

سرشناسه : گووندیرن، مورات

Guvendiren, Murat

عنوان و نام پدید آور : چاپ زیستی سه بعدی در پزشکی (فناوری ها، جوهرهای زیستی و کاربردها) / اثر مورات گووندیرن؛ مترجمان تقی اصفهانی، زهرا گلشیرازی. مشخصات نشر : ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)، ۱۴۰۳. مشخصات ظاهری : ۳۴۲ص.

شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۳۳۹-۹۰۵-۳

وضعیت فهرست نویسی : فیبا

یادداشت : عنوان اصلی: 3D Bioprinting in Medicine : Technologies, Bioinks, and Applications

موضوع : چاپ زیستی سه بعدی در پزشکی

3D Bioprinting in Medicine

شناسه افزوده : اصفهانی، تقی، ۱۳۵۹ -، مترجم

شناسه افزوده : گلشیرازی، زهرا، ۱۳۷۲ -، مترجم

رده بندی کنگره : PN۲۱۸۳

رده بندی دیویی : ۸۰۹/۲۰۲

شماره کتابشناسی ملی : ۹۴۹۳۸۶۱

اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیبا

نام کتاب : چاپ زیستی سه بعدی در پزشکی (فناوری ها، جوهرهای زیستی و کاربردها)

اثر : Murat Guvendiren

مترجمان : دکتر تقی اصفهانی - مهندس زهرا گلشیرازی

ناشر : ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)

صفحه آرای، تنظیم و طرح جلد: پروانه مهاجر

تیراژ : ۱۰۰۰ جلد

نوبت چاپ : اول - ۱۴۰۳

چاپ : زبرجد

قیمت : ۳۴۲۰۰۰ تومان

فروش نسخه الکترونیکی - کتاب رسان :

<https://chaponashr.ir/ketabresan>

شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۳۳۹-۹۰۵-۳

تلفن مرکز پخش : ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵

www.chaponashr.ir



مقدمه

این کتاب برای این هدف در نظر گرفته شده است تا مقدمه‌ای بر چاپ زیستی، از جمله فناوری‌های چاپ زیستی، جوهرهای زیستی و کاربردهای چاپ زیستی ارائه دهد. این کتاب از هفت فصل تشکیل شده است که توسط افراد متخصص در این زمینه ارائه شده است.

فصل ۱ بر درک عمیق فناوری‌های چاپ زیستی، از جمله چاپ زیستی مبتنی بر اکستروژن، چاپ زیستی مبتنی بر قطره، و چاپ زیستی که از طریق کاربرد مستقیم انرژی حاصل می‌شود، تمرکز دارد. بحث مفصلی در مورد نقاط قوت و ضعف این تکنیک‌ها ارائه شده است. این فصل همچنین پیشرفت‌های چاپ زیستی را برای رسیدگی به چالش‌های فناوری‌های چاپ زیستی خلاصه می‌کند.

فصل ۲ به تشریح مفاهیم اصلی در طراحی و فرمول‌بندی جوهرهای زیستی می‌پردازد، از جمله پارامترهای کلیدی مهم در انتخاب مواد برای گسترش دامنه‌ی جوهر زیستی و در نتیجه خواص ساختار چاپ زیستی برای کاربردهای مورد نظر. فصل ۳ خلاصه‌ای کلی از کاربردهای بالقوه بالینی چاپ زیستی را ارائه می‌دهد، به دنبال آن فصل‌های ۴ تا ۶، هر کدام بر روی یک کاربرد خاص تمرکز دارند. فصل ۴ چاپ زیستی ساختارهای عروقی و استفاده از آنها به عنوان داربست در بازسازی بافت و به عنوان بستری برای کشف و آزمایش دارو را مورد بحث قرار می‌دهد. در فصل ۵، تمرکز بر روی کاربردهای چاپ زیستی در پزشکی بالینی قلب و عروق، از جمله مدل‌های جراحی، وصله‌های قلبی، مدل‌های محاسباتی و نظری، دریچه‌های قلب، و استنت‌ها و همچنین مدل‌های بافت آزمایشگاهی است. فصل ۶ چاپ زیستی مدل‌های استخوان در شرایط آزمایشگاهی را برای درک رفتار سلول‌های سرطانی و ریزمحیط خلاصه می‌کند.

فصل ۷، فصل آخر، با هدف پرداختن به جنبه‌های اخلاقی، ایمنی و مقرراتی چاپ زیستی، به‌ویژه مربوط به فناوری چاپ زیستی، جوهرهای زیستی و سازه‌های چاپ زیستی ارائه شده است.

نیوآرک، نیوجرسی، ایالات متحده آمریکا مورات گوندیرن

درباره ویراستار

مورات گووندیرن محقق اصلی آزمایشگاه بیومواد آموزشی و ساخت افزودنی (IBAM-Lab) و استادیار گروه مهندسی شیمی و مواد در موسسه فناوری نیوجرسی (NJIT) است. او مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی متالورژی و مواد از دانشگاه فنی خاورمیانه در آنکارا، ترکیه دریافت کرد. او مدرک دکترای خود را از گروه علوم و مهندسی مواد در دانشگاه نورث وسترن دریافت کرد. او دوره فوق دکترا را در دانشگاه پنسیلوانیا گذراند. او قبل از پیوستن به NJIT، استادیار پژوهشی در مرکز بیومواد نیوجرسی، دانشگاه راتگرز بود. تحقیقات او بر توسعه فرمول‌های جوهر زیستی جدید و چاپ زیستی مدل‌های بافت و بیماری در شرایط آزمایشگاهی متمرکز است.

فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه.....
مقدمه.....	۳.....
درباره ویراستار.....	۵.....
پیشگفتار.....	۱۱.....
فصل اول: فناوری‌های چاپ زیستی سه‌بعدی.....	۱۳.....
چکیده.....	۱۳.....
مقدمه.....	۱۴.....
کمک به فناوری‌ها و دیدگاه تاریخی در چاپ سه‌بعدی، مهندسی بافت، و چاپ زیستی ۱۶	چه چیزی چاپ زیستی را در میان فناوری‌های مرتبط تعریف می‌کند؟..... ۲۷
گردش کار چاپ زیستی.....	۳۰.....
فناوری‌های چاپ زیستی.....	۳۸.....
چاپ با جوهرهای زیستی: نقاط قوت و چالش‌ها در فناوری‌های چاپ زیستی.....	۶۰.....
گسترش قابلیت‌های چاپ زیستی از طریق نوآوری و فناوری‌های نزدیک به آن.....	۷۶.....
نگاهی به آینده چاپ زیستی.....	۹۱.....
فصل دوم: مواد به عنوان جوهر زیستی و طراحی زیستی.....	۹۵.....
چکیده.....	۹۵.....
مقدمه.....	۹۶.....
اصول طراحی جوهر زیستی.....	۹۹.....
فرمولاسیون جوهر زیستی.....	۱۰۷.....
چشم‌اندازهای آینده.....	۱۳۰.....
نتیجه‌گیری.....	۱۳۴.....
فصل سوم: کاربردهای بالقوه بالینی چاپ زیستی سه‌بعدی.....	۱۳۷.....
چکیده.....	۱۳۷.....

۱۳۷	.....	مقدمه
۱۴۰	.....	استخوان
۱۴۷	.....	غضروف
۱۵۲	.....	پوست
۱۵۸	.....	بافت‌های عصبی
۱۵۹	.....	رگ‌های خونی
۱۶۰	.....	عضله
۱۶۱	.....	بافت قلب و عروق
۱۶۲	.....	سایر بافت‌ها
۱۶۴	.....	نتیجه‌گیری
۱۶۵	.....	فصل چهارم: پرینت زیستی عروق
۱۶۵	.....	چکیده
۱۶۶	.....	مقدمه
۱۶۹	.....	ساختار عروقی مهندسی شده در آزمایشگاه
۱۷۶	.....	پرینت زیستی سه‌بعدی سازه‌های عروقی
۱۸۳	.....	استفاده از ساختارهای بافتی عروقی چاپ شده زیستی
۱۹۰	.....	نتیجه‌گیری و چشم‌انداز آینده
۱۹۳	.....	فصل پنجم: چاپ زیستی سه‌بعدی در پزشکی قلبی عروقی بالینی
۱۹۳	.....	چکیده
۱۹۴	.....	مقدمه
۱۹۵	.....	مدل‌های جراحی پرینت‌شده زیستی سه‌بعدی بیماری‌های قلبی
۱۹۷	.....	وصله‌های قلبی چاپ شده زیستی سه‌بعدی
۲۰۰	.....	چاپ زیستی سه‌بعدی در مدل‌سازی محاسباتی و نظری
۲۰۲	.....	دریچه‌های قلبی چاپ شده با پرینتر زیستی سه‌بعدی
۲۰۵	.....	استنت‌های سه‌بعدی چاپ شده زیستی
۲۰۶	.....	خلاصه و سخنان پایانی

فصل ششم: درک رفتار سلول‌های سرطانی از طریق ریزمحیط‌های استخوانی ۲۰۹

چکیده ۲۰۹

مقدمه ۲۱۰

مروری بر درمان‌های کنونی سرطان ۲۱۱

متاستاز سرطانی ۲۲۳

درمان‌های کنونی برای متاستاز سرطان استخوان ۲۲۵

مدل‌های درون‌کشتگاهی (آزمایشگاهی) و درون‌تنی از ریزمحیط سرطان ۲۲۵

چاپ زیستی سه‌بعدی ۲۲۸

چاپ سه‌بعدی ریزمحیط سرطان استخوان ۲۳۶

آخرین پیشرفت‌های کنونی و چشم‌اندازهای آینده ۲۳۸

فصل هفتم: چاپ زیستی سه‌بعدی: ملاحظات ایمنی، اخلاقی و مقرراتی ۲۴۱

چکیده ۲۴۱

مقدمه ۲۴۱

ملاحظات اخلاقی ۲۴۲

ایمنی ۲۴۸

مقررات ۲۵۲

نتیجه‌گیری ۲۵۴

منابع و مآخذ ۲۵۵

نمایه ۳۳۵

پیشگفتار

حمد و سپاس بی پایان آفریننده و پروردگار جهان بی کران هستی را که توفیق ترجمه این کتاب را عنایت فرمود. چاپ زیستی سه بعدی (سه بعدی) استفاده از روش های لایه به لایه برای رسوب جوهرهای زیستی مانند سلول ها، فاکتورهای رشد و مواد زیستی برای ساخت قطعات زیست پزشکی است که حداکثر ویژگی های بافت/ اندام طبیعی را تقلید می کند. در دهه گذشته، چاپ زیستی به طور قابل توجهی پیشرفت کرده است و تعداد زیادی از مطالعات نتایج جذابی را در کاربردهای مختلف نشان داده اند. در این راستا، توسعه یک کتاب جامع که پیشرفت های پیشرفته در کاربردهای چاپ زیستی را پوشش می دهد برای دانشگاه، عموم و صنعت ارزشمند است. این کتاب در سه بخش اصلی سازماندهی شده است و به خوانندگان کمک می کند تا چاپ زیستی را از زوایای مختلف درک کنند. اول از همه، این کتاب شامل یک بحث جامع است که ملاحظات اصلی را در مراحل پیش از چاپ زیستی، چاپ زیستی و پس از چاپ زیستی پوشش می دهد، که به خوانندگان یک دید کلی برای درک فرآیند فنی طراحی و ساخت یک محصول زیست چاپی می دهد. ثانیاً، بخش عمده ای از این کتاب توضیحات مفصلی از کاربردهای مختلف چاپ زیستی، از جمله پوست، غضروف، استخوان، بافت عروقی و اندام ها را پوشش می دهد، که به مهندسان زیستی، مهندسين تولید و پزشکان کمک می کند تا رویکردهای ساخت زیستی بافت مورد نظر را درک کنند. نوع اندام، مانند انتخاب بیوئینک، نوع چاپگر زیستی و فرآیند مناسب. به خصوص چاپ زیستی حین عمل در فصلی جداگانه برجسته شده است که به طور گسترده به عنوان یکی از روندهای مهم آینده چاپ زیستی مورد توجه قرار گرفته است. در نهایت، نگرانی های اخلاقی و نظارتی

در مورد استفاده بالینی از چاپ زیستی نیز مورد بحث قرار خواهد گرفت، که بینشی منحصر به فرد از مسئولیت اجتماعی محققان و پزشکان در این زمینه را به خواننده ارائه می دهد. این کتاب یک منبع عالی برای دانشجویان ارشد و کارشناسی ارشد است که به چاپ زیستی علاقه مند هستند و امید است نقش آموزنده ای در توسعه محصولات پزشکی با استفاده از چاپ زیستی برای متخصصان صنعت داشته باشد. تمام تلاش مترجمان بر این بوده است که ضمن امانتداری و انطباق کامل مطالب، متنی روان برای دانش پژوهان فارسی زبان فراهم آورند. پیشاپیش از مطالعه کنندگان محترم که ضمن مطالعه این کتاب، انتقادهای و نظرهای سازنده خود را منعکس می کنند، قدردانی می کنیم.

در اینجا لازم می دانم از زحمات پدر و مادر عزیزم و همچنین استاد گرامی جناب آقای دکتر تقی اصفهانی در راستای حمایت از انتشار این کتاب تشکر و قدردانی نمایم.

فصل اول

فناوری‌های چاپ زیستی سه‌بعدی

چکیده

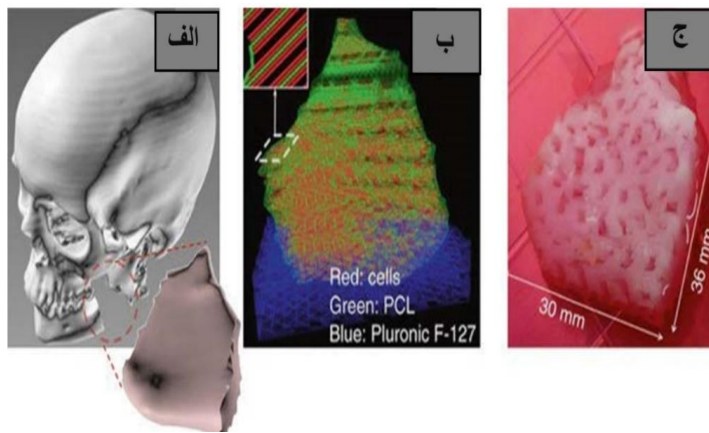
فناوری چاپ زیستی قابلیت‌هایی را برای طراحی و ساخت ساختارهای بیولوژیکی و بافتی ارائه می‌دهد. برخی از محصولات این حوزه در حال حاضر بر سلامت انسان تأثیر می‌گذارد. تحقیقات برای افزایش پیچیدگی و عملکرد ساختارهای چاپی زیستی از طریق نوآوری در سخت‌افزار، تکنیک‌ها و مواد چاپ زیستی، با هدف نهایی تولید ساختارهای بافتی خاص بیمار، همچنان در حال گسترش است. این فصل ابتدا با در نظر گرفتن ظهور چاپ زیستی در رابطه با فناوری‌های توانمند، مقدمه‌ای بر این زمینه ارائه می‌دهد. به دلیل علاقه شدید و رشد مداوم چاپ زیستی، اصطلاحات خاص و نکات بالقوه سردرگمی در سراسر انتشارات دانشگاهی مورد بحث قرار می‌گیرند. سه طبقه یا روش اصلی فناوری‌های چاپ زیستی تحت پوشش قرار می‌گیرند: چاپ زیستی مبتنی بر اکستروژن، چاپ زیستی مبتنی بر قطره، و چاپ زیستی که از طریق کاربرد مستقیم انرژی، مانند نور، به یک جوهر زیستی به دست می‌آید. نقاط قوت و ضعف این تکنیک‌ها در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد تا پتانسیل رویکردهای مختلف را برجسته کرده و به فرصت‌هایی برای پیشرفت اشاره کند. در نهایت، برخی از پیشرفت‌های اخیر در چاپ زیستی که به چالش‌های موجود در این سه روش می‌پردازند، معرفی شده‌اند تا رویکردهای نوآورانه‌ای را برجسته کنند که فراتر از محدودیت‌ها در فرآیندهای مورد استفاده، زمینه را پیش می‌برند و ادامه خواهند داد.

مقدمه

یک چشم‌انداز انگیزشی برای کار در زمینه چاپ زیستی، تحقق فناوری پزشکی است که خارق‌العاده به نظر می‌رسد، و توصیف آن مانند برداشتن ایده‌ای از یک اثر علمی تخیلی به نظر می‌رسد. در این چشم‌انداز، چاپ زیستی ماشینی را با قابلیت ایجاد بافت زنده و خاص بیمار بر حسب تقاضا ایجاد می‌کند. بیمار ممکن است فردی باشد که نارسایی اندام را تجربه کرده است، یک سرباز یا یک غیرنظامی در یک منطقه جنگی که متحمل از دست دادن تروماتیک حجم زیادی از بافت شده است یا فردی باشد که تحت درمان برای بیماری است که نیاز به جراحی مهمی دارد. در محل درمان، یک مدل کامپیوتری سه‌بعدی مخصوص بیمار از بافت از دست رفته از تصاویر آسیب دیده ایجاد می‌شود و این مدل سه‌بعدی به ساخت‌افزار چاپ زیستی سه‌بعدی منتقل می‌شود که پس از آن، گویی از نیستی، یک عضو زنده یا جایگزین بافت ایجاد می‌کند. از دستگاه یک اندام یا سیستم بافتی بیولوژیکی کاملاً کاربردی بیرون می‌آید که با بدن بیمار نیازمند سازگار و مناسب است (شکل ۱-۱).

در حال حاضر، این یک چشم‌انداز باقی مانده است. اما با توجه به کنترل کافی بر نحوه قرارگیری سلول‌ها و بیومواد در فضای سه‌بعدی و دانش کافی در مورد ساختارهایی که باید ایجاد شود تا حجم عملکردی از سلول‌ها و موادی که به طور هماهنگ عمل می‌کنند تا عملکردهای فیزیولوژیکی بافت را انجام دهند، منطقی است که بتوانیم یک سیستم زنده بسازیم که می‌تواند بافت از دست رفته را تقویت یا جایگزین کند یا حتی خود بافت زنده را بسازد. چاپ زیستی یکی از فناوری‌هایی است که به ما امکان می‌دهد سلول‌ها و مواد را با وضوح بالا در فضای سه‌بعدی قرار دهیم که پیش‌نیاز مهمی برای دستیابی به این هدف است. تلاش‌های تکمیلی در علوم پایه و مهندسی و علوم کاربردی، اغلب با استفاده از فناوری‌های ساخت زیستی، به پیشرفت‌هایی در فناوری و علوم بنیادی منجر می‌شود که به طور هم‌زمان و اغلب به صورت هم‌افزایی رخ می‌دهند. برای مثال، با ایجاد سیستم‌هایی که می‌توانیم بپرسیم سلول‌ها چگونه به ویژگی‌های داده‌شده ریزمحیط‌هایشان واکنش نشان می‌دهند، فناوری‌های جدید ما را قادر می‌سازند تا به این

سؤالات در قلمرو پزشکی و علوم بنیادی پاسخ دهیم [۲-۴]. به نوبه خود، این دانش به توسعه چاپ زیستی و فناوری های مرتبط کمک می کند و به ما امکان می دهد بفهمیم چه مواد و سلول هایی را می خواهیم چاپ کنیم و چه پارامترهای فنی را باید مشخص کنیم. مثلاً یک فناوری چاپ زیستی با چه وضوحی باید بتواند سلول ها و مواد را در سرتاسر یک ساختار بافتی چاپ کند تا ساختار و عملکرد مناسب را در محصول نهایی ایجاد کند.



شکل ۱-۱- (الف) قسمت آسیب دیده خاص بیمار را می توان اسکن کرد و به یک مدل کامپیوتری سه بعدی تبدیل کرد (به شی زوم شده که نقص استخوانی فک پایین را پر می کند، مراجعه کنید) که (ب) به نوبه خود برای تولید دستورات چاپ استفاده می شود (در اینجا، سه مسیر چاپ رنگی مختلف - به قسمت بزرگنمایی شده مراجعه کنید - محل چاپ سه جوهر مختلف را نشان می دهد)، (ج) منجر به ایجاد یک بافت جایگزین چاپ شده زیستی می شود.

(برگرفته از Kang et al. Nat Biotech 2016 [۱])

برخی از بزرگترین سوالاتی که در چاپ زیستی وجود دارد به تنهایی مربوط به چاپ زیستی نیست. درک عوامل متعددی که بر سازماندهی سلولی در بافت عملکردی تأثیر می گذارند و اینکه چگونه این امر کنترل ساختار و موقعیت سلول ها و مواد در ساختارهای بافتی را تحت تأثیر قرار می دهد، سؤالات بزرگی را نشان می دهد که برای پیگیری تلاش ها در زمینه های گسترده تر مهندسی بافت و پزشکی بازساختی مهم

هستند. جذابیت و هیجان پیرامون چاپ زیستی به عنوان ابزاری برای ساخت ساختارهای مهندسی بافت تا حدی به دلیل قابلیت‌ها و پتانسیل آن به عنوان فناوری برای پرداختن به این سؤالات بزرگ است. حتی قابلیت‌های کنونی آن امکان ساخت ساختارهای مهندسی بافت با پیچیدگی را فراهم می‌کند که به ما امکان می‌دهد سؤالات اساسی بیولوژیکی و فیزیولوژیکی را بررسی کنیم، در حالی که پیشرفت‌های مستمر ما را به حل چالش‌های بزرگ زیست‌پزشکی نزدیک‌تر می‌کند.

کمک به فناوری‌ها و دیدگاه تاریخی در چاپ سه‌بعدی، مهندسی

بافت، و چاپ زیستی

چاپ زیستی در تقاطع زمینه‌های بزرگ‌تر پدیدار شده است: تولید مواد افزودنی، مهندسی بافت + پزشکی احیاکننده، و ساخت زیستی (شکل ۱-۲الف). به طور خاص، فناوری‌های ساخت افزودنی (AM) و مهندسی بافت (TE) با هم تا حد زیادی چاپ زیستی را تعریف می‌کنند، و هر دو در اواخر دهه ۱۹۸۰ و در طول دهه ۱۹۹۰ ظهور کردند، که با کار در رابط AM و TE تقریباً از همان ابتدا انجام شد. در حالی که هر دوی AM و TE ریشه در کارهای قبل از اواخر دهه ۱۹۸۰ دارند [۷، ۸]، اولین حق ثبت اختراع برای یک فناوری AM (استریولیتوگرافی) که در آن از اشعه ماوراء بنفش برای خشک کردن یک لایه پلیمر روی دیگری با استفاده از پرتو نور و سخت‌افزار کنترل شده توسط کامپیوتر استفاده می‌شد، در سال ۱۹۸۶ صادر شد. تقریباً در همان زمان، تفجوشی مبتنی بر لیزر مناطق انتخابی یک لایه پودر، و به دنبال آن استفاده مکرر از لایه‌های متوالی پودر و تفجوشی برای ایجاد یک ساختار سه‌بعدی، از جمله استفاده از پودرهای فلزی، توسعه یافت. مدل‌سازی رسوب ذوب شده (FDM)، که در آن از گرما برای اکستروژن رشته‌های ترموپلاستیک یا فلز، لایه به لایه، برای چاپ یک ساختار سه‌بعدی استفاده می‌شد، نیز در پایان دهه ثبت اختراع شد [۸]. چاپ جوهر افشان برای دهه‌ها در این مرحله تأسیس شده بود، و بنابراین در پایان دهه ۱۹۸۰، پایه‌های

تکنیک‌های چاپ اکستروژن، انرژي (نور) و قطره‌ای که امروزه در چاپ زیستی استفاده می‌شود، گذاشته شد (شکل ۱-۲ تا ۱-۵).



شکل ۱-۲- الف) یک نمودار ون که روابط بین فیلدهای AM، TE، و ساخت زیستی را نشان می‌دهد (اندازه‌های دایره دلخواه هستند و نماینده هیچ یک از ویژگی‌های فیلدها نیستند). ب) تصویر شماتیک از ویژگی‌های کلی یک فرآیند SLA. ج) تصویر شماتیک از ویژگی‌های کلی چاپ جوهر افشان. د) تصویر شماتیک از ویژگی‌های کلی ساخت FDM (الف) برگرفته از گرول و همکاران [5] Biofabrication 2016، ب-د) اقتباس شده از مورونی و همکاران [6] Nat Rev Mater 2018.

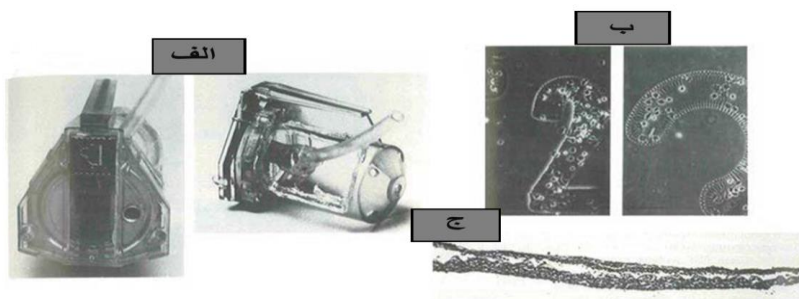
به نظر می‌رسد که تلاش برای به کارگیری مهندسی برای ایجاد بافت‌های زنده به طور جدی در اواخر دهه ۱۹۸۰ آغاز شده است [۷] و در اوایل دهه ۱۹۹۰ که به آگاهی گسترده‌تری رسید، با یک الگو برای بافت‌های مهندسی ایجاد شد. این الگو، که در مرکز TE، و همچنین تلاش‌های چاپ زیستی باقی می‌ماند، استفاده از داربست‌های بیومتریال را توصیف می‌کند که برای پشتیبانی از انواع سلول‌های مربوطه در جهت بازسازی بافت ناقص در بیمار طراحی شده‌اند [۹]. سلول‌ها ممکن است روی (یا در داخل، در مورد هیدروژل‌ها) ساختار داربست در شرایط آزمایشگاهی قرار گیرند، و داربست ممکن است

شامل سیگنال‌های بیوشیمیایی یا نشانه‌های دیگری برای هدایت سلول‌های مرتبط با آن به سمت فنوتیپ‌های احیاکننده باشد. در نهایت، ساختار ماده سلولی در بیمار کاشته می‌شود که به یک بافت جدید تبدیل می‌شود یا توسعه آن را هدایت می‌کند. چالش‌های پیرامون شناسایی و ایجاد ساختارهایی با سلول‌ها، مواد و سیگنال‌های صحیح لازم برای دستیابی به یک نتیجه احیاکننده همچنان در مرکز تحقیقات قرار دارند. جایگزین‌های بافت مهندسی شده کاملاً کاربردی هنوز برای اکثر انواع بافت وجود ندارد. با این حال، فناوری TE و تحقیقات بنیادی که رفتارهای سلولی را درک می‌کند، روابط هم‌افزایی داشته‌اند، و فناوری‌های مرتبط با TE در بسترهای غربالگری دارو [۱۰، ۱۱]، تحقیقات سلول‌های بنیادی و ارگانوئید [۱۲] و محصولات تجاری [۱۳-۱۵] مهم هستند.

اگرچه مهندسی بافت به عنوان یک رشته در اواخر دهه ۱۹۸۰ در مراحل ابتدایی خود قرار داشت و استفاده از فناوری‌های چاپ برای ایجاد ساختارهای سه‌بعدی از سلول‌ها در هیدروژل‌ها نیز بیش از یک دهه بود، یک مقاله قابل توجه وجود دارد که نه تنها دو روش چاپ زیستی را توصیف می‌کند، بلکه مفهوم «سلول‌های ریز موقعیت» برای ایجاد «بافت‌های مصنوعی دو بعدی و سه‌بعدی» را هم توصیف می‌کند [۱۶، ۱۷]. قبل از اینکه مهندسی بافت یا ساخت زیستی به عنوان یک رشته وجود داشته باشد، این مقاله نه تنها فناوری‌های مهندسی بافت پیشرفته را پیش‌بینی می‌کرد، بلکه نشان می‌داد که امروزه هنوز در حال استفاده هستند. قابلیت قرار دادن سلول‌ها در وضوح بالا با چاپ جوهرافشان جوهر زیستی از طریق استفاده از اصلاح استریولیتوگرافی یک بستر نشان داده شد. روشی برای ایجاد چندین لایه از سلول‌ها توضیح داده شد، اگرچه سال‌ها طول می‌کشید تا هر یک از این تکنیک‌ها کاربرد گسترده‌ای داشته باشد (شکل ۱-۳).

در دهه ۱۹۹۰ شاهد توسعه فناوری‌های AM و TE بودیم که هر دو مستقل از یکدیگر بودند، البته با مراحل اولیه در چاپ زیستی. در AM، به کارگیری و اصلاح فناوری جدید تاسیس شده در کنار گسترش مداوم روش‌های AM رخ داد. رابوکستینگ (اکستروژن رباتیک) [۱۸، ۱۹] توسعه یافت و از آن زمان با توجه به سایر تکنیک‌های مبتنی بر اکستروژن متمایز شد، زیرا از موادی استفاده می‌کند که به سادگی از طریق اعمال و

توقف نیروهای محرک جریان، تحت جریان و تثبیت قرار می گیرند. فناوری مبتنی بر لیزر دو فوتون و فمتوثانیه نیز به عنوان یک فناوری ساخت میکرو [۲۰] شناسایی شد، روشی که ساخت افزودنی را قادر می سازد تا به کوچکترین مقیاسها، از جمله زیر حد پراش نور [۲۱] نزدیک شود.



شکل ۱-۳- الف) یک هد چاپ جوهر افشان که برای چاپ مولکولهای با عملکرد زیستی (به عنوان مثال، فیبرونکتین) از جلو (چپ) و کنار (راست) سازگار شده است، جایی که سوراخی در کناره بریده می شود تا کیسه جوهر اصلی را جدا کرده و آن را با یک لوله سیلیکونی که محلول فیبرونکتین در آن وارد شده است جایگزین کند. ب) الگوی فوتولیتوگرافی نواحی چسبنده سلولی. ج) ساخت یک بافت سه بعدی که توسط لایه‌هایی از سلول‌ها تشکیل شده است، با استفاده از روش‌های جوهرافشان بر روی ورقه‌های کلاژن نازک الگوبرداری شده و سپس با کلاژن به هم چسبیده‌اند. این کار در سال ۱۹۸۸ انجام شد (اقتباس از [16] Klebe Exp Cell Res 1988)

لازم به ذکر است که استفاده از عبارت AM در سراسر این فصل، علیرغم استفاده مدرن از 3DP، که اغلب این دو را معادل می‌کند، نسبت به چاپ سه‌بعدی (3DP) انتخاب شده است. این انتخاب به این دلیل انجام شده است که در ریشه‌های تاریخی فناوری AM، چاپ سه‌بعدی به طور خاص به فناوری اطلاق می‌شود که وصله‌ها را روی لایه‌های متوالی پودرها رسوب می‌دهد و AM و ساخت فرم آزاد جامد (SFF) و نمونه‌سازی سریع اصطلاحات کلی‌تری بودند که بخش گسترده‌ای از فناوری‌ها را در بر می‌گرفتند [۲۲]، [۲۳]. به عنوان مثال، SFF نیز یک اصطلاح کلی است و شامل تمام تکنیک‌هایی است که