

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# کاربردهای زیستی نانومواد

ایمپلنت‌ها، مهندسی بافت و زیست سازگاری

جلد سوم

علی اکبر صبوری  
حسین درخشان خواه  
لقمان علایی



شماره مسلسل ۸۶۳۸

شماره انتشار ۳۶۷۸

### انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه	: صبوری، علی اکبر، ۱۳۳۹-
عنوان و نام پدیدآور	: کاربردهای زیستی نانو مواد / علی اکبر صبوری؛ حسین درخشان-خواه، لقمان علایی.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	: ۳ ج.: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره انتشار ۳۶۷۸.
شابک جلد سوم	: 978-964-03-6866-4
شابک دوره	: 978-964-03-6869-5
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه.
مندرجات	: ج. ۱. مبانی، شیمی و ساختار نانومواد. ج. ۲. دارورسانی، ژن درمانی و تصویربرداری پزشکی. ج. ۳. ایمپلنت‌ها، مهندسی بافت و زیست‌سازگاری. نانوتکنولوژی زیستی.
موضوع	: تکنولوژی زیست پزشکی
موضوع	: تکنولوژی زیستی دارویی
موضوع	: مواد نانوساختار - - مصارف درمانی
موضوع	: مواد نانوساختار.
شناسه افزوده	: درخشان خواه، حسین، ۱۳۶۳-
شناسه افزوده	: علایی، لقمان، ۱۳۶۳-
شناسه افزوده	: دانشگاه تهران. مؤسسه انتشارات
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۴ ۲ ص ۲۳ / ن ۲۴۸ / ۲۵ TP
رده‌بندی دیویی	: ۶۶۰/۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۰۳۷۵۷۲

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf، لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود.

ISBN:978-964-03-6866-4



9 789640 368664

عنوان: کاربردهای زیستی نانومواد؛ جلد سوم: ایمپلنت‌ها، مهندسی بافت و زیست‌سازگاری

تألیف: علی اکبر صبوری- حسین درخشان-خواه- لقمان علایی

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: ۱۳۹۴

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مؤلفان است»

«کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است»

بها: ۱۶۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرش فرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

پست الکترونیک: press@ut.ac.ir - تارنما: http://press.ut.ac.ir

پخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲

## فهرست مطالب

پیش‌گفتار .....	ر
فصل بیست و یکم: نانوپروب‌ها و تصویربرداری RNA در سلول‌های زنده .....	۱
۲۱-۱ مقدمه .....	۱
۲۱-۲ تحریک برای تصویربرداری RNA .....	۲
۲۱-۳ تنظیم RNA از راه تعیین موقعیت فضایی و دینامیک RNA .....	۲
۲۱-۴ آخرین فناوری‌ها در تصویربرداری RNA .....	۴
۲۱-۵ طراحی لیگاند برمبنای نوکلئیک اسید برای تصویربرداری RNA در سلول‌های زنده .....	۶
۲۱-۵-۱ ساختار لیگاند .....	۶
۲۱-۵-۲ میل ترکیبی لیگاند .....	۷
۲۱-۵-۳ حساسیت پروب .....	۸
۲۱-۵-۴ تحویل درون‌سلولی .....	۸
۲۱-۶ سایر پروب‌های آشکارسازی RNA برمبنای نانوفناوری .....	۱۱
۲۱-۶-۱ راهبردهای تصویربرداری RNA برمبنای نانوذرات طلا .....	۱۱
۲۱-۶-۲ استفاده از نقاط کوانتومی نیمه‌رسانا برای هدف‌یابی RNA در سلول‌های تثبیت شده .....	۱۱
۲۱-۷ نتیجه‌گیری .....	۱۲
فصل بیست و دوم: به‌کارگیری نانومواد در سلول‌های مصنوعی .....	۱۵
۲۲-۱ مقدمه .....	۱۵
۲۲-۲ بهبود سلول‌های مصنوعی با استفاده از نانومواد .....	۱۶
۲۲-۳ نانومواد زیستی و سلول‌های قرمز خون .....	۱۹
۲۲-۳-۱ سلول‌های مصنوعی به‌عنوان جایگزین‌های خون .....	۱۹
۲۲-۳-۲ تعیین ویژگی سلول‌های قرمز خون مصنوعی .....	۲۱
۲۲-۳-۳ نانومواد زیستی و سلول‌های قرمز خون مصنوعی .....	۲۴
۲۲-۴ نتیجه‌گیری .....	۲۸
فصل بیست و سوم: نانومواد مورد استفاده در مهندسی بافت ماهیچه اسکلتی .....	۳۱
۲۳-۱ مقدمه .....	۳۱

۳۱.....	۲۳-۲ نانومواد زیستی و مهندسی بافت استخوان.....
۳۲.....	۲۳-۲-۱ مواد کامپوزیتی سرامیک زیستی و پلیمر.....
۳۴.....	۲۳-۲-۲ نانوذرات فلزی و مواد کامپوزیت پلیمری.....
۳۷.....	۲۳-۲-۳ پوشش نانومواد روی سطوح فلزی.....
۴۰.....	۲۳-۲-۴ الگودهی در مقیاس نانو.....
۴۰.....	۲۳-۲-۵ اتصال پتیدی.....
۴۳.....	۲۳-۲-۶ داربست‌های نانوالیاف.....
۴۶.....	۲۳-۳ نانومواد زیستی و مهندسی بافت غضروف.....
۴۶.....	۲۳-۳-۱ نانوذرات.....
۴۸.....	۲۳-۳-۲ داربست‌های نانوالیاف.....
۴۹.....	۲۳-۴ نانومواد زیستی و مهندسی بافت ماهیچه.....
۵۰.....	۲۳-۴-۱ داربست‌های نانوالیاف.....
۵۳.....	۲۳-۵ نانومواد زیستی مورد استفاده برای مهندسی بافت عروقی.....
۵۴.....	۲۳-۵-۱ داربست‌های نانوالیاف.....
۵۵.....	۲۳-۵-۲ داربست‌های دارای الگوی نانو.....
۵۶.....	۲۳-۵-۳ نانوذرات فلزی.....
۵۷.....	۲۳-۶ نتیجه‌گیری.....

## فصل بیست و چهارم: نانو کامپوزیت‌های پلیمری مواد زیستی برای ترمیم بافت استخوان و

### غضروف: دیدگاه علم مواد..... ۵۹

۵۹.....	۲۴-۱ مقدمه‌ای بر نانو کامپوزیت‌های پلیمری مواد زیستی.....
۶۱.....	۲۴-۲ ساختارها و ویژگی‌های مهم.....
۶۱.....	۲۴-۲-۱ استخوان: یک نانو کامپوزیت سخت.....
۶۳.....	۲۴-۲-۲ غضروف: یک کامپوزیت نرم.....
۶۵.....	۲۴-۳ سطح مشترک استخوان - غضروف: یک نانو کامپوزیت سطح مشترک.....
۶۶.....	۲۴-۳-۱ ویژگی‌های مورد نیاز یک بافت پیوند شده جهت داشتن عملکرد.....
۶۷.....	۲۴-۴ مواد زیستی مورد استفاده در مهندسی بافت استخوان.....
۶۷.....	۲۴-۴-۱ مواد زیستی سرامیکی، پلیمری و کامپوزیتی ترمیم استخوان.....
۶۹.....	۲۴-۴-۲ نانومواد کامپوزیت پلیمری ترمیم استخوان.....

فهرست مطالب □ ج

۷۵.....	۲۴-۵ مواد زیستی به کاررفته برای مهندسی بافت غضروف
۷۶.....	۲۴-۵-۱ مواد زیستی موجود برای ترمیم غضروف
۷۸.....	۲۴-۵-۲ نانومواد کامپوزیتی پلیمری برای ترمیم غضروف
۸۰.....	۲۴-۶ مهندسی بافت در استئوکندرال
۸۱.....	۲۴-۶-۱ داربست‌های مواد زیستی در ترمیم استئوکندرال
۸۲.....	۲۴-۶-۲ نانوکامپوزیت‌های پلیمری در ترمیم استئوکندرال
۸۴.....	۲۴-۷ نتیجه‌گیری

**فصل بیست و پنجم: کلاژن: یک نانوماده زیستی برای مطالعات کاربردی در مهندسی بافت..... ۸۷**

۸۷.....	۲۵-۱ مقدمه
۸۸.....	۲۵-۲ سرهم بندی کلاژن و ساختار سلسله مراتبی آن
۸۹.....	۲۵-۳ ساختار و عملکرد کلاژن در بافت‌های طبیعی و مهندسی شده
۹۰.....	۲۵-۳-۱ استخوان
۹۰.....	۲۵-۳-۲ پوست
۹۰.....	۲۵-۳-۳ زردپی
۹۱.....	۲۵-۳-۴ غضروف مفصلی
۹۱.....	۲۵-۴ به کارگیری فناوری میکروفلوئید برای ساخت محیط‌های سه‌بعدی برپایه کلاژن با دقت فضایی بالا
۹۶.....	۲۵-۵ کنترل دینامیک ویژگی‌های ساختاری ماتریس خارج سلولی
۹۷.....	۲۵-۶ گونه‌های سنتزی الهام گرفته از کلاژن

**فصل بیست و ششم: نانوتوپوگرافی در زیست‌مواد کاشتنی..... ۹۹**

۹۹.....	۲۶-۱ مقدمه
۱۰۱.....	۲۶-۲ فرایندهای موجود در سطح مشترک استخوان-ایمپلنت
۱۰۳.....	۲۶-۲-۱ جاسازی ایمپلنت استخوان خارجی
۱۰۳.....	۲۶-۳ ویژگی‌های زیست‌مواد
۱۰۵.....	۲۶-۴ اهمیت نانوفناوری در شناسایی ایمپلنت‌ها
۱۰۶.....	۲۶-۵ مطالعات اولیه روی میکروتوپوگرافی سطح ایمپلنت
۱۰۷.....	۲۶-۶ ساخت نانوتوپوگرافی سطح

۱۰۸.....	۲۶-۶-۱ ایجاد ناهموازی‌های تصادفی سطح.....
۱۱۱.....	۲۶-۶-۲ ایجاد نانوتوپوگرافی نیمه منظم از راه خودتجمعی.....
۱۱۳.....	۲۶-۶-۳ نانوبافت‌های منظم.....
۱۲۰.....	۲۶-۷ نتیجه‌گیری.....

### فصل بیست و هفتم: نانوآرایه‌ها و نانوفناوری زیستی..... ۱۲۳

۱۲۳.....	۲۷-۱ مقدمه.....
۱۲۵.....	۲۷-۲ نانوایزارهای مورد استفاده در ساخت نانوآرایه.....
۱۲۵.....	۲۷-۲-۱ لیتوگرافی باریکه الکترونی.....
۱۲۷.....	۲۷-۲-۲ لیتوگرافی نوری.....
۱۲۹.....	۲۷-۲-۳ چاپ جوهرافشان.....
۱۲۹.....	۲۷-۲-۴ چاپ میکرو تماس.....
۱۳۱.....	۲۷-۲-۵ لیتوگرافی میکروسکوپ تونل‌زنی روبشی.....
۱۳۲.....	۲۷-۲-۶ نانوپیوندزنی.....
۱۳۳.....	۲۷-۲-۷ نانولیتوگرافی دیپ-پن.....
۱۳۵.....	۲۷-۳ کاربردهای نانوآرایه‌ها.....
۱۳۶.....	۲۷-۳-۱ نانوآرایه‌های ژنومی.....
۱۳۷.....	۲۷-۳-۲ نانوآرایه‌های ویروسی.....
۱۳۷.....	۲۷-۳-۳ نانوآرایه‌های پروتئینی.....
۱۳۹.....	۲۷-۳-۴ آرایه‌های زیست حسگر نانولوله کربنی.....
۱۴۲.....	۲۷-۴ نتیجه‌گیری.....

### فصل بیست و هشتم: نانومواد زیستی چند منظوره با قابلیت الگودارشدن نوری..... ۱۴۵

۱۴۵.....	۲۸-۱ مقدمه.....
۱۴۵.....	۲۸-۲ مواد نانوکامپوزیت PDMS رسانا برای مصارف تشخیص‌های بیوالکتریک.....
۱۴۵.....	۲۸-۲-۱ پلی دی متیل سیلوکسان.....
۱۴۶.....	۲۸-۲-۲ PDMS با قابلیت الگودارشدن نوری.....
۱۴۶.....	۲۸-۲-۳ PDMS رسانا.....
۱۴۷.....	۲۸-۲-۴ ساخت PDMS رسانا با قابلیت الگودارشدن نوری.....

## فهرست مطالب □ خ

۱۴۷.....	۲۸-۲-۵ ویژگی‌های PDMS رسانا با قابلیت الگودارشدن نوری
۱۴۹.....	۲۸-۲-۶ کاربرد در تشخیص‌های بیوالکتریک
۱۵۱.....	۲۸-۳ مواد PEG هیدروژل با الگوی نوری در تجمعات نانو
۱۵۱.....	۲۸-۳-۱ پلی اتیلن گلیکول
۱۵۱.....	۲۸-۳-۲ ساخت PEG هیدروژل نانوالگو
۱۵۲.....	۲۸-۳-۳ نانوتجمعات PEG با استفاده از الگو
۱۵۵.....	۲۸-۳-۴ اثر ویژگی‌های سطحی PEG
۱۵۶.....	۲۸-۳-۵ کاربرد در تشخیص‌های زیستی
۱۵۶.....	۲۸-۴ مواد نانوکامپوزیت PTFE فوق آب‌گریز با الگوی نوری در بیونیک
۱۵۶.....	۲۸-۴-۱ پلی تترا فلورو اتیلن
۱۵۷.....	۲۸-۴-۲ PTFE فوق آب‌گریز
۱۵۷.....	۲۸-۴-۳ PTFE با قابلیت الگوبرداری نوری
۱۵۸.....	۲۸-۴-۴ ساخت PTFE فوق آب‌گریز با قابلیت الگوبرداری نوری
۱۵۸.....	۲۸-۴-۵ ویژگی‌های PTFE فوق آب‌گریز با قابلیت الگوبرداری نوری
۱۶۰.....	۲۸-۴-۶ کاربرد در بیونیک
۱۶۰.....	۲۸-۵ چشم‌اندازهای آتی

## فصل بیست و نهم: نانومواد زیستی در مطالعات پیش‌کلینیکی و تشخیص‌های کلینیکی .. ۱۶۳

۱۶۴.....	۲۹-۱ نانومواد پارامغناطیس
۱۶۴.....	۲۹-۱-۱ تئوری
۱۶۷.....	۲۹-۱-۲ سمیت، فارماکوکینتیک و توزیع زیستی
۱۶۹.....	۲۹-۲ نانومواد زیستی برپایه گادولینیوم
۱۷۲.....	۲۹-۳ نانومواد زیستی برپایه دیسپروسیوم
۱۷۳.....	۲۹-۴ نانومواد زیستی برپایه منگنز
۱۷۵.....	۲۹-۵ نانومواد زیستی فوق پارامغناطیس
۱۷۵.....	۲۹-۵-۱ تئوری
۱۷۹.....	۲۹-۵-۲ سمیت، فارماکوکینتیک و توزیع زیستی
۱۸۰.....	۲۹-۵-۳ به‌کارگیری نانومواد زیستی برپایه اکسید آهن هدفمند شده غیرفعال
۱۸۰.....	۲۹-۶ به‌کارگیری نانومواد زیستی برپایه اکسید آهن هدفمند شده فعال

۱۸۲..... ۲۹-۷ اهمیت قدرت میدان مغناطیسی ساکن

۱۸۲..... ۲۹-۸ چشم‌اندازهای آتی

## فصل سی‌ام: زیست سازگاری نانومواد: خواص شیمیایی و فیزیکی مرتبط با سم‌شناسی

### ۱۸۷..... In vivo و In vitro محیط‌های

۱۸۷..... ۳۰-۱ مقدمه

۱۸۸..... ۳۰-۲ روش‌های تعیین ویژگی مواد

۱۸۸..... ۳۰-۲-۱ میکروسکوپ الکترونی عبوری و طیفی سنجی پراکنش انرژی

۱۹۰..... ۳۰-۲-۲ طیف‌سنجی رامان و سایر طیف‌سنجی‌ها

۱۹۱..... ۳۰-۲-۳ پراکنش نوری پویا

۱۹۲..... ۳۰-۲-۴ پتانسیل زتا

۱۹۳..... ۳۰-۳ تعیین ویژگی هم راست

۱۹۳..... ۳۰-۳-۱ آنالیزکننده تحرک تفاضلی

۱۹۴..... ۳۰-۳-۲ جداسازی شمارش میدان

۱۹۵..... ۳۰-۴ تعیین ویژگی‌ها در حالات in vivo و in vitro

۱۹۶..... ۳۰-۴-۱ سنجش ویتامین C

۱۹۶..... ۳۰-۴-۲ پتانسیل همولیتیک

۱۹۸..... ۳۰-۴-۳ پروب دی کلروفلورسین

۱۹۸..... ۳۰-۵ پاسخ‌های زیستی در in vivo و in vitro

۱۹۸..... ۳۰-۵-۱ پاسخ سلولی به استرس اکسیداتیو

۱۹۹..... ۳۰-۵-۲ پاسخ التهابی

۱۹۹..... ۳۰-۵-۳ آسیب سلولی در طی یک مسیر سمیت ژنی

۲۰۰..... ۳۰-۵-۴ برداشت سلولی

۲۰۱..... ۳۰-۶ استانداردسازی روش‌ها

۲۰۲..... ۳۰-۶-۱ داده‌های فیزیکوشیمیایی در متون سم‌شناسی نانو

۲۰۳..... ۳۰-۶-۲ نتیجه‌گیری

## فصل سی و یکم: سازگاری نانوذرات با اجزای خونی

۲۰۵..... ۳۱-۱ مقدمه

فهرست مطالب □ ذ

۲۰۷.....	۳۱-۲ از بین رفتن اریتروسیت‌ها
۲۱۰.....	۳۱-۳ لخته‌زایی
۲۱۲.....	۳۱-۴ سنجش سایتوکین
۲۱۴.....	۳۱-۵ فعالسازی کمپلمان
۲۱۷.....	۳۱-۶ فاگوسیتوز
۲۱۸.....	۳۱-۷ آنالیز سمیت
۲۲۰.....	۳۱-۸ خلاصه

## پیش‌گفتار

علم مواد زیستی، ممکن است چند رشته‌ای‌ترین حوزه در کل رشته‌های علمی باشد. یک ماده زیستی، ماده‌ای غیرقابل رشد سریع مورد استفاده در یک وسیله پزشکی به‌منظور برهم‌کنش با سیستم‌های زیست‌شناختی است. اگرچه مواد زیستی اغلب برای مواجهه با یک نیاز پزشکی درمانی یا تشخیصی به کار می‌روند، اما اگر واژه «پزشکی» حذف شود، این تعریف گسترده‌تر شده و می‌تواند محدوده وسیعی از کاربردهای پیشنهاد شده در فوق را در برگیرد. اگر واژه «غیر قابل رشد» حذف شود، آنگاه تعریف حتی عمومی‌تر می‌شود و می‌تواند بسیاری از کاربردهای اندام مصنوعی هیبرید و مهندسی بافت را که در آن‌ها از سلول‌های زنده استفاده می‌شوند را شامل شود.

در قرن‌ی که در آن هستیم، یعنی قرن بیست و یکم، مواد زیستی به‌طور گسترده‌ای در پزشکی، دندانپزشکی، و فن‌آوری زیستی استفاده می‌شوند. شصت سال پیش، مواد زیستی آن‌گونه که امروزه راجع به آن‌ها فکر می‌کنیم، وجود نداشتند. واژه «ماده زیستی» استفاده نمی‌شد. هیچ سازنده وسیله پزشکی (به‌جز برای اندام‌های مصنوعی خارجی مانند دست و پا، وسایل تثبیت‌کننده عضو شکسته شده، چشم‌های شیشه‌ای، پرکننده‌ها و وسایل دندان)، هیچ فرایند اعطای مجوز قانونی، هیچ درکی از زیست‌سازگاری و به‌خصوص هیچ رشته دانشگاهی در مورد مواد زیستی وجود نداشت. تا آن زمان مواد زیستی خام، معمولاً با نتایج ضعیف یا ترکیبی در کل تاریخ مورد استفاده قرار گرفته بودند.

کتاب حاضر، طراحی، ساخت، آزمایش، کاربردها و عملکرد مواد سنتزی و طبیعی را آدرس‌دهی می‌کند که در ایمپلنت‌ها، وسایل و تجهیزات بسیار متنوعی که سیستم‌های زیست‌شناختی را به یکدیگر پیوند می‌دهند، استفاده می‌شوند. از این مواد، با عنوان مواد زیستی یاد می‌شود. یک اصل مهم در گردهم‌آوری مطالب پیش رو این است که پیشرفت بنیادین در حوزه مواد زیستی مستلزم یکپارچه‌سازی مفاهیم و ابزارهای حاصل از طیف کامل علوم فیزیکی، مهندسی، درمان بالینی، زیست‌شناسی و علوم زیستی است. با این وجود، اعتقاد بر این است که یک پزشک بایستی قادر به فراگرفتن دانش مبنایی علم، مهندسی و جنبه‌های تجاری‌سازی مواد زیستی باشد. یک شیمیدان می‌تواند از این کتاب برای درک زیست‌شناسی ماورای مواد زیستی، فیزیولوژی مربوط به وسایل بالینی و کاربردهای آن در پزشکی استفاده کند. یک مهندس شاغل در یک شرکت وسایل پزشکی می‌تواند علم پایه‌ای متضمن توسعه فنی و جزئیات مربوط به کاربردهای درمانی را فرا گیرد. به‌طور مشابه، برای رشته‌های دیگری که دارای وجوه مشترکی با مواد زیستی هستند، این کتاب می‌تواند خواننده را از راه موضوعات گوناگون اما مرتبط که معمولاً در یک کتاب یافت نمی‌شوند، هدایت نماید.