴-۷-۲-۲- اشکال مختلف کاربردی کلسیم فسفات ها..... ۱۵
- ۳-۲- مهندسی بافت..... ۱۶
- ۱-۳-۲- سلول..... ۱۶
- ۲-۳-۲- داربست های مهندسی بافت..... ۱۶
- ۱-۲-۳-۲- اهمیت و کاربرد داربست ها..... ۱۶
- ۲-۲-۳-۲- روش های ساخت داربست های متخلخل..... ۱۷
- ۱-۲-۲-۳-۲- فروشویی ذره ای و قالبگیری حلال..... ۱۷
- ۲-۲-۲-۳-۲- الکتروریسی..... ۱۸
- ۳-۲-۲-۳-۲- ایجاد فوم به روش های گازی..... ۱۸
- ۴-۲-۲-۳-۲- جدایش فازی..... ۱۸
- ۵-۲-۲-۳-۲- فوم رپلیکا یا اسفنج پلیمری..... ۱۹
- ۶-۲-۲-۳-۲- امولسیون یخ خشک..... ۱۹
- ۷-۲-۲-۳-۲- شستشوی نمک..... ۲۰
- ۸-۲-۲-۳-۲- ریخته گری انجمادی..... ۲۱
- ۱-۸-۲-۲-۳-۲- آماده سازی دوغاب یا محلول..... ۲۱

- ۲۲-۲-۳-۲-۲-۸-۲- انجماد جهت دار دوغاب یا محلول.....
- ۲۳-۲-۳-۲-۲-۸-۳- تصعید کریستال های حلال.....
- ۲۳-۲-۳-۲-۲-۸-۴- زینترینگ نمونه خام.....
- ۲۳-۲-۳-۲-۲-۸-۵- ساختار و کاربرد.....
- ۲-۴- مروری بر داربست های ساخته شده بر پایه ی هیدروکسی آپاتیت با روش های گوناگون و بررسی خواص آن ها.....
- ۲۶-۲-۵- هدف از انجام این تحقیق.....
- ۳۷-۳- فعالیت های تجربی.....
- ۳۸-۳-۱- مواد اولیه.....
- ۳۹-۳-۲- آماده سازی دوغاب.....
- ۳۹-۳-۳- گاز زدایی.....
- ۴۰-۳-۴- انجماد جهت دار.....
- ۴۱-۳-۵- خشک کردن انجمادی.....
- ۴۳-۳-۶- زینترینگ.....
- ۴۵-۳-۷- بررسی مورفولوژی و سایز پودر.....
- ۴۵-۳-۸- بررسی ریز ساختاری.....
- ۴۵-۳-۹- اندازه گیری سایز تخلخل ها.....
- ۴۶-۳-۱۰- محاسبه ی انقباض حجمی.....
- ۴۶-۳-۱۱- محاسبه ی درصد تخلخل کل.....

۴۶	۱۲-۳- آزمون استحکام فشاری.....
۴۷	۱۳-۳- آنالیز فازی.....
۴۷	۱۴-۳- بررسی زیست فعالی و زیست تخریب پذیری.....
۴۹	فصل ۴- نتایج و بحث.....
۴۹	۱-۴- بررسی مورفولوژی و سایز پودر اولیه.....
	۲-۴- تاثیر نانو آلومینا بر خواص داربست های هیدروکسی آپاتیتی تولید شده به روش ریخته گری
۵۱	انجمادی.....
۵۱	۱-۲-۴- بررسی ریز ساختاری و اندازه گیری سایز تخلخل ها.....
۵۹	۲-۲-۴- آنالیز فازی.....
۶۳	۳-۲-۴- بررسی استحکام فشاری و عوامل موثر بر آن.....
۶۸	۴-۲-۴- بررسی زیست فعالی و زیست تخریب پذیری.....
	۳-۴- تاثیر نانو سیلیکا بر خواص داربست های هیدروکسی آپاتیتی تولید شده به روش ریخته گری
۷۴	انجمادی.....
۷۴	۱-۳-۴- بررسی ریز ساختاری و اندازه گیری سایز تخلخل ها.....
۸۳	۲-۳-۴- آنالیز فازی.....
۸۹	۳-۳-۴- بررسی استحکام فشاری و عوامل موثر بر آن.....
۹۵	۴-۳-۴- بررسی زیست فعالی و زیست تخریب پذیری.....
۱۰۰	فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادها.....
۱۰۰	۱-۵- نتیجه گیری.....
۱۰۲	۲-۵- پیشنهاد ها برای ادامه کار.....

فهرست مراجع.....۱۰۳

واژه نامه فارسی به انگلیسی.....۱۱۱

واژه نامه انگلیسی به فارسی.....۱۱۳

فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲ : دسته بندی بيو مواد.....	۵
جدول ۲-۲ : تركيب شيميايی و فازی استخوان.....	۹
جدول ۳-۲ : خواص بيو مکانیکی استخوان.....	۱۱
جدول ۴-۲ : خواص مکانیکی بيو سرامیک اکسيد آلومنيوم.....	۱۱
جدول ۵-۲ : انواع کلسيم فسفات های توليد شده بر اساس نسبت Ca/P.....	۱۴
جدول ۱-۳ : مشخصات مواد اوليه.....	۳۸
جدول ۲-۳ : مشخصات نمونه ها.....	۳۹
جدول ۳-۳ : نرخ انجماد.....	۴۱
جدول ۴-۳ : نرخ گرمایش و دمای زينترینگ.....	۴۳
جدول ۵-۳ : غلظت يون های محلول SBF مورد استفاده.....	۴۸
جدول ۱-۴ : سايز تخلخل داربست های HA/nAl ₂ O ₃	۵۴
جدول ۲-۴ : انقباض، درصد تخلخل و استحکام فشاری داربست های HA/nAl ₂ O ₃	۶۳
جدول ۳-۴ : سايز تخلخل داربست های HA/nSiO ₂	۷۸
جدول ۴-۴ : انقباض، درصد تخلخل و استحکام فشاری داربست های HA/nSiO ₂	۹۰

فهرست شکل ها

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۲ : اسکلت استخوان..... ۸
- شکل ۲-۲ : تصویر شماتیک مراحل روش ریخته گری انجمادی..... ۲۱
- شکل ۳-۲ : شماتیک دستگاه ریخته گری انجمادی و مرحله ی انجماد در این روش..... ۲۲
- شکل ۴-۲ : ساختار لملاز مرتبط حاصل از انجماد دوغاب..... ۲۴
- شکل ۵-۲ : تصویر شماتیک انجماد دوغاب و پس زده شدن ذرات توسط کریستال های یخ و بدام افتادن آن ها در میان کریستال ها..... ۲۵
- شکل ۶-۲ : الف) ساختار کریستالی یخ ، ب) نا همسانگردی سرعت رشد کریستال یخ، ج) ساختار لملاز نهایی..... ۲۶
- شکل ۷-۲ : تصویر SEM ریز ساختار داربست های هیدروکسی آپاتیتی؛ الف) بدون PVA، ب) با ۱٪ PVA..... ۲۷
- شکل ۸-۲ : تخلخل های بیضی شکل بدست آمده از روش ریخته گری انجمادی..... ۲۸
- شکل ۹-۲ : تغییر سایز تخلخل نهایی با تغییر سایز پودر در دوغاب..... ۲۹
- شکل ۱۰-۲ : الگوی پراش اشعه ایکس کامپوزیت هیدروکسی آپاتیت ۲۰ درصد آلومینا زینتر شده در دمای °C ۱۴۰۰..... ۳۱
- شکل ۱۱-۲ : الگوی پراش اشعه ایکس کامپوزیت هیدروکسی آپاتیت ۱۰ درصد آلومینا زینتر شده در دمای °C ۱۳۵۰..... ۳۲
- شکل ۱۲-۲ : استحکام فشاری کامپوزیت ها بر حسب درصد آلومینا و دمای زینترینگ..... ۳۲
- شکل ۱۳-۲ : الگوی پراش اشعه ایکس کامپوزیت هیدروکسی آپاتیت ۲۰ درصد آلومینا..... ۳۳
- شکل ۱۴-۲ : الف) تغییرات استحکام فشاری بر حسب درصد زیرکونیا، ب) تغییرات فازی..... ۳۴

- شکل ۲-۱۵ : الگوی پراش اشعه ایکس کامپوزیت هیدروکسی آپاتیت ۱۵ درصد تیتانیا..... ۳۴
- شکل ۲-۱۶ : الگوی پراش اشعه ایکس کامپوزیت های هیدروکسی آپاتیت / سیلیکا..... ۳۵
- شکل ۳-۱ : دستگاه و قالب ریخته گری انجمادی (الف) قبل از آغاز انجماد، (ب) در حین انجماد، (ج) قالب بسته، (د) قالب باز..... ۴۰
- شکل ۳-۲ : دستگاه خشک کن انجمادی..... ۴۲
- شکل ۳-۳ : دیاگرام ۳ فازی آب و مکانیزم تصعید یخ..... ۴۲
- شکل ۳-۴ : دیاگرام نرخ گرمایش و دمای زینترینگ..... ۴۴
- شکل ۳-۵ : تصویر نمونه ی S0.5T135 قبل و بعد از زینترینگ..... ۴۴
- شکل ۳-۶ : دستگاه تست استحکام فشاری..... ۴۷
- شکل ۴-۱ : تصویر TEM میکرو پودر هیدروکسی آپاتیت..... ۴۹
- شکل ۴-۲ : تصویر TEM نانو پودر آلومینا..... ۵۰
- شکل ۴-۳ : تصویر TEM نانو پودر سیلیکا..... ۵۰
- شکل ۴-۴ : تصویر SEM مقطع عرضی داربست های هیدروکسی آپاتیت/نانو آلومینا؛ (الف) A5C1T35، (ب) A5C4T35، (ج) A10C1T35، (د) A10C4T35، (ه) A15C1T35، (و) A15C4T35..... ۵۲
- شکل ۴-۵ : تصویر SEM مقطع طولی داربست های هیدروکسی آپاتیت/نانو آلومینا؛ (الف) A5C1T35، (ب) A5C4T35، (ج) A10C1T35، (د) A10C4T35، (ه) A15C1T35، (و) A15C4T35..... ۵۳
- شکل ۴-۶ : نمودار سایز تخلخل بر حسب نرخ انجماد..... ۵۴
- شکل ۴-۷ : تصویر شماتیک تاثیر سایز ذرات بر طول موج ساختاری..... ۵۵
- شکل ۴-۸ : شماتیک ریز ساختار دیواره ی تخلخل ها ؛ (الف) سایز پودر بزرگتر ، (ب) سایز پودر کوچک تر..... ۵۶
- شکل ۴-۹ : ریز ساختار دیواره ی تخلخل ها ؛ (الف) سایز پودر کوچک تر، (ب) سایز پودر بزرگتر..... ۵۷

شکل ۴-۱۰ : ریز ساختار دیواره ی تخلخل پس از حرارت دیدن به مدت ۱ ساعت در دمای 1000°C ؛ الف) نمونه ی حاوی ۵ درصد نانو آلومینا، ب) نمونه ی حاوی ۱۵ درصد نانو آلومینا.....۵۷

شکل ۴-۱۱ : سایز تخلخل بر حسب درصد نانو آلومینا.....۵۸

شکل ۴-۱۲ : الگوی پراش اشعه X داربست های کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت/نانو آلومینا : الف) هیدروکسی آپاتیت خالص ، ب) A5C1T25 ، ج) A10C1T25 ، د) A15C1T25.....۵۹

شکل ۴-۱۳ : الگوی پراش اشعه X داربست های کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت/نانو آلومینا : الف) هیدروکسی آپاتیت خالص ، ب) A5C1T35 ، ج) A10C1T35 ، د) A15C1T35.....۶۱

شکل ۴-۱۴ : الگوی پراش اشعه X داربست های کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت/نانو آلومینا؛ الف) ۵/۹۵، ب) ۱۰/۹۰، ج) ۱۵/۸۵ در دو دمای ۱۲۵۰ و ۱۳۵۰ درجه سانتیگراد.....۶۲

شکل ۴-۱۵ : انقباض حجمی، تخلخل کل و استحکام فشاری داربست ها بر حسب درصد نانو آلومینا.....۶۴

شکل ۴-۱۶ : استحکام فشاری داربست بر حسب نرخ انجماد.....۶۵

شکل ۴-۱۷ : انقباض حجمی، تخلخل کل و استحکام فشاری داربست ها بر حسب دمای زینترینگ.....۶۶

شکل ۴-۱۸ : تجمع ذرات در بعضی مناطق پس از ۷ روز قرار گرفتن در محلول SBF.....۶۸

شکل ۴-۱۹ : ریز ساختار و آنالیز عنصری هیدروکسی آپاتیت تشکیل شده بر نمونه ی A15C1T35 به ترتیب پس از (الف، ب : ۳ روز) ، (ج، د : ۷ روز) ، (ه، و : ۱۴ روز) ، (ز، ح : ۲۱ روز) غوطه وری در محلول SBF.....۷۰

شکل ۴-۲۰ : آنالیز عنصری EDAX نواحی متفاوت نمونه ی A15C1T35 پس از ۲۱ روز غوطه وری در محلول SBF.....۷۱

شکل ۴-۲۱ : نمودار درصد تغییر وزن و تغییرات استحکام داربست A15C1T35 بر حسب زمان غوطه وری در محلول SBF.....۷۳

شکل ۴-۲۲ : تصویر SEM مقطع عرضی داربست های هیدروکسی آپاتیت/نانو سیلیکا؛ الف) S0.5C1T20 ، ب) S0.5C4T20 ، ج) S5C1T20 ، د) S5C4T20 ، ه) S10C1T20 ، و) S10C4T20 ، ز) S15C1T20 ، ع) S15C4T20.....۷۵

- شکل ۴-۲۳ : تصویر SEM مقطع طولی داربست های هیدروکسی آپاتیت/نانو سیلیکا؛ الف) S0.5C1T20، ب) S0.5C4T20، ج) S5C1T20، د) S5C4T20، ه) S10C1T20، و) S10C4T20، ز) S15C1T20، ع) S15C4T20..... ۷۶
- شکل ۴-۲۴ : نمودار سایز تخلخل بر حسب نرخ انجماد..... ۷۷
- شکل ۴-۲۵ : سایز تخلخل بر حسب درصد نانو سیلیکا..... ۷۹
- شکل ۴-۲۶ : الف) S0.5C1T35، ب) مقطع عرضی S0.5C1T35، ج) مقطع طولی S0.5C1T35، د) S5C1T35، ه) مقطع عرضی S5C1T35، و) مقطع طولی S5C1T35، ز) S10C1T35، ح) مقطع عرضی S10C1T35، ط) مقطع طولی S10C1T35، ی) S15C1T35، ک) مقطع عرضی S15C1T35، ل) مقطع طولی S15C1T35..... ۸۰
- شکل ۴-۲۷ : سایز تخلخل بر حسب دمای زینترینگ..... ۸۱
- شکل ۴-۲۸ : تصویر SEM ریز ساختار داربست ها الف) S0.5C1T35، ب) S5C1T35، ج) S10C1T35، د) S15C1T35..... ۸۱
- شکل ۴-۲۹ : تصویر شماتیک ریز ساختار دو فاز کریستالی و آمورف در کنار یکدیگر..... ۸۲
- شکل ۴-۳۰ : الگوی پراش اشعه X داربست های کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت/نانو سیلیکا : الف) S0.5C1T20، ب) S1C1T20، ج) S1.5C1T20، د) S5C1T20، ه) S10C1T20، و) S15C1T20..... ۸۳
- شکل ۴-۳۱ : دیاگرام فازی CaO و SiO₂..... ۸۵
- شکل ۴-۳۲ : الگوی پراش اشعه X داربست های کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت/نانو سیلیکا : الف) S0.5C1T35، ب) S1C1T35، ج) S1.5C1T35، د) S5C1T35، ه) S10C1T35، و) S15C1T35..... ۸۶
- شکل ۴-۳۳ : دیاگرام فازی CaO و P₂O₅..... ۸۷
- شکل ۴-۳۴ : الگوی پراش اشعه X داربست های کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت/نانو سیلیکا : الف) S0.5C1T35، ب) S1C1T35، ج) S1.5C1T35، د) S5C1T35، ه) S10C1T35، و) S15C1T35..... ۸۸
- شکل ۴-۳۵ : انقباض حجمی، تخلخل کل و استحکام فشاری داربست ها بر حسب درصد نانو سیلیکا..... ۹۱
- شکل ۴-۳۶ : استحکام فشاری داربست بر حسب نرخ انجماد..... ۹۲

شکل ۴-۳۷: انقباض حجمی، تخلخل کل و استحکام فشاری داربست‌ها بر حسب دمای زینترینگ.....۹۳

شکل ۴-۳۸: تجمع ذرات در بعضی مناطق پس از ۱۴ روز قرار گرفتن در محلول SBF.....۹۵

شکل ۴-۳۹: ریز ساختار و آنالیز عنصری هیدروکسی آپاتیت تشکیل شده بر نمونه ی S5C1T35 به ترتیب پس

از (الف،ب: ۳ روز)، (ج،د: ۷ روز)، (ه،و: ۱۴ روز)، (ز،ح: ۲۱ روز) غوطه وری در محلول SBF.....۹۷

شکل ۴-۴۰: نمودار درصد تغییر وزن و تغییرات استحکام داربست S5C1T35 بر حسب زمان غوطه وری در

محلول SBF.....۹۹

فهرست علائم و نشانه ها

عنوان	علامت اختصاری
انقباض حجمی	S_v
حجم داربست خام	V_0
حجم داربست بعد از زینترینگ	V_f
درصد تخلخل کل	P
دانسیتته ی داربست	$\rho_{scaffold}$
دانسیتته ی پودر اولیه	$\rho_{scaffold}$
تغییرات وزن	ΔW
وزن قبل از غوطه وری	w_1
وزن پس از غوطه وری	w_2
سرعت جبهه ی انجماد	v
طول موج ساختاری	λ
توان وابسته به سایز ذرات	n

فصل ۱- مقدمه

امروزه بازسازی بافت آسیب دیده استخوان در بسیاری از مسائل بالینی از قبیل ارتوپدی و دندانپزشکی مورد مطالعه قرار گرفته و مواد مختلفی مانند پلیمرها، سرامیکها و کامپوزیتها برای این منظور مورد توجه قرار گرفته اند [۱، ۲]. در این بین ترکیبات کلسیم فسفاتی مانند هیدروکسی آپاتیت، تری کلسیم فسفات و یا ترکیباتی از این دو ماده به دلیل شباهت زیاد به بافت سخت انسان، زیست سازگاری و زیست فعالی بالا و همچنین توانایی برقراری پیوند با بافت استخوان در سطح وسیعی به شکل چگال، گرانول و یا داربست متخلخل مورد استفاده قرار می گیرند [۳-۷]. تلاشهای بسیاری جهت دست یافتن به ترکیب فازی و خواص مکانیکی مناسب در این ترکیبات صورت گرفته است و برای این منظور مواد مختلفی مانند زیرکونیا (ZrO_2)، تیتانیا (TiO_2)، سیلیکا (SiO_2) و آلومینا (Al_2O_3) به آنها افزوده شده است [۸-۱۴]. باید توجه داشت که با ورود مواد خارجی، احتمال تجزیه هیدروکسی آپاتیت (HA) به تری کلسیم فسفات (TCP) در دماهایی پایین تر از حد معمول تجزیه هیدروکسی آپاتیت افزایش می یابد و که در نهایت باعث بهبود تخریب پذیری قطعه نهایی خواهد شد [۱۵، ۱۶]. از جمله کامپوزیت های ساخته شده، کامپوزیت هیدروکسی آپاتیت - آلومینا و هیدروکسی آپاتیت سیلیکا است که تلفیقی از زیست فعالی و زیست تخریب پذیری فاز HA یا TCP (وابسته به دمای زینترینگ و درصد آلومینا و سیلیکا) و استحکام بالای فازهای کلسیم آلومیناتی، کلسیم سیلیکاتی و یا فاز آمورف حاصل از واکنش HA با Al_2O_3 یا SiO_2 می باشد [۱۷-۱۹]. تحقیقات زیادی بر روی قطعات بالک ساخته شده از این دسته مواد انجام گرفته اما مطالعات کمی بر روی داربست های تهیه شده از این کامپوزیت ها انجام گرفته است و از آنجا که ساختارهای متخلخل می توانند کاربرد های زیادی به عنوان جایگزین استخوان داشته باشند نیاز به تحقیقات در این زمینه نیز احساس می شود. از مزیت های داربست های متخلخل می توان به امکان رشد بافت به درون آنها، امکان رشد عروق خونی و تغذیه سلولها و نهایتا قابلیت جایگزین شدن با بافت استخوانی اشاره کرد [۲۰-۲۲]. برای تولید داربستها از روش های مختلفی از قبیل شستشوی ذره، ریخته گری دوغابی، ریخته گری ژل، اسفنج پلیمری و ریخته گری انجمادی استفاده می شود [۲۳-۲۸]. در طی چند سال گذشته ریخته گری انجمادی به دلیل سادگی روش، صرفه اقتصادی، انقباض کم در فرآیند شکل گیری، امکان کنترل میزان تخلخل، اندازه، شکل و جهت گیری و ارتباط تخلخل ها و همچنین استحکام مکانیکی نسبتا خوب که همگی از ملزومات اولیه ی یک داربست مناسب جهت استفاده در مهندسی بافت می باشند، مورد توجه محققان قرار گرفته است [۲۹، ۳۰]. اخیرا تلاشهایی در جهت ساخت داربست های کلسیم فسفاتی با استفاده از این روش صورت پذیرفته و نتایج مطلوبی هم به دست آمده است اما تاکنون ساخت کامپوزیت های هیدروکسی