وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشکده علوم پایه

گروه شیمی

نانوکامپوزیت‌های هیبریدی پلیمرهای طبیعی– سنتزی زیست سازگار با استفاده از هیدروکسی آپاتیت

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی شیمی
گرایش آلی

سیده ساجده علوی وثوقی

استاد راهنما:
دکتر حسین ایمانیه

استاد مشاور:
دکتر نعمت الله غیبی

بهمن ۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم

تقدیم به مهربان فرشتگانی که؛

لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست

پدر و مادرم، آنکه آفتاب مهرش در آستانه قلبم، همچنان پابرجاست و هرگز غروب نخواهد کرد.

همسرم، اسطوره زندگیم، پناه خستگی و امید بودنم.

تقدیر و تشکر

معبودا هیچ کس شکرت را به جا نیاورد

چرا که بر هر شکری که کند، آن هم احسان توست و شکری دگر بر او لازم آید.

برخود لازم می دانم از تمامی کسانی که در انجام این پژوهش به طرق مختلف مرا یاری رساندند سپاسگذاری نمایم:

استاد بزرگوار جناب آقای دکتر حسین ایمانیه که انجام این مهم، مرهون راهنمایی ها و حمایت های بی دریغشان بود.

استاد گرانقدر جناب آقای دکتر نعمت اله غیبی که در پیشبرد این پروژه از هیچ تلاشی فروگذار ننمودند.

همچنین بدینوسیله مراتب سپاس خود را نسبت به کلیه اساتید گروه شیمی و نیز دوستان عزیزم، اعلام می دارم.

بسمه تعالی

دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)
معاونت آموزشی دانشگاه- مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهد نامه اصالت پایان نامه

اینجانب**سیده ساجده علوی وثوقی**دانشجوی رشته **شیمی آلی**مقطع تحصیلی **کارشناسی ارشد**بدین وسیله اصالت کلیه مطالب موجود در مباحث مطروحه در پایان نامه / تز تحصیلی خود، با عنوان**نانوکامپوزیت‌های هیبریدی پلیمرهای طبیعی– سنتزی زیست سازگار با استفاده از هیدروکسی آپاتیت**را تأیید کرده، اعلام می نمایم که تمامی محتوی آن حاصل مطالعه ، پژوهش و تدوین خودم بوده و به هیچ وجه رونویسی از پایان نامه و یا هیچ اثر یا منبع دیگری، اعم از داخلی، خارجی و یا بین المللی، نبوده و تعهد می نمایم در صورت اثبات عدم اصالت آن و یا احراز عدم صحت مفاد ویا لوازم این تعهد نامه در هر مرحله از مراحل منتهی به فارغ التحصیلی و یا پس از آن و یا تحصیل در مقاطع دیگر و یا اشتغال و ... دانشگاه حق دارد ضمن رد پایان نامه نسبت به لغو و ابطال مدرک تحصیلی مربوطه اقدام نماید. مضافاً اینکه کلیه مسئولیت ها و پیامدهای قانونی و یا خسارت وارده از هر حیث متوجه اینجانب می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو

امضاء و تاریخ

چکیده:

داربست‌ها در مهندسی بافت از اجزای اصلی مورد استفاده جهت ترمیم و بازسازی بافت‌های آسیب دیده هستند. این داربست‌ها باید دارای خصوصیات شیمیایی، ریخت شناختی، زیست شناختی و مکانیکی ویژه‌ای باشند تا عملکرد مطلوب داشته باشند. در راستای نزدیک شدن به ساختار طبیعی استخوان و بهره‌گیری از خصوصیات نانوفناوری، امروزه محققین به ساخت داربست‌های نانوکامپوزیتی روی آورده‌اند. هدف از انجام این پروژه ساخت داربست‌های نانوکامپوزیتی از جنس کلاژن، پلی‌وینیل‌الکل و فلوئوروهیدروکسی‌آپاتیت و بررسی خواص آن بوده است. وجود فاز غیر آلی زیست فعال مانند هیدروکسی آپاتیت فلوئوردار شده از تخریب سریع اسیدی پلیمرها جلوگیری کرده و علاوه بر آن با ایجاد یک زبری نانو یا میکرو سطحی اجازه می‌دهد، کامپوزیت با بافت استخوانی اطراف خود واکنش دهد. در این پروژه با استفاده در درصدهای مختلف از اجزاء کامپوزیت،۳۰ تا ۵۰ درصد کلاژن، ۳۰ تا ۶۰ درصد پلی‌وینیل‌الکل و ۱۰ تا ۳۰ درصد برای فلوئوروهیدروکسی آپاتیت استفاده شد و به بررسی استحکام فشاری، میزان تخلخل و چگالی آن پرداخته شد. برای این منظور ابتدا نانوفلوئوروهیدروکسی آپاتیت به روش چرخه pH سنتز و به وسیله FTIR، XRD، SEM،TGAمشخصه‌یابی گردید. مخلوط‌های نانو کامپوزیتی تهیه شده به روش انجمادی در دمای $-55\ ^{\circ}C$ و فشار ۰/۰۳ mbar خشک شدند. داربست‌های تولید شده در محلول ۱٪ گلوتارآلدهید به منظور افزایش استحکام مکانیکی و کاهش حلالیت و تخریب پذیری، شبکه‌ای شده‌اند. ساخت داربست به روش خشک‌سازی انجمادی باعث ایجاد ساختاری با تخلخل‌های در حدود ۱۵۰ تا ۳۰۰ میکرومتر با اندازه‌های به نسبت یکسان و مرتبط به یکدیگر شد. پیوندها و تخلخل داربست‌های نانوکامپوزینی مورد نظر توسط FTIR، SEM مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین خواص مکانیکی شامل استحکام فشاری، میزان چگالی و تخلخل توسط طراحی D-Optimal بهینه شدند.

فهرست مطالب

عنوان شماره صفحه

فصل اول: مقدمه و تئوری

بخش ۱: مهندسی بافت

۱-۱-مهندسی بافت ۳

۱-۱-۱-مقدمه ۳

۱-۱-۲-بافت استخوان ۳

۱-۱-۳-مهندسی بافت ۱۰

۱-۱-۴-مهندسی بافت استخوان ۱۲

۱-۱-۵- مواد مصنوعی مورد استفاده در مهندسی بافت استخوان ۱۴

۱-۱-۵-۱-سرامیک‌ها ۱۵

۱-۱-۵-۲-پلیمرها ۱۷

۱-۱-۶-روش‌های ساخت داربست مورد استفاده درمهندسی بافت استخوان ۱۸

۱-۱-۶-۱-تبخیر حلال و شستشو ذرات ۱۸

۱-۱-۶-۲-فرایندهای لایه چینی ۱۹

۱-۱-۶-۳-جدایش فازی از طریق القای گرما ۲۰

۱-۱-۶-۴-خشک شدن تبریدی امولسیونی ۲۲

۱-۱-۶-۵-استفاده از دی اکسید کربن تحت فشار ۲۳

۱-۱-۶-۶-استفاده از عوامل ایجاد کننده فوم ۲۳

بخش ۲: داربست کامپوزیتی کلاژن-پلی وینیل الکل- فلوئوروهیدروکسی آپاتیت

۱-۲-۱-اهمیت داربست‌های کامپوزیتی ۲۴

۱-۲-۲-ویژگی کامپوزیت سه جزئی کلاژن-پلی وینیل الکل-فلوئوروهیدروکسی آپاتیت ۲۵

۱-۲-۲-۱-ویژگی اجزاء ۲۶

۱-۲-۲-۱-۱-کلاژن ۲۶

۱-۲-۲-۱-۲-پلی وینیل الکل ۲۸

۱-۲-۲-۱-۳-فلوئوروهیدروکسی آپاتیت ۲۹

بخش ۳:روش طراحی آزمایش وکاربردشان درطراحی و سنجش آزمایشات

۱-۳-۱-طراحی آزمایش ۳۰

۱-۳-۲-بررسی عوامل ۳۱

۱-۳-۳-دستاوردهای طراحی آزمایش ۳۳

۱-۳-۴-کاربردهای طراحی آزمایش ۳۳

۱-۳-۵-روش طراحی مخلوط ۳۵

۱-۳-۵-۱-روش های طراحی مخلوط ۳۶

۱-۳-۵-۲-معرفی مقادیر Fو Pدر طراحی آزمایش ۳۶

۱-۳-۵-۳-نحوه ی انتخاب معادله ی مناسب برای بررسی داده‌های حاصل از واکنش ۳۸

فصل دوم: تجربی

۲-۱-سنتز هیدروکسی آپاتیت ۴۲

۲-۲-سنتز فلوئوروهیدروکسی آپاتیت ۴۵

۲-۳-ساخت داربست نانوکامپوزیتی کلاژن-پلی وینیل الکل-فلوئوروهیدروکسی آپاتیت با استفاده از روش طراحی آزمایش ۴۹

۲-۳-۱-مقدمه ۴۹

۲-۳-۲-طراحی آزمایش ۴۹

۲-۳-۳-تهیه مخلوط همگن از اجزاء نانوکامپوزیت ۵۰
۲-۳-۴-خشک کن انجمادی ۵۱
۲-۳-۵-ایجاد اتصالات عرضی بین زنجیرهای پلیمری به منظور افزایش استحکام و کاهش حلالیت داربست‌های نانوکامپوزیتی ۵۳

فصل سوم: نتایج

۳-۱-نتایج مربوط به پودر هیدروکسی آپاتیت سنتز شده
۳-۱-۱-طیف سنجی فروسرخ ۵۶
۳-۱-۲-تست پراش اشعه الکترونی ۵۷
۳-۱-۳-تست میکروسکوپ الکترونی ۵۸
۳-۱-۴-محاسبه نسبت مولی کلسیم به فسفر در هیدروکسی آپاتیت سنتز شده ۵۹
۳-۱-۵-تجزیه حرارتی هیدروکسی آپاتیت ۵۹
۳-۲-نتایج مربوط به پودر فلوئوروهیدروکسی آپاتیت سنتز شده ۶۰
۳-۲-۱-الکترود انتخابگر فلوئور ۶۰
۳-۲-۲-طیف سنجی فروسرخ ۶۱
۳-۲-۳-تست پراش اشعه الکترونی ۶۲
۳-۲-۴-تست میکروسکوپ الکترونی ۶۳
۳-۲-۵-محاسبه نسبت کلسیم به فسفر در فلوئوروهیدروکسی آپاتیت سنتز شده ۶۴
۳-۲-۶-تجزیه حرارتی فلوئوروهیدروکسی آپاتیت ۶۴
۳-۳-نتایج مربوط به داربست کامپوزیتی کلاژن-پلی وینیل الکل-فلوئوروهیدروکسی آپاتیت ۶۵
۳-۳-۱- میزان تخلخل ۶۵
۳-۳-۲-میزان چگالی ۷۰
۳-۳-۳-مطالعه رفتار مکانیکی داربست نانوکامپوزیتی ۷۳
۳-۳-۴-بهینه سازی نتایج حاصل از روش طراحی آزمایش در استحکام فشاری، چگالی و تخلخل در داربست نانوکامپوزیتی سنتز شده ۷۶
۳-۳-۵-بررسی اندازه و شکل حفره‌ها ۷۶

۳-۳-۶-بررسی استحکام فشاری نانوکامپوزیت بهینه شده ۷۹
۳-۳-۷-بررسی دمای انجماد ۸۱
۳-۳-۸-بررسی طیف مادون قرمز داربست نانوکامپوزیتی ۸۲
۳-۳-۸-۱-طیف مادون قرمز کلاژن ۸۲
۳-۳-۸-۲-طیف مادون قرمز پلی وینیل الکل ۸۳
۳-۳-۸-۳-طیف مادون قرمز نانوکامپوزیت کلاژن-پلی وینیل الکل-فلوروهیدروکسی آپاتیت ۸۵

فصل چهارم: بحث نتیجه گیری

۴-بحث و نتیجه گیری ۸۸

منابع ۹۲

فهرست جداول

جدول ۱-۱- ترکیبات تشکیل دهنده استخوان ۸

جدول ۱-۲-اسیدهای آمینه موجود در کلاژن نوع یک ۲۸

جدول ۲-۱- روش‌های متداول سنتز پودر نانوبلورHAبه همراه اندازه دانه قابل حصول در این روش‌ها و ویژگی‌های آنها ۴۲

جدول۲-۲-مقدار مواد اولیه استفاده شده برحسب Ca/P ۴۳

جدول ۲-۳- بازه تغییرات درصد کلاژن، پلی وینیل الکل و فلوئوروهیدروکسی آپاتیت در روش طراحی آزمایش ۵۰

جدول ۲-۴-ترکیب درصد مواد موجود در آزمایش‌های طراحی شده به کمک روش طراحی آزمایش ۵۰

جدول ۳-۱-پیوندها و اعداد موجی مرتبط به آنها در آزمون طیف سنجی فروسرخ پودر نانو هیدروکسی آپاتیت سنتزی ۵۶

جدول ۳-۲-مقدار فلوئور اندازه گیری شده توسط الکترود انتخابگر فلور و مقدار Xدر فرمول شیمیایی FHA ۶۰

جدول ۳-۳-پیوندها و اعداد موجی مرتبط به آنها در آزمون طیف سنجی فروسرخ پودر نانوفلوئوروهیدروکسی آپاتیت سنتزی ۶۱

جدول ۳-۴-بررسی مشخصات ساختاری نانوکامپوزیت‌های ساخته شده به روش طراحی آزمایش ۶۸

جدول ۳-۵-آنالیز جدول متغیرات برای میزان تخلخل به عنوان پاسخ ۶۹

جدول ۳-۶- آنالیز جدول متغیرات برای میزان چگالی به عنوان پاسخ ۷۲

جدول ۳-۷-آنالیز جدول متغیرات برای میزان استحکام فشاری به عنوان پاسخ ۷۴

جدول ۳-۸-مقادیر بهینه تعریف شده از مواد موجود در مخلوط به روش DOE ۷۶

جدول ۳-۹-مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده خواص بهینه مورد ارزیابی ۷۶

جدول ۳-۱۰-پیوند ها و اعداد موجی مرتبط به آنها در آزمون طیف سنجی فروسرخ کلاژن ۸۲

جدول ۳-۱۱-پیوندها و اعداد موجی مرتبط به آنها در آزمون طیف سنجی فروسرخ پلی وینیل الکل ۸۴

جدول ۳-۱۲-پیوندها و اعداد موجی مرتبط به آنها در آزمون طیف سنجی فروسرخ نانوکامپوزیت کلاژن- پلی وینیل الکل- فلوروهیدروکسی آپاتیت ۸۵

جدول ۴-۱-خصوصیات مکانیکی استخوان طبیعی ۸۹

فهرست شکل‌ها

شکل۱-۱-نمایش بافت متراکم و اسفنجی استخوان ۶

شکل ۱-۲-ساختار بافت استخوانی متراکم ۶

شکل ۱-۳-اجزای بافت استخوان ۸

شکل ۱-۴-نحوه قرار گیری ذرات هیدروکسی آپاتیت و کلاژن ۹

شکل ۱-۵-ساختار بلورین هیدروکسی آپاتیت به صورت سه بعدی و تصویر شده بر قاعده ۱۶

شکل۱-۶-تصویر شمایی روش تبخیر حلال و شستشوی ذرات ۱۹

شکل۱-۷-نمایش روش لایه‌چینی به صورت شمایی ۲۰

شکل۱-۸-نمودار فاز دماغلظت پلیمر ۲۱

شکل۱-۹-روند شمایی ساخت داربست به روش جدایش فازی ۲۱

شکل ۱-۱۰-روند شمایی ساخت داربست متخلخل از جنس پلیمر PLGAبه روش تبریدی امولوسیونی ۲۲

شکل۱-۱۱-روند شمایی ساخت داربست با استفاده از عوامل ایجاد کننده فوم ۲۴

شکل۱-۱۲- تصویر شمایی از ساختار تار کلاژن نوع یک ۲۷

شکل۱-۱۳-تصویر شمایی فضای دو بعدی از ترکیب سه تایی مواد بدون اعمال محدودیت بیشینه و کمینه و با اعمال این محدودیت‌ها ۳۵

شکل۲-۱-نمودار جریان کار سنتز پودر نانوبلور هیدروکسی آپاتیت ۴۴

شکل۲-۲-تصویر ظرف واکنش مورد استفاده برای سنتز پودر و پودر سنتز شده ۴۷

شکل۲-۳-نمودار جریان کار سنتز پودر نانوکریستالی فلوئوروهیدروکسی آپاتیت ۴۸

شکل۲-۴-نمودار تغییرات فاز فشار-دما (نقطه سه گانه) ۵۲

شکل۲-۵-نمودار تغییر حالت آب بر حسب دما و فشار ۵۳

شکل۲-۶-نحوه ایجاد اتصالات بین زنجیره‌ای در شبکه کلاژن توسط گلوتارآلدهید ۵۴

شکل۳-۱-طیف فروسرخ نانوهیدروکسی آپاتیت ۵۷

شکل۳-۲-طیف XRD هیدروکسی آپاتیت ۵۷

شکل۳-۳-تصویر میکروسکوپ الکترونی هیدروکسی آپاتیت ۵۸

شکل ۳-۴-طیف فروسرخ نانو فلوئوروهیدروکسی آپاتیت ۶۲

شکل۳-۵-طیف XRD فلوئوروهیدروکسی آپاتیت ۶۳

شکل ۳-۶- تصویر میکروسکوپ الکترونی فلوئوروهیدروکسی آپاتیت ۶۴

شکل ۳-۷-تجزیه حرارتی هیدروکسی آپاتیت و فلوئوروهیدروکسی آپاتیت ۶۵
شکل ۳-۸-نمایش تصویر سه بعدی از سطح پاسخگویی واکنش های طراحی شده نسبت به میزان تخلخل در نانوکامپوزیت در دو زاویه مختلف ۶۹
شکل ۳-۹- نمودار رابطه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای میزان تخلخل بوسیله طراحی آزمایش ۷۰
شکل ۳-۱۰-نمایش تصویر سه بعدی از سطح پاسخگویی واکنش‌های طراحی شده نسبت به میزان چگالی درنانوکامپوزیت در دو زاویه مختلف ۷۲
شکل ۳-۱۱- نمودار رابطه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای میزان چگالی بوسیله طراحی آزمایش ۷۳
شکل ۳-۱۲-نمایش تصویر سه‌بعدی از سطح پاسخگویی واکنش‌های طراحی شده نسبت به میزان استحکام فشاری در نانوکامپوزیت دردوزاویه مختلف ۷۵
شکل ۳-۱۳- نمودار رابطه بین مقادیر واقعی و پیشبینی شده برای میزان استحکام فشاری بوسیله طراحی آزمایش ۷۵
شکل۳-۱۴-نحوه ایجاد حفرات بصورت شمایی در فرایند خشک سازی انجمادی ۷۷
شکل۳-۱۵-تصویر SEM مربوط به داربست الف)مقطع فوقانی ب)مقطع جانبی ۷۸
شکل۳-۱۶-تصویر میکروسکوپ نوری در مقطع جانبی ۷۹
شکل۳-۱۷-نمودار تنش-کرنش نانوکامپوزیت بهینه شده ۸۰
شکل ۳-۱۸-تصویر داربست منجمد شده در منفی ۲۲ درجه، الف) عکس میکروسکوپ الکترونی ب)عکس میکروسکوپ نوری ۸۱
شکل ۳-۱۹-طیف فروسرخ کلاژن ۸۳
شکل ۳-۲۰-طیف فروسرخ پلی وینیل الکل ۸۴
شکل۳-۲۱-طیف فروسرخ نانوکامپوزیت کلاژن- پلی وینیل الکل- فلوئوروهیدروکسی آپاتیت ۸۶
شکل ۴-۱ نمودار تنش-کرنش مربوط به استخوان فشرده انسان ۸۹

فصل اول

مقدمه و تئوری

بخش ۱:

مهندسی بافت

۱-۱-مهندسی بافت

۱-۱-۱-مقدمه

مهندسی بافت حوزه چندگانه‌ای از دانش است که قصد دارد اصولمهندسی و علوم زیستی را در جهت گسترش جایگزین‌های زیست شناختی با هدف بازسازی بافت به کار گیرد.محققان امیدوارند با به کارگیری علوم مختلف از جمله فیزیک، شیمی، علم مواد، علوم زیستی و دارویی بتوانند به این هدف نایل آیند. هر بافتی از یک شبکه منظم و دسته‌ای از سلول‌ها تشکیل شده است. شبکه مذکور یک داربست سه بعدی برای سلول‌هاست که امکان رشد سلول‌ها را در محیطی مناسب فراهم می‌کند. همچنین شبکه به عنوان منبعی برای تامین آب، مواد غذایی و فاکتورهای رشد برای سلول‌ها عمل می‌کند. بنابراین به منظور بازسازی و حفظ بافت، جایگزینی موقتی جهت تکثیر سلولی و ایجاد شبکه بین مولکولی تا شکل‌گیری بافت اصلی نیاز است. علاوه بر این داربست باید محیطی مناسب برای رگ‌زایی بافت جدید شکل گرفته باشد. بنابراین یک داربست سه بعدی با خصوصیات مناسب یک ضرورت جدی در مهندسی بافت شناخته می‌شود[1].

۱-۱-۲-بافت استخوان

دستگاه حرکتی مهره‌داران از دو بخش مجزا تشکیل شده است؛ بخش عضلانی که دارای انعطاف پذیری بالا و مسئول ایجاد انرژی جنبشی لازم جهت حرکت بخش‌های مختلف بدن است و بخش اسکلتی و استخوانی، که برعکس دارای انعطاف‌پذیری فوق‌العاده محدود و مسئول ایجاد تکیه‌گاهی برای عضلات بدن است تا به این ترتیب تحرک لازم در بخش‌های مختلف بدن ایجاد شود. به دلیل متحرک بودن اکثر بخش‌های بدن انسان حجم قابل توجهی از مجموعه بدن انسان به این بخش اختصاص داده شده است[2].چنین حجم قابل توجهی و این حقیقت که تمام بخش‌های قابل لمس

بدن انسان (بجز حفره شکمی) دارای نماینده‌ای از این بافت استخوانی در مجاورت خویش هستند، این مجموعه را تا حدی آسیب پذیر می‌کند. با توجه به این موضوع در سال‌های اخیر حجم مطالعات و سرمایه گذاری‌های صورت گرفته در بخش استخوان و بافت‌های استخوانی جهت درمان و پیشگیری به صورت چشمگیری افزایش یافته است. انتشار مقالات و پژوهش‌های متعدد در مجلات معتبر، ابداع روش‌های جدید درمان و رفع ضایعات استخوانی، سمینارها و کنفرانس‌های متعدد در سرتاسر جهان نیز گویای این مطلب است.

استخوان سخت‌ترین جزء بدن، بافتی دینامیک با قابلیت منحصر به فرد در زمینه ترمیم و بهبود و دارای توانایی بازآرایی بر اساس مقدار و جهت تنش‌های وارده به خویش است. سلول‌های زنده تنها ۱ درصد از حجم استخوان را تشکیل می‌دهند[3].ولی با این وجود، بافت استخوان دارای شبکه ظریفی از مویرگ‌ها و عروق خونی بوده و در استحکام مکانیکی بالا، ترکیبی غیر معمول از استحکام فشاری و برشی قابل توجهی را به نمایش می‌گذارد.

مهمترین وظایف بافت استخوانی عبارتند از:

۱. تکیه گاهی برای بافتهای نرم و عضلانی و فراهم نمودن امکان تحرک بخش‌های مختلف بدن.

۲. ایفای نقش پوشش و لایه مستحکم در قسمت‌هایی از بدن نظیر لگن خاصره و جمجمه برای حفاظت از اعضای درونی خود.

۳. منبع ذخیره کلسیم.

۴. به عنوان اصلی‌ترین منبع خون سازی در بدن (بعد از تولد مغز استخوان[1]).

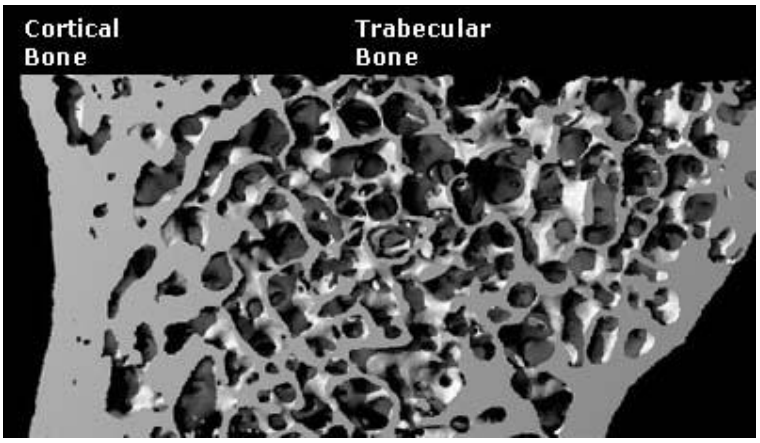
اجزاء سلولی استخوان به منظور فعال‌شدن و کنترل متابولیسم استخوان ضروری هستند و تشکیل استخوان توسط فعالیت‌های هماهنگ چند سلولی انجام می‌گردد[2].این سلول‌ها شامل استئوسیت‌ها[2]، استئوبلاست‌ها[3]، استئوکلاست‌ها[4] می‌باشند. استئوسیت‌ها ستاره‌ای شکل هستند و برای جلوگیری از مرگ سلولی، استئوسیت‌ها توسط زواید بسیارظریف سیتوپلاسمی به یکدیگر مرتبط هستند.

[1] Bone marrow
[2] Osteocyte
[3] Osteoblasts
[4] Osteoclasts

استئوسیت‌ها درنواحی عمیق یا پیر بافت استخوانی قرار دارند. تا زمانی که صدمه ای به استخوان وارد نشود،تقسیم نمی‌شوند. با ایجاد ضایعه، تقسیمات سلول‌ها آغازمی‌شود. تعدادی از آنها به صورت استئوبلاست، ماده زمینه‌ای بی‌شکل را می‌سازند و برخی دیگر به صورت سلول‌ها یا جداد یا ستخوان باقی می‌مانند. استئوبلاست‌ها درمحلی که فعالیت سازندگی زیاد است فراوانند. این سلوله ابا وجود آنزیم فسفاتاز قلیایی، قادرند ماده زمینه ای بسازند و به همین دلیل سلول‌های سازنده خوانده می‌شوند. استئوکلاست‌ها مسئول تجزیه ماده زمینه استخوان درهنگام استخوان‌سازی هستند. نقش استئوکلاست-ها عکس استئوبلاست است و به همین دلیل سلول‌های مخرب نامیده می‌شوند. این سلول‌ها، ابتدا ماده زمینه‌ایب ی‌شکل و سپس کلاژن را تجزیه می کنند.

در بدن دو نوع بافت استخوانی وجود دارند: بافت استخوانی متراکم[1]و بافت استخوانی اسفنجی[2](شکل۱-۱).بافت استخوانی متراکم بسیار سخت بوده و در استخوان‌های پهن یا در تنه استخوان‌های دراز و یا به صورت لایه‌ای روی قسمت اسفنجی استخوان‌ها کشیده شده است.

از نظر ریزساختار بافت متراکم از مجموعه سیستم‌های هاورس[3] تشکیل شده است و در مرکز سیستم هاورس مجرای وسیع کانال هاورسین که حاوی رشته‌های عصبی و عروق مربوط به استخوان است وجود دارد. دورادور این مجرا تیغه‌های استخوانی به صورت لایه‌های هلالی شکل گرفته‌اند. این حفرات بصورت مجرای کوچکی به مجرای مرکزی هاورس مربوط می‌شوند. (شکل ۱-۲)



[1] Compact
[2] Trabecular
[3] Haversian