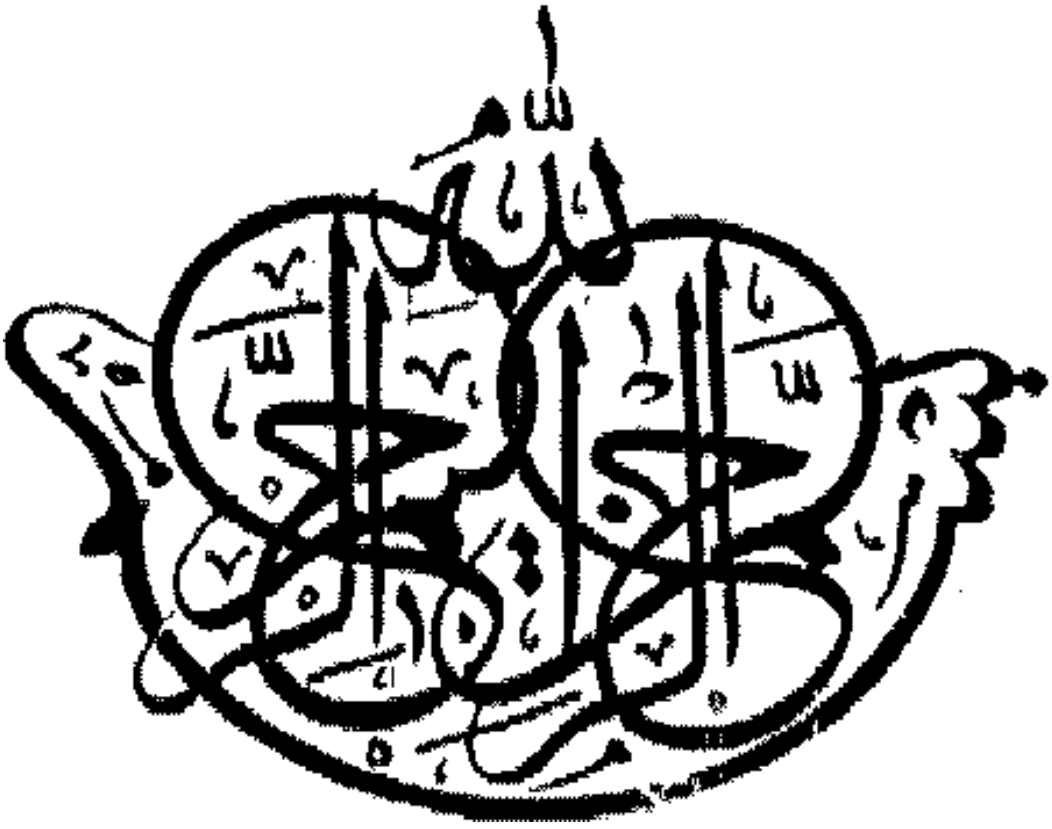

دانشگاه کاشان

دانشکده‌ی شیمی، گروه شیمی معدنی

پایان نامه

جهت اخذ درجه‌ی دکتری

در رشته‌ی شیمی معدنی

عنوان:

تهیه و شناسایی نانوساختارهای هیدروکسی آپاتیت در حضور لیگاندهای کی‌لیت‌ساز حاوی اتمهای اکسیژن و نیتروژن

استاد راهنما:

پروفسور مسعود صلواتی نیاسری

توسط:

فاطمه مهندس

شهریورماه ۹۳

بسمه تعالی

تاریخ: ۹۳/۶/۲۲
شماره: ۹۳/۱۳۵۶۹
پیوست:

دانشگاه کاشان
دانشکده شیمی

فرم مربوط به نتیجه برگزاری امتحان دفاع از پایان‌نامه دانشجو

مخصوص دانشجویان دوره دکتری Ph.D.

امتحان دفاع از پایان‌نامه **خانم فاطمه مهندس** دانشجوی دوره **دکتری رشته شیمی** گرایش **معدنی** روز **یکشنبه** مورخ **۹۳/۰۶/۱۶** ساعت **۱** در سالن **کنفرانس دانشکده علوم** با حضور هیئت داوران تشکیل و نظرات کلی آن‌ها که در فرم صورتجلسه دفاع از پایان‌نامه دکتری نامبرده منعکس شده در جدول زیر مندرج گردید.

اعضاء هیأت داوران

عنوان	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱. استاد راهنما:	پروفسور مسعود صلواتی نیاسری	استاد	
۳. متخصص وصاحب‌نظر داخل دانشگاه:	دکتر سیدابوالقاسم کاهانی	استادیار	
٤. متخصص وصاحب‌نظر داخل دانشگاه:	دکتر محمدرضا منصورنیا	استادیار	
۵. متخصص وصاحب‌نظر خارج از دانشگاه:	دکتر علیرضا بدیعی	دانشیار	۹۳
۶. نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه:	دکتر احمد اکبری	دانشیار	

با توجه به جمع بندی نظرات فوق پایان‌نامه خانم فاطمه مهندس

با نمره به عدد: ۲۰/۰
به حروف: بیست

و درجه عالی ☒ بسیار خوب ○ خوب ○ قابل قبول ○ غیرقابل قبول کمتر از ○

اعلام می‌گردد.

منصور نیا
مدیر تحصیلات تکمیلی

آدرس: کاشان- بلوار قطب راوندی
کدپستی ۸۷۳۱۷ - ۵۱۱۶۷
تلفن ۵۹۱۲۳۹۷- دورنگار ۵۹۱۲۳۹۷
http: www.kashanu.ac.ir

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم

به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام بخش آلام زمینی‌ام است

پدر و مادر عزیزم

به پاس عاطفه‌ی سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این روزگار سرد بهترین پشتیبان است

به پاس قلب مهربانشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید

و به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی کند...

پروردگارا

سپاس می‌گویمت که بر من منت نهادی و خلعت تحصیل علم را بر من پوشاندی و در قلبم چراغ معرفت را برافروختی تا از آن به خیر و صلاح خویش و دیگران الهام بگیرم. از تو می‌خواهم در قلبم ایمان و به راهم استواری عطا کنی و در تمام مراحل زندگی یاری‌ام کنی و لحظه‌ای مرا به خود وامگذاری.

اکنون که به یاری حق تعالی فعالیت‌های تحقیقاتی این رساله به سر منزل مقصود رسیده است، بر خود لازم می‌دانم تا مراتب تشکر و سپاس خود را از زحمات بی‌شائبه و الطاف استاد ارجمند **پروفسور مسعود صلواتی نیاسری** ابراز نمایم که این کار تحقیقاتی بدون راهنمایی‌های ایشان هرگز به نتیجه‌ی مطلوب نمی‌رسید. اگرچه زبانم به جهت تشکر و قدردانی در برابر مقام رفیع استادی ایشان قاصر است ولی همواره سلامتی، سعادت و موفقیت روزافزون این بزرگوار را از خداوند منان خواستارم.

هم‌چنین وظیفه دارم از لطف و عنایت اساتید بزرگوار **جناب آقای دکتر علیرضا بدیعی** دانشیار محترم دانشگاه تهران در سمت ممتحن خارج از دانشگاه و **جناب آقای دکتر سید ابوالقاسم کاهانی** و **جناب آقای دکتر محمدرضا منصورنیا** در سمت ممتحنین داخل دانشگاه تشکر و قدردانی نمایم که قبول زحمت کرده و این رساله را مورد ارزیابی قرار دادند. از طرفی بر خود لازم می‌دانم تا از حضور **جناب آقای دکتر احمد اکبری** در جلسه‌ی دفاعیه به عنوان نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی سپاسگزاری نمایم.

چکیده

هیدروکسی آپاتیت ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, HAP) به عنوان یکی از مهم‌ترین ترکیبات کلسیم فسفات‌ها به دلیل داشتن فعالیت زیستی، خواص زیست‌سازگاری و زیست‌تخریب پذیری فوق العاده در تهیه‌ی کاشتنی‌های زیستی کاربرد وسیعی دارد. در این پژوهش، نانوساختارهای HAP طی یک روش همرسوبی ساده با استفاده از $Ca(NO_3)_2.4H_2O$ و $(NH_4)_2HPO_4$ به ترتیب به عنوان منابع کلسیم و فسفر تهیه شدند. به منظور کنترل شکل و اندازه‌ی ذرات نانوساختارهای HAP، برای اولین بار از ترکیبات باز شیف به عنوان لیگاندهای کی‌لیت‌ساز استفاده شد. در تصاویر میکروسکوپ الکترونی مشاهده شد که نانوساختارهای صفر بعدی و یک بعدی به ترتیب در حضور لیگاندهای کی-لیت‌ساز چهاردندانه و دودندانه تشکیل می‌شوند. هم‌چنین فعالیت زیستی نانوساختارهای HAP در محیط آزمایشگاهی و در مایع شبیه‌سازی شده‌ی بدن نشان داد که نانوساختارهای یک بعدی (نانومیله‌ها) در مقایسه با نانوساختارهای صفر بعدی (نانوذرات) فعالیت زیستی بیشتری دارند. علاوه بر این، کامپوزیت‌های کیتوسان/گرافن اکسید/نانوذرات HAP و پلی اتیلن گلیکول/گرافن اکسید/نانومیله‌های HAP به روش خشک کردن سرمایشی ابتدا تهیه و سپس فعالیت زیستی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد که کامپوزیت کیتوسان/گرافن اکسید/نانوذرات HAP تهیه شده با ساختار بسیار متخلخل می‌تواند یک داربست مناسب برای تشکیل استخوان در بدن باشد. مطالعات انجام شده در زمینه‌ی فعالیت زیستی نانوکامپوزیت‌ها نشان داد که این ترکیبات در مقایسه با نانوساختارهای خالص HAP از نظر زیستی فعال‌تر هستند. محصولات تهیه شده با روش‌های مختلفی شامل میکروسکوپ الکترونی روبشی و عبوری (SEM, TEM)، پراش اشعه ایکس (XRD) و طیف‌بینی مادون قرمز با تبدیل فوریه (FTIR) شناسایی شدند. الگوهای XRD نشان دادند که هیدروکسی آپاتیت تک فاز با روش همرسوبی حاصل شده است.

کلمات کلیدی: نانوساختار، هیدروکسی آپاتیت، روش همرسوبی، باز شیف.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- مقدمه	۱
۱-۱- آشنایی با مواد زیستی	۱
۱-۲- طبقه‌بندی مواد زیستی	۲
۱-۳- سیر تکاملی مواد زیستی	۵
۱-۳-۱- گذشته: خروج بافت	۵
۱-۳-۲- امروز: تعویض بافت	۶
۱-۳-۳- آینده: باز تولید بافت	۶
۱-۴- سرامیک‌های زیستی	۷
۱-۴-۱- تاریخچه‌ی کاربرد سرامیک‌های زیستی	۷
۱-۴-۲- طبقه‌بندی سرامیک‌های زیستی از نظر فعالیت شیمیایی در محیط زیستی	۹
۱-۴-۳- کلسیم فسفات‌ها	۱۱
۱-۴-۳-۱- تأثیر نسبت کلسیم به فسفر در تشکیل فازهای کلسیم فسفات	۱۳
۱-۵- هیدروکسی آپاتیت	۱۶
۱-۵-۱- خواص مکانیکی هیدروکسی آپاتیت	۱۸
۱-۵-۲- خواص شیمیایی هیدروکسی آپاتیت	۲۰
۱-۵-۳- برهم‌کنش سلولی هیدروکسی آپاتیت	۲۰
۱-۵-۴- کاربردهای هیدروکسی آپاتیت	۲۴
۱-۵-۴-۱- کاربردهای زیستی هیدروکسی آپاتیت	۲۴
۱-۵-۴-۲- کاربردهای غیرزیستی هیدروکسی آپاتیت	۳۰
۱-۵-۵- روش‌های تهیه‌ی نانوساختارهای هیدروکسی آپاتیت	۳۰
۱-۵-۵-۱- روش سونوشیمی	۳۰
۱-۵-۵-۲- روش سل-ژل	۳۲
۱-۵-۵-۳- روش هیدروترمال	۳۴
۱-۵-۵-۴- روش میکروامولسیون	۳۵
۱-۵-۵-۵- روش همرسوبی	۳۸
۱-۶- ترکیبات باز شیف	۴۳
۱-۶-۱- تهیه‌ی ترکیبات باز شیف	۴۴
۱-۶-۲- نامگذاری اختصاری ترکیبات باز شیف	۴۵
۱-۶-۳- کمپلکس‌های باز شیف	۴۵
۲- بخش تجربی	۴۷
۲-۱- وسایل و تجهیزات آزمایشگاهی	۴۷
۲-۲- مواد شیمیایی	۴۷
۲-۳- دستگاه‌های مورد استفاده برای شناسایی محصولات	۵۰
۲-۴- روش تهیه‌ی ترکیبات باز شیف	۵۳

۲-۵- روش تهیه‌ی نانوساختارهای هیدروکسی آپاتیت ۵۷
۲-۶- روش تهیه‌ی گرافن اکسید ۵۸
۲-۷- روش تهیه‌ی نانوکامپوزیت هیدروکسی آپاتیت/گرافن اکسید/کیتوسان (CT/GO/HAP) ۵۸
۲-۸- روش تهیه‌ی نانوکامپوزیت هیدروکسی آپاتیت/گرافن اکسید/پلی اتیلن گلیکول (PEG/GO/HAP) ۵۹
۲-۹- روش انجام آزمایش‌های زیستی نانوساختارهای هیدروکسی آپاتیت و کامپوزیت‌های آن‌ها ۶۰
۲-۱۰- روش تهیه‌ی محلول‌های SBF ۶۰
۳- بحث و نتیجه‌گیری ۶۳
۳-۱- شناسایی ترکیبات باز شیف ۶۳
۳-۱-۱- شناسایی لیگاندهای تهیه شده با استیل استون ۶۳
۳-۱-۲- شناسایی لیگاندهای تهیه شده با ۲-هیدروکسی بنزوفنون ۷۹
۳-۱-۳- شناسایی لیگاندهای تهیه شده با سالیسیل آلدهید ۸۱
۳-۱-۴- شناسایی لیگاندهای تهیه شده با ۲-هیدروکسی استوفنون ۹۸
۳-۱-۵- شناسایی لیگاندهای تهیه شده با ۲-هیدروکسی-۱-نفتالدهید ۱۱۲
۳-۲- شناسایی و بررسی خواص زیستی نانوساختارهای HAP ۱۲۴
۳-۲-۱- شناسایی نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات استیل استون ۱۲۴
۳-۲-۱-۱- نتایج XRD نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات استیل استون ۱۲۵
۳-۲-۱-۲- نتایج FE-SEM و HR-TEM نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات استیل استون ۱۳۰
۳-۲-۱-۳- نتایج FTIR نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات استیل استون ۱۳۶
۳-۲-۱-۴- نتایج BET نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات استیل استون ۱۴۰
۳-۲-۱-۵- نتایج EDS نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات استیل استون ۱۴۰
۳-۲-۱-۶- مکانیسم پیشنهادی برای تشکیل و رشد نانوساختارهای HAP در حضور ترکیبات استیل استون ۱۴۱
۳-۲-۲- شناسایی نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی بنزوفنون ۱۴۴
۳-۲-۲-۱- نتایج XRD نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی بنزوفنون ۱۴۵
۳-۲-۲-۲- نتایج FE-SEM، TEM و HR-TEM نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی بنزوفنون ۱۴۶
۳-۲-۲-۳- نتایج FTIR نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی بنزوفنون ۱۴۷
۳-۲-۲-۴- نتایج EDS نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی بنزوفنون ۱۴۷
۳-۲-۲-۵- مکانیسم پیشنهادی برای تشکیل و رشد نانوساختارهای HAP در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی بنزوفنون ۱۴۹
۳-۲-۳- شناسایی نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات سالیسیل آلدهید ۱۵۱
۳-۲-۳-۱- نتایج XRD نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات سالیسیل آلدهید ۱۵۲
۳-۲-۳-۲- نتایج FE-SEM و TEM نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات سالیسیل آلدهید ۱۵۴
۳-۲-۳-۳- نتایج EDS نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات سالیسیل آلدهید ۱۵۸
۳-۲-۳-۴- نتایج FTIR نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات سالیسیل آلدهید ۱۵۹
۳-۲-۳-۵- بررسی خواص زیستی نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات سالیسیل آلدهید ۱۶۲
۳-۲-۳-۶- مکانیسم پیشنهادی برای تشکیل و رشد نانوساختارهای HAP در حضور ترکیبات سالیسیل ۱۶۷

آلدهید
۳-۲-۴- شناسایی نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی استوفنون ۱۶۹
۳-۲-۴-۱- نتایج XRD نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی استوفنون ۱۶۹
۳-۲-۴-۲- نتایج FE-SEM و TEM نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی استوفنون ۱۷۱
۳-۲-۴-۳- نتایج EDS نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی استوفنون ۱۷۵
۳-۲-۴-۴- نتایج FTIR نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی استوفنون ۱۷۷
۳-۲-۴-۵- نتایج BET نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی استوفنون ۱۷۷
۳-۲-۴-۶- مکانیسم پیشنهادی برای تشکیل و رشد نانوساختارهای HAP در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی استوفنون ۱۸۵
۳-۲-۵- شناسایی نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی-۱-نفتالدهید ۱۸۷
۳-۲-۵-۱- نتایج XRD نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی-۱-نفتالدهید ۱۸۷
۳-۲-۵-۲- نتایج FE-SEM و TEM نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی-۱-نفتالدهید ۱۸۸
۳-۲-۵-۳- نتایج FTIR نانوساختارهای HAP تهیه شده در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی-۱-نفتالدهید ۱۹۲
۳-۲-۵-۴- مکانیسم پیشنهادی برای تشکیل و رشد نانوساختارهای HAP در حضور ترکیبات ۲-هیدروکسی-۱- نفتالدهید ۱۹۵
۳-۳- شناسایی پودرهای HAP تهیه شده بدون استفاده از ترکیبات باز شیف (آزمایش شاهد) ۱۹۷
۳-۴- شناسایی و بررسی خواص زیستی نانوکامپوزیت‌های هیدروکسی آپاتیت ۱۹۸
۳-۴-۱- شناسایی نانوکامپوزیت هیدروکسی آپاتیت/گرافن اکسید/کیتوسان (CT/GO/HAP) ۲۰۳
۳-۴-۱-۱- نتایج SEM و TEM نانوکامپوزیت CT/GO/HAP ۲۰۳
۳-۴-۱-۲- نتایج EDS نانوکامپوزیت CT/GO/HAP ۲۰۶
۳-۴-۱-۳- نتایج XRD نانوکامپوزیت CT/GO/HAP ۲۰۶
۳-۴-۱-۴- نتایج FTIR نانوکامپوزیت CT/GO/HAP ۲۰۹
۳-۴-۱-۵- بررسی خواص زیستی نانوکامپوزیت CT/GO/HAP ۲۱۰
۳-۴-۱-۶- بررسی خواص حرارتی نانوکامپوزیت CT/GO/HAP ۲۱۷
۳-۴-۲- شناسایی نانوکامپوزیت هیدروکسی آپاتیت/گرافن اکسید/پلی اتیلن گلیکول (PEG/GO/HAP) ۲۱۹
۳-۴-۲-۱- نتایج TEM نانوکامپوزیت PEG/GO/HAP ۲۱۹
۳-۴-۲-۲- نتایج EDS نانوکامپوزیت PEG/GO/HAP ۲۲۰
۳-۴-۲-۳- نتایج XRD نانوکامپوزیت PEG/GO/HAP ۲۲۱
۳-۴-۲-۴- نتایج FTIR نانوکامپوزیت PEG/GO/HAP ۲۲۳
۳-۴-۲-۵- بررسی خواص زیستی نانوکامپوزیت PEG/GO/HAP ۲۲۵
۳-۴-۲-۶- بررسی خواص حرارتی نانوکامپوزیت PEG/GO/HAP ۲۲۹
۳-۵- نتیجه‌گیری ۲۳۰
منابع ۲۳۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱. (a) کاشتنی‌های فلزی مورد استفاده در بدن، (b) مفصل مصنوعی زانو، (c) کاشتنی‌های دندانی. ۴

شکل ۱-۲. الگوی XRD محصولات دوفازی کلسیم فسفات کلسینه شده در دماهای مختلف [۲۵]. ۱۴

شکل ۱-۳. الگوی XRD نانوپودرهای HAP و TCP در pH های مختلف [۲۶]. ۱۵

شکل ۱-۴. نمودار بازده‌ی نانوپودرهای HAP و TCP به عنوان تابعی از pH محلول شامل مواد اولیه [۲۶]. ۱۵

شکل ۱-۵. شبکه‌ی بلوری هیدروکسی آپاتیت حاوی یون‌های Ca^{2+}، PO_4^{3-} و OH^- [۲۸]. ۱۶

شکل ۱-۶. نحوه‌ی اتصال یون‌های کلسیم در شبکه‌ی بلوری هیدروکسی آپاتیت [۲۸]. ۱۷

شکل ۱-۷. مقایسه‌ی فعالیت زیست‌تخریب پذیری HAP خالص و HAP دوپ شده با MgO و ZnO [۵۴]. ۲۳

شکل ۱-۸. تصاویر حاصل از میکروسکوپ نوری کامپوزیت هیدروکسی آپاتیت/پلی متیل متاکریلات تعبیه شده در جمجمه‌ی سگ پس از یک سال [۶۸]. ۲۸

شکل ۱-۹. شماتیکی از برهم‌کنش ممکن بین کیتوسان، نانولوله‌های کربنی عامل دارشده و هیدروکسی آپاتیت [۷۴]. ۲۹

شکل ۱-۱۰. الگوی XRD هیدروکسی آپاتیت تهیه شده به روش سونوشیمی در زمان‌های مختلف هم-زدن [۸۵]. ۳۱

شکل ۱-۱۱. الگوی XRD سرامیک کلسینه شده در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت [۸۹]. ۳۳

شکل ۱-۱۲. ساختار دندریمرهای استفاده شده در روش هیدروترمال برای تهیه نانومیله‌های HAP (a) ساختار با گروه کربوکسیلات و (b) ساختار با گروه هیدروکسی [۹۰]. ۳۵

شکل ۱-۱۳. تصاویر TEM نانومیله‌های HAP تهیه شده به روش هیدروترمال: (a) در غیاب دندریمر، (b) در حضور دندریمر دارای گروه‌های کربوکسیلات و (c) در حضور دندریمر دارای گروه‌های هیدروکسی [۹۰]. ۳۶

شکل ۱-۱۴. مکانیسم رشد بلورهای HAP در قطره‌ی ژلاتین [۹۱]. ۳۷

شکل ۱-۱۵. تصاویر TEM نانوبلورهای سوزنی شکل HAP تهیه شده با روش میکروامولسیون [۹۱]. ۳۷

شکل ۱-۱۶. تصاویر TEM نانومیله‌های HAP تهیه شده در حضور ترکیبات آلی مختلف و در غیاب آن‌ها [۹۲]. ۴۰

شکل ۱-۱۷. تصاویر TEM نانومیله‌های HAP تهیه شده در حضور ترکیبات آلی مختلف و در غیاب آن‌ها [۹۴]. ۴۲

شکل ۱-۱۸. واکنش کلی تهیه‌ی باز شیف. ۴۴

شکل ۱-۱۹. روش تهیه‌ی ترکیبات باز شیف. ۴۴

شکل ۱-۲۰. ساختار شیمیایی بازهای شیف سالن و ۳-متوکسی سالن. ۴۵

شکل ۲-۱. نحوه‌ی قرار گرفتن نمونه در محلول SBF. ۶۲

شکل ۳-۱. توتومری کتو-انول در لیگاند L1 (Hacacen). ۶۴

شکل ۳-۲. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L1 (Hacacen). ۶۵
شکل ۳-۳. طیف FTIR لیگاند L1 (Hacacen). ۶۶
شکل ۳-۴. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L2 (Hacacpn). ۶۷
شکل ۳-۵. طیف FTIR لیگاند L2 (Hacacpn). ۶۸
شکل ۳-۶. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L3. ۶۹
شکل ۳-۷. طیف FTIR لیگاند L3. ۷۰
شکل ۳-۸. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L4 (Hacacbn). ۷۱
شکل ۳-۹. طیف FTIR لیگاند L4 (Hacacbn). ۷۲
شکل ۳-۱۰. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L5. ۷۳ و ۷۴
شکل ۳-۱۱. طیف FTIR لیگاند L5. ۷۵
شکل ۳-۱۲. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L6. ۷۶
شکل ۳-۱۳. طیف FTIR لیگاند L6. ۷۶
شکل ۳-۱۴. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L7. ۷۷
شکل ۳-۱۵. طیف FTIR لیگاند L7. ۷۷
شکل ۳-۱۶. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L8. ۷۸
شکل ۳-۱۷. توتومری آمین-انامین در لیگاند L8. ۷۹
شکل ۳-۱۸. طیف FTIR لیگاند L8. ۷۹
شکل ۳-۱۹. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L9. ۸۰
شکل ۳-۲۰. طیف FTIR لیگاند L9. ۸۱
شکل ۳-۲۱. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L10. ۸۲
شکل ۳-۲۲. طیف FTIR لیگاند L10. ۸۳
شکل ۳-۲۳. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L11 (H_2salen). ۸۴
شکل ۳-۲۴. طیف FTIR لیگاند L11 (H_2salen). ۸۵
شکل ۳-۲۵. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L12 (H_2salophen). ۸۶
شکل ۳-۲۶. طیف FTIR لیگاند L12 (H_2salophen). ۸۷
شکل ۳-۲۷. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L13 (H_2salpn). ۸۷ و ۸۸
شکل ۳-۲۸. طیف FTIR لیگاند L13 (H_2salpn). ۸۹
شکل ۳-۲۹. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L14. ۸۹
شکل ۳-۳۰. طیف FTIR لیگاند L14. ۹۰
شکل ۳-۳۱. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L15 (H_2salbn). ۹۱ و ۹۲
شکل ۳-۳۲. طیف FTIR لیگاند L15 (salbn). ۹۳
شکل ۳-۳۳. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L16. ۹۳
شکل ۳-۳۴. طیف FTIR لیگاند L16. ۹۴
شکل ۳-۳۵. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L17. ۹۵
شکل ۳-۳۶. طیف FTIR لیگاند L17. ۹۶
شکل ۳-۳۷. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L18. ۹۶ و ۹۷
شکل ۳-۳۸. طیف FTIR لیگاند L18. ۹۸

شکل ۳-۳۹. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L19. ۹۹
شکل ۳-۴۰. طیف FTIR لیگاند L19. ۱۰۰
شکل ۳-۴۱. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L20. ۱۰۱
شکل ۳-۴۲. طیف FTIR لیگاند L20. ۱۰۲
شکل ۳-۴۳. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L21. ۱۰۳ و ۱۰۲
شکل ۳-۴۴. طیف FTIR لیگاند L21. ۱۰۴
شکل ۳-۴۵. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L22. ۱۰۵
شکل ۳-۴۶. طیف FTIR لیگاند L22. ۱۰۶
شکل ۳-۴۷. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L23. ۱۰۷ و ۱۰۶
شکل ۳-۴۸. طیف FTIR لیگاند L23. ۱۰۸
شکل ۳-۴۹. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L24. ۱۰۹
شکل ۳-۵۰. طیف FTIR لیگاند L24. ۱۱۰
شکل ۳-۵۱. طیف‌های ^{1}H-NMR لیگاند L25. ۱۱۱ و ۱۱۰
شکل ۳-۵۲. طیف FTIR لیگاند L25. ۱۱۲
شکل ۳-۵۳. طیف FTIR لیگاند L26. ۱۱۳
شکل ۳-۵۴. طیف ^{1}H-NMR لیگاند L27. ۱۱۴
شکل ۳-۵۵. طیف FTIR لیگاند L27. ۱۱۵
شکل ۳-۵۶. طیف ^{1}H-NMR لیگاند L28. ۱۱۶
شکل ۳-۵۷. طیف FTIR لیگاند L28. ۱۱۷
شکل ۳-۵۸. طیف ^{1}H-NMR لیگاند L29. ۱۱۸
شکل ۳-۵۹. طیف FTIR لیگاند L29. ۱۱۹
شکل ۳-۶۰. طیف FTIR لیگاند L30. ۱۱۹
شکل ۳-۶۱. طیف ^{1}H-NMR لیگاند L30. ۱۲۰
شکل ۳-۶۲. طیف ^{1}H-NMR لیگاند L31. ۱۲۱
شکل ۳-۶۳. طیف FTIR لیگاند L31. ۱۲۲
شکل ۳-۶۴. طیف ^{1}H-NMR لیگاند L32. ۱۲۳ و ۱۲۲
شکل ۳-۶۵. طیف FTIR لیگاند L32. ۱۲۴
شکل ۳-۶۶. ساختار ترکیبات باز شیف خانواده‌ی استیل استون و ایزومرهای آن‌ها. ۱۲۵
شکل ۳-۶۷. الگوهای XRD نانوساختارهای HAP1-8. (الگوی XRD نمونه‌ی HAP8 در ناحیه $5<2\theta<10$ در داخل شکل نشان داده شده است). ۱۲۷ و ۱۲۶
شکل ۳-۶۸. (a-d) تصاویر FE-SEM نانوساختارهای HAP1-8. ۱۳۲ و ۱۳۱
شکل ۳-۶۹. نمودار توزیع اندازه‌ی ذرات، قطر و طول نانوساختارهای HAP1-8. ۱۳۳
شکل ۳-۷۰. (a-h) تصاویر HR-TEM نانوساختارهای HAP1-8 (الگوهای SAED داخل تصاویر قرار گرفته است). ۱۳۵
شکل ۳-۷۱. تصاویر TEM نانوساختارهای HAP8. ۱۳۶
شکل ۳-۷۲. طیف‌های FTIR نانوساختارهای HAP1-8. ۱۳۸ و ۱۳۷
شکل ۳-۷۳. نمایش چهار ارتعاش فعال گروه PO_4^{3-} در IR [۱۰۸]. ۱۳۹

شکل ۳-۷۴. طیف EDS نانوساختار HAP8. ۱۴۱
شکل ۳-۷۵. نحوه‌ی اتصال بازهای شیف خانواده‌ی استیل استون به شکل لیگاند کی‌لیت شونده‌ی چهار دندانه. ۱۴۲
شکل ۳-۷۶. نحوه‌ی اتصال بازهای شیف خانواده‌ی استیل استون به شکل لیگاند کی‌لیت شونده‌ی دو دندانه. ۱۴۲
شکل ۳-۷۷. ساختار لیگاندهای L9 و L10 برپایه‌ی ۲-هیدروکسی بنزوفنون. ۱۴۴
شکل ۳-۷۸. الگوی XRD نانوساختارهای HAP9 و HAP10. ۱۴۵
شکل ۳-۷۹. (a, b) تصاویر FE-SEM و (c, d) تصاویر TEM نمونه‌های HAP9 و HAP10. ۱۴۶
شکل ۳-۸۰. طیف‌های FTIR نانوساختارهای HAP9 و HAP10. ۱۴۸
شکل ۳-۸۱. طیف‌های EDS نانوساختارهای HAP9 و HAP10. ۱۴۸
شکل ۳-۸۲. شیوه‌های احتمالی برای اتصال لیگاندهای L9 و L10 به صورت دودندانه و چهاردندانه به یون‌های Ca^{2+}. ۱۵۰
شکل ۳-۸۳. شماتیک رشد نانوساختارهای HAP8-HAP10 در حضور لیگاندهای L8-L10. ۱۵۰
شکل ۳-۸۴. ساختار لیگاندهای L11-18 برپایه‌ی سالیسیل آلدهید. ۱۵۱
شکل ۳-۸۵. الگوی XRD نانوساختارهای HAP14-16. ۱۵۳
شکل ۳-۸۶. (a-h) تصاویر FE-SEM نانوساختارهای HAP11-18. ۱۵۶ و ۱۵۵
شکل ۳-۸۷. تصاویر TEM و HR-TEM نانوساختارهای HAP14 (الگوی SAED در قسمت a قرار گرفته است). ۱۵۷
شکل ۳-۸۸. تصاویر TEM نانوساختارهای (a) HAP15 و (b) HAP16. ۱۵۸
شکل ۳-۸۹. طیف‌های EDS نانوساختارهای HAP14 و HAP15. ۱۵۹
شکل ۳-۹۰. طیف‌های FTIR نانوساختارهای HAP11-18. ۱۶۱ و ۱۶۰
شکل ۳-۹۱. طیف FTIR نانوساختار HAP18 تهیه شده در جو نیتروژن. ۱۶۲
شکل ۳-۹۲. الگوهای XRD نانوساختارهای HAP14-16 بعد از غوطه‌وری در SBF به مدت ۱۴ روز. ۱۶۳
شکل ۳-۹۳. طیف‌های ATR-FTIR (a) نانوذرات، (b) نانومیله‌ها و (c) نانوباندل‌ها بعد از غوطه‌وری در SBF به مدت ۱۴ روز. ۱۶۴
شکل ۳-۹۴. تصاویر SEM (a) نانوذرات، (b) نانومیله‌ها و (c) نانوباندل‌ها بعد از غوطه‌وری در SBF به مدت ۱۴ روز. ۱۶۶
شکل ۳-۹۵. نمودارهای غلظت (a) کلسیم و (b) فسفر محلول‌های SBF بر حسب زمان غوطه‌وری برای نانوساختارهای HAP. ۱۶۷
شکل ۳-۹۶. ساختار لیگاندهای L19-25 برپایه‌ی ۲-هیدروکسی استوفنون. ۱۶۸
شکل ۳-۹۷. الگوهای XRD نانوساختارهای HAP19، HAP21، HAP22. ۱۷۰
شکل ۳-۹۸. (a-g) تصاویر FE-SEM نانوساختارهای HAP19-25. ۱۷۳ و ۱۷۲
شکل ۳-۹۹. نمودار توزیع اندازه‌ی ذرات و قطر نانوساختارهای HAP19-25. ۱۷۴
شکل ۳-۱۰۰. تصاویر TEM نانوساختارهای (a) HAP19 و (b) HAP21. ۱۷۵
شکل ۳-۱۰۱. طیف‌های EDS نانوساختارهای HAP19، HAP23 و HAP24. ۱۷۶
شکل ۳-۱۰۲. طیف‌های FTIR نانوساختارهای HAP19-25. ۱۷۹ و ۱۷۸
شکل ۳-۱۰۳. نمودار BET بر اساس جذب یک تک لایه از مولکول‌های نیتروژن. ۱۸۰

شکل ۳-۱۰۴. ایزوترم جذب و واجذب در BET. ۱۸۲
شکل ۳-۱۰۵. انواع ایزوترم‌های جذب در BET [۱۲۹]. ۱۸۳
شکل ۳-۱۰۶. ایزوترم‌های جذب-واجذب نانوذرات HAP21 و نانوباندل‌های HAP22. ۱۸۴
شکل ۳-۱۰۷. نحوه‌ی اتصال بازهای شیف خانواده‌ی ۲-هیدروکسی استوفنون به یون‌های Ca^{2+}. ۱۸۶
شکل ۳-۱۰۸. ساختار لیگاندهای L26-32 برپایه‌ی ۲-هیدروکسی-۱-نفتالدهید. ۱۸۷
شکل ۳-۱۰۹. الگوهای XRD نانوساختارهای HAP27، HAP29، HAP30. ۱۸۹
شکل ۳-۱۱۰. (a-g) تصاویر FE-SEM نانوساختارهای HAP26-32. ۱۹۱ و ۱۹۰
شکل ۳-۱۱۱. (a, b) تصاویر TEM نانوذرات HAP27. ۱۹۲
شکل ۳-۱۱۲. طیف‌های FTIR نانوساختارهای HAP26-32. ۱۹۴ و ۱۹۳
شکل ۳-۱۱۳. (a, b) تصاویر SEM محصول آزمایش شاهد. ۱۹۶
شکل ۳-۱۱۴. (a-d) تصاویر TEM محصول آزمایش شاهد. ۱۹۷
شکل ۳-۱۱۵. الگوی XRD محصول آزمایش شاهد. ۱۹۸
شکل ۳-۱۱۶. طیف FTIR محصول آزمایش شاهد. ۱۹۸
شکل ۳-۱۱۷. ساختار پلیمرهای کیتین و کیتوسان. ۲۰۰
شکل ۳-۱۱۸. ساختار گرافن اکسید تهیه شده به روش هامر. ۲۰۲
شکل ۳-۱۱۹. تصاویر SEM (a, b) گرافن اکسید، (c) گرافیت و (d) گرافن [۱۰۲]. ۲۰۴
شکل ۳-۱۲۰. (a-d) تصاویر SEM نانوکامپوزیت CT/GO/HAP. ۲۰۵
شکل ۳-۱۲۱. (a-c) تصاویر TEM نانوکامپوزیت CT/GO/HAP. ۲۰۵
شکل ۳-۱۲۲. طیف EDS نانوکامپوزیت CT/GO/HAP. ۲۰۶
شکل ۳-۱۲۳. الگوی‌های XRD گرافن اکسید، کیتوسان، نانوذرات HAP و نانوکامپوزیت CT/GO/HAP. ۲۰۸
شکل ۳-۱۲۴. طیف‌های FTIR گرافن اکسید، کیتوسان، نانوذرات HAP و نانوکامپوزیت CT/GO/HAP. ۲۱۱
شکل ۳-۱۲۵. شماتیک تشکیل نانوکامپوزیت سه بعدی CT/GO/HAP. ۲۱۲
شکل ۳-۱۲۶. تصاویر SEM (e) و TEM (f) کامپوزیت کیتوسان/گرافن اکسید/نانو هیدروکسی آپاتیت تهیه شده به روش درجا [۱۶۱]. ۲۱۲
شکل ۳-۱۲۷. الگوی XRD نانوکامپوزیت CT/GO/HAP بعد از غوطه‌وری در SBF به مدت ۱۴ روز. ۲۱۴
شکل ۳-۱۲۸. طیف ATR-FTIR نانوکامپوزیت CT/GO/HAP بعد از غوطه‌وری در SBF به مدت ۱۴ روز. ۲۱۴
شکل ۳-۱۲۹. (a-d) تصاویر SEM نانوکامپوزیت CT/GO/HAP با بزرگنمایی‌های مختلف بعد از غوطه‌وری در SBF به مدت ۱۴ روز. ۲۱۵
شکل ۳-۱۳۰. نمودارهای غلظت (a) کلسیم و (b) فسفر محلول‌های SBF بر حسب زمان غوطه‌وری برای نانوکامپوزیت CT/GO/HAP و نانوذرات خالص HAP. ۲۱۶
شکل ۳-۱۳۱. منحنی‌های TGA/DTG (a) گرافن اکسید و (b) نانوکامپوزیت CT/GO/HAP. ۲۱۸
شکل ۳-۱۳۲. (a-c) تصاویر TEM نانوکامپوزیت PEG/GO/HAP. ۲۲۰
شکل ۳-۱۳۳. طیف EDS نانوکامپوزیت PEG/GO/HAP. ۲۲۱
شکل ۳-۱۳۴. الگوی‌های XRD گرافن اکسید، PEG، نانومیله‌های HAP و نانوکامپوزیت ۲۲۲

PEG/GO/HAP.
شکل ۳-۱۳۵. طیف‌های FTIR گرافن اکسید، پلی اتیلن گلیکول، نانومیله‌های HAP و نانوکامپوزیت PEG/GO/HAP. ۲۲۴
شکل ۳-۱۳۶. شماتیک تشکیل نانوکامپوزیت PEG/GO/HAP. ۲۲۵
شکل ۳-۱۳۷. الگوی XRD نانوکامپوزیت PEG/GO/HAP بعد از غوطه‌وری در SBF به مدت ۱۴ روز. ۲۲۶
شکل ۳-۱۳۸. طیف ATR-FTIR نانوکامپوزیت PEG/GO/HAP بعد از غوطه‌وری در SBF به مدت ۱۴ روز. ۲۲۶
شکل ۳-۱۳۹. (a-c) تصاویر SEM نانوکامپوزیت PEG/GO/HAP با بزرگنمایی‌های مختلف بعد از غوطه‌وری در SBF به مدت ۱۴ روز. ۲۲۷
شکل ۳-۱۴۰. نمودارهای غلظت (a) کلسیم و (b) فسفر محلول‌های SBF بر حسب زمان غوطه‌وری برای نانوکامپوزیت PEG/GO/HAP و نانومیله‌های خالص HAP. ۲۲۸
شکل ۳-۱۴۱. نمودارهای TGA/DTG نانوکامپوزیت PEG/GO/HAP تحت جو هوا. ۲۲۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱. انواع مواد زیستی، مزایا، معایب و کاربرد آن‌ها [۷]. ۵
جدول ۱-۲ انواع تماس بین بافت و سرامیک‌های زیستی [۲]. ۱۰
جدول ۱-۳. انواع کلسیم فسفات‌ها و خواص آن‌ها [۲۰و ۱۹]. ۱۲
جدول ۱-۴. مقایسه‌ی خواص مکانیکی هیدروکسی آپاتیت چگال و مینای دندان [۳۵]. ۱۹
جدول ۱-۵. مقایسه‌ی خواص مکانیکی چند ماده‌ی زیستی متداول [۳۸ و ۳۷]. ۱۹
جدول ۱-۶. ترکیب شیمیایی استخوان [۶۱]. ۲۶
جدول ۱-۷. خواص مکانیکی استخوان [۶۴ و ۶۳]. ۲۶
جدول ۱-۸. مقایسه‌ی اندازه‌ی ذرات نانوپودرهای HAP تهیه شده با استفاده از واکنشگرهای پوشاننده مختلف [۹۳]. ۴۱
جدول ۲-۱. وسایل و تجهیزات مورد استفاده در این پژوهش. ۴۷
جدول ۲-۲. مواد شیمیایی لازم برای تهیه‌ی ترکیبات باز شیف. ۴۹ و ۴۸
جدول ۲-۳. مواد شیمیایی لازم برای تهیه‌ی محلول SBF. ۵۰
جدول ۲-۴. روش‌های مورد استفاده جهت شناسایی نانوساختارها و کامپوزیت‌های HAP و کاربرد آن‌ها. ۵۲
جدول ۲-۵. ساختار شیمیایی و مواد اولیه برای تهیه‌ی کلیه‌ی ترکیبات باز شیف. ۵۳-۵۶
جدول ۲-۶. ترتیب و مقدار مواد شیمیایی لازم برای تهیه‌ی ۱۰۰۰ میلی‌لیتر محلول SBF [۱۰۴]. ۶۱
جدول ۳-۱. حالت فیزیکی، بازده و دی‌آمین‌های مورد استفاده در تهیه‌ی بازهای شیف استیل استون. ۶۴
جدول ۳-۲. حالت فیزیکی، بازده و دی‌آمین مورد استفاده در تهیه‌ی بازهای شیف ۲-هیدروکسی بنزوفنون. ۸۰
جدول ۳-۳. حالت فیزیکی، بازده و دی‌آمین‌های مورد استفاده در تهیه‌ی بازهای شیف سالیسیل آلدهید. ۸۲ و ۸۱
جدول ۳-۴. حالت فیزیکی، بازده و دی‌آمین‌های مورد استفاده در تهیه‌ی بازهای شیف ۲-هیدروکسی استوفنون. ۹۸
جدول ۳-۵. حالت فیزیکی، بازده و دی‌آمین‌های مورد استفاده در تهیه‌ی بازهای شیف ۲-هیدروکسی-۱-نفتالدهید. ۱۱۲
جدول ۳-۶. اندازه‌ی بلور، پارامترهای شبکه و حجم سلول واحد نانوساختارهای HAP1-8 ۱۲۹
جدول ۳-۷. نتایج BET نانوساختارهای HAP1، HAP2 و HAP5. ۱۴۰
جدول ۳-۸. اندازه‌ی ذرات و مورفولوژی نانوساختارهای HAP1-8 تهیه شده با ترکیبات استیل استون. ۱۴۴
جدول ۳-۹. اندازه‌ی ذرات و مورفولوژی نانوساختارهای HAP9-8 و HAP10 تهیه شده با ترکیبات ۲-هیدروکسی بنزوفنون. ۱۵۰
جدول ۳-۱۰. اندازه‌ی بلور، پارامترهای شبکه و حجم سلول واحد نانوساختارهای HAP14-16. ۱۵۲
جدول ۳-۱۱. اندازه‌ی ذرات و مورفولوژی نانوساختارهای HAP11-18 تهیه شده با ترکیبات سالیسیل آلدهید. ۱۶۸
جدول ۳-۱۲. اندازه‌ی بلور و پارامترهای شبکه‌ی نانوساختارهای HAP19، HAP21 و HAP22. ۱۷۱
جدول ۳-۱۳. نتایج BET نانوساختارهای HAP21 و HAP22. ۱۸۵
جدول ۳-۱۴. اندازه‌ی ذرات و مورفولوژی نانوساختارهای HAP19-25 تهیه شده با ترکیبات ۲- ۱۸۶

هیدروکسی استوفنون.
جدول ۳-۱۵. اندازه‌ی بلور و پارامترهای شبکه‌ی نانوساختارهای HAP27، HAP29 و HAP30. ۱۹۰
جدول ۳-۱۶. اندازه‌ی ذرات و مورفولوژی نانوساختارهای HAP26-32 تهیه شده با ترکیبات ۲- هیدروکسی-۱-نفتالدهید. ۱۹۵

۱- مقدمه

۱-۱- آشنایی با مواد زیستی

امروزه تعداد بیمارانی که برای ترمیم اعضاء، درمان بیماری‌ها و رفع نواقص اسکلت بدن خود نیاز به دریافت کاشتنی‌های زیست-پزشکی[1] دارند، به طور پیوسته در حال افزایش است. با توسعه‌ی بیش از پیش نیاز به کاشتنی‌هایی با طول عمر طولانی، افزایش پایداری کاشتنی از لحاظ استحکام و مقاومت در برابر خوردگی در محیط بدن مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است [۱]. نخستین خصوصیتی که کاشتنی‌ها را از بقیه مواد متمایز می‌کند سازگاری زیستی آن‌ها است. سازگاری زیستی[2] یا زیست‌سازگاری عبارت است از: توانایی یک ماده برای ایفای نقش در یک کاربرد ویژه و اجرای یک وظیفه‌ی خاص به گونه‌ای که توأم با دریافت پاسخ صحیح و مناسب از طرف بافت میزبان باشد. سازگاری زیستی به این معنی است که بافت بیمار در تماس با ماده زیست-پزشکی متحمل ناراحتی، سمیت، التهاب و تورم نگردد. ماده‌ای را می‌توان زیست‌سازگار نامید که در محیط زیستی (بیولوژیکی) کیفیت غیر مخرب داشته باشد. شایان ذکر است که این برهم‌کنش دو جانبه است. ماده ممکن است از طریقی تحت تأثیر محیط زیستی قرار گیرد و در عین حال محیط زیستی نیز ممکن است تحت اثر ماده واقع شود. بدیهی است که زیست‌سازگاری ضروریتی است که مواد زیستی باید علاوه بر شرایط و خواص لازم جهت اجرای نقش محول شده به آن‌ها داشته باشند. برای زیست‌سازگار بودن یک ماده‌ی زیست-پزشکی ضرورتی ندارد که آن ماده در بدن خنثی باشد (به این معنی که هیچ واکنشی نداشته باشد)، بلکه ماده‌ی زیست-پزشکی باید پاسخی فراهم سازد که هم مناسب موقعیت و هم مفید باشد. در طرف مقابل، مواد غیر زیست‌سازگار به موادی گفته می‌شود که موجب آزاد شدن مواد سمی در بدن می‌شوند و یا علیه آن‌ها آنتی ژن ترشح می‌شود [۳ و ۲].

---

[1] Biomedical Implants
[2] Biocompatibility

علاوه بر مواد زیست‌سازگار و غیر زیست‌سازگار، مواد زیست‌خنثی نیز وجود دارند که در بدن هیچ گونه عنصری را آزاد نمی‌سازند و برهم‌کنش مثبتی با بافت زنـده ندارنـد. از انـواع معمـول مـواد زیست‌خنثی می‌توان به تیتانیوم و آلیاژهای آن، سرامیک‌هایی نظیر آلومینا و زیرکونیا و برخی پلیمرها اشاره کرد. در مورد تیتانیوم و آلیاژهای آن اظهار نظرهای متفاوت وجود دارد. برخی محققان تیتانیوم را جزء مواد زیست‌فعال دسته‌بندی کرده‌اند، در حالی که بعضی منابع آن را زیست خنثی دانسـته‌انـد [۵ و ۴]. اگر تیتانیوم خالص بدون حضور لایه رویین از جنس تیتانیوم اکسـید در نظـر گرفتـه شـود، ماده‌ای زیست‌خنثی است و برهم‌کنشی با بافت میزبان ندارد ولـی از آنجـا کـه لایـه رویـین تیتـانیوم اکسید همواره و در هر محیطی که اندکی اکسیژن در آن وجود داشته باشد در کسری از ثانیه بر روی تیتانیوم تشکیل می‌شود موجب برهم‌کنش تیتانیوم با بافت اطراف شده و در نتیجه فعالیت زیستی از تیتانیوم مشاهده می‌گردد. دلیل اصلی وجود اختلاف نظر ذکر شده نیز آن است که در برخی مراجـع تیتانیوم بدون لایه رویین در نظر گرفته شده است [۶].

۱-۲- طبقه‌بندی مواد زیستی

به طور کلی، مواد زیستی بر اساس جنس آن‌ها به چهار دسته طبقه‌بندی می‌شوند [۷]:

۱. پلیمرها

۲. فلزات

۳. سرامیک‌ها

۴. کامپوزیت‌ها

مواد زیستی پلیمری کاربرد وسیعی در کاشتنی‌ها دارند، زیرا تهیه‌ی این مواد به شکل رشته، فیلم، میله و مایعات ویسکوز به آسانی صورت مـی‌گیـرد. بـرای اولـین بـار، از پلیمـر هیـدروژل پلـی هیدروکسی اتیل متاکریلات به عنوان عدسی چشمی استفاده شد که قادر بود بیشتر از ۳۰ درصد وزن خود آب جذب کند. پس از آن، استفاده از پلی اتیلن، پلی پروپیلن، پلی متیل آکریلات و پلـی متیـل

متاآکریلات‌ها در کاشتنی‌های استخوانی، مفصل مصنوعی، دندان‌های مصنوعی و سیمان استخوانی مورد توجه قرار گرفت [۸].

فلزات در شکل‌ها و انواع مختلفی برای تهیه‌ی مواد زیستی به کار می‌روند. اولین فلزی که برای ساخت صفحه‌ها و پیچ‌های شکسته‌بندی استفاده شد فولاد وانادیم‌دار شرمن[1] بود. فلزاتی که برای تهیه‌ی کاشتنی‌ها مصرف می‌شوند اغلب از جنس کبالت، نیکل، کروم، تیتانیم، آهن و آلیاژهای آن‌ها هستند. زیست‌سازگاری فلزات کاشتنی مهمترین جنبه‌ی قابل توجه آن‌ها محسوب می‌شود، زیرا امکان خوردگی آن‌ها در محیط بدن وجود دارد. نتیجه‌ی فرآیند خوردگی موجب از دست رفتن و تضعیف کاشتنی می‌گردد. از سویی دیگر، مواد آزاد شده در اثر خوردگی می‌تواند باعث سمیت در بدن شود. بنابراین انتخاب کاشتنی‌های فلزی با توجه به کاربرد آن‌ها باید مورد توجه قرار بگیرد [۹].

ملقمه[2] آلیاژی است که به عنوان ماده پرکننده‌ی دندان استفاده می‌شود. یکی از اجزای ملقمه جیوه است که در دمای اتاق به صورت مایع است و می‌تواند با فلزات دیگری مثل نقره و قلع واکنش داده و یک توده‌ی خمیری تشکیل دهد. خمیر شکل‌پذیر پس از جاگذاری در حفره‌ی دندان با گذشت زمان سفت می‌شود و بدین ترتیب فرآیند پرکردن دندان صورت می‌گیرد.

سرامیک‌ها ترکیبات دیرگداز بلورین هستند که شامل ترکیبات معدنی مانند سیلیکات‌ها، اکسیدهای فلزی، کاربیدها و غیره هستند [۲ و ۱]. کلسیم فسفات‌ها دسته‌ی مهمی از مواد زیستی سرامیکی هستند که در ادامه بیشتر به انواع، خصوصیات و روش‌های تهیه آن‌ها پرداخته خواهد شد. شیشه-سرامیک‌ها به عنوان سرامیک‌های چندبلور[3] شناخته می‌شوند. این دسته از مواد برپایه‌ی سیلیس قرار گرفته‌اند که اکسید سایر فلزات مانند کلسیم اکسید، منیزیم اکسید و حتی مقادیر کمی

[1] Sherman Vanadium Steel
[2] Amalgam
[3] Polycrystalline