

فهرست مطالب

پیشگفتار مترجمین.....	۷
فصل اول: مهندسی بافت: مقدمه.....	۹
فصل دوم: سلول‌های بنیادی.....	۲۷
فصل سوم: تشکیل بافت در حین جنین زایی.....	۶۵
فصل چهارم: پیام‌رسانی سلولی.....	۹۹
فصل پنجم: ماتریکس خارج سلولی به عنوان داربست زیستی برای مهندسی بافت.....	۱۳۱
فصل ششم: تجزیه مواد زیستی.....	۱۵۳
فصل هفتم: اثر متقابل سلول-مواد.....	۱۸۳
فصل هشتم: متریومیکس: ابزاری برای توسعه مواد زیستی جدید.....	۲۱۱
فصل نهم: فناوری ریزساخت در مهندسی بافت.....	۲۳۵
فصل دهم: طراحی و ساخت داربست.....	۲۵۷
فصل یازدهم: استراتژی‌های ره‌ایش کنترل شده در مهندسی بافت.....	۲۸۳
فصل دوازدهم: بیوراکتورها: فناوری‌های توانمند برای تحقیق و تولید.....	۳۲۱
فصل سیزدهم: تولید سلول‌های استرومایی مزانشیمی در گرید بالینی.....	۳۴۷
فصل چهاردهم: رگ زایی، بقا، و عملکرد سازه‌های مهندسی بافت.....	۳۸۵
فصل پانزدهم: مهندسی بافت پوست و درمان با سلول‌های بنیادی کراتینوسیت.....	۴۰۷
فصل شانزدهم: بازسازی غضروف و استخوان.....	۴۳۵
فصل هفدهم: مهندسی بافت سیستم عصبی.....	۴۸۱
فصل هیجدهم: اصول مهندسی بافت قلب و عروق.....	۵۱۷
فصل نوزدهم: مهندسی بافت ارگان سیستم.....	۵۶۳
فصل بیستم: ارگان - روی - تراشه (Organs-on-a-Chip).....	۵۸۹
فصل بیست و یکم: فرآیند تولید و طراحی: در راستای تولید صنعتی محصولات مهندسی بافت (TE).....	۶۱۳
فصل بیست و دوم: کاربرد بالینی.....	۶۴۳
فصل بیست و سوم: مسائل اخلاقی در مهندسی بافت.....	۶۶۵
واژه نامه.....	۶۸۷

پیشگفتار مترجمین

پیشرفت‌های علمی بشر حتی یک لحظه هم متوقف نمی‌شود. این پیشرفت‌ها را به طور مداوم و در زمینه‌های گوناگون شاهد هستیم؛ به گونه‌ای که هر روز با دستاوردهای جدیدی در علوم مختلف مواجه می‌شویم. یکی از این علوم که به شدت مورد توجه کشورها و مراکز علمی جهان است، علم مهندسی بافت می‌باشد و پیشرفت‌های زیادی در زمینه پیوند اعضای آسیب‌دیده بدن انسان به وجود آورده است. کتاب حاضر تلاش کرده است تا حدود زیادی مهندسی بافت در ارگان‌های مختلف بدن را توضیح دهد. امید است که مطالعه این اثر بتواند پاسخگوی بخشی از نیاز همکاران برای انجام تحقیقات و درمان‌ها در زمینه پزشکی بازساختی باشد. همانند تمامی آثار انسانی این ترجمه نیز خالی از اشکال نخواهد بود. بی‌صبرانه منتظر پیشنهادات و انتقادات همکاران عزیز در رابطه با این اثر هستیم. در آخر از پرسنل زحمتکش انتشارات رویان‌پژوه کمال تشکر و قدردانی را داریم.

گروه مترجمین

زمستان ۱۴۰۱

مهندسی بافت: مقدمه

در سال ۱۹۹۷، رسانه‌های سراسر جهان تحت تأثیر یکی از مستندهای بی بی سی به اسم «دنیای فردا» قرار گرفتند، که در آن آنچه اکنون به عنوان موش واکانتی شناخته می‌شود، نشان داده شد (Cao et al., 1997). اصطلاح «مهندسی بافت (TE)» دیگر فقط برای تعداد محدودی از دانشمندان که در این زمینه کار می‌کنند آشنا نیست- بلکه برای میلیون‌ها نفر در سراسر جهان شناخته شده است. گرچه آزمایش واکانتی (ضمیمه ۱،۱) برای رشته مهندسی بافت واقعاً مثال مناسبی است، منصفانه است که بگوییم تحولات رسانه‌ای چندان ناشی از آزمایش‌های واقعی نبوده‌اند بلکه بیشتر تحت تأثیر یک موش زیبا بوده است که ظاهراً گوش انسانی در پشت خود دارد. این اولین هیاهوی رسانه‌ای در ترمیم بافت یا اندام نبود و مطمئناً آخرین هم نخواهد بود. اختصاص دادن یک فصل کامل در این کتاب درسی به جنبه‌های امیدوارکننده کار دشواری نیست، که آن را به رسانه‌ها معرفی کرده و تأثیر عمده‌ای در جامعه داشته است. در حالی که در چاپ اول این کتاب، آماده کردن یک فصل در مورد موفقیت‌های واقعی بالینی کار دشواری بود، در این نسخه شاهد افزایش راهبردهای مهندسی بافت و پزشکی ترمیم هستیم که با موفقیت به بیماران ارائه شده‌اند. با این حال، اشتیاق رسانه‌ها برای گزارش پیشرفت‌ها در زمینه مهندسی بافت، ممکن است باز هم تأثیر معکوس ایجاد کند. این اشتیاق، چندان ناشی از تبلیغات دانشمندان مشتاق نیست، بلکه دلیل اصلی تقاضای زیاد جامعه از فناوری‌هایی است که قادر به ترمیم، یا حتی بازسازی بهتر بافت‌ها یا اندام‌های آسیب دیده یا فرسوده هستند.

به صورت سالانه، میلیون‌ها بیمار برای ترمیم بافت، تحت عمل جراحی قرار می‌گیرند. بخش زیادی از آنها به طور رضایت‌بخشی درمان می‌شوند، اما یک سری از این جراحی‌ها چندان مؤثر نیستند، و میلیون‌ها نفر هنوز منتظر درمان‌هایی هستند که حداقل به روشی قابل قبول به آنها کمک کنند. تحلیلی تقریباً کلاسیک در مورد نیاز و فرصت تجاری در علوم در سال ۱۹۹۳ توسط لانگر و واکانتی منتشر شده است که چکیده‌ی آن در زیر آورده شده است.

«از دست دادن یا نقص یک عضو یا بافت یکی از شایع‌ترین، ویران‌کننده‌ترین و پرهزینه‌ترین مشکلات در مراقبت‌های بهداشتی انسان است. این رشته‌ی جدید، یعنی مهندسی بافت، اصول زیست‌شناسی و مهندسی را برای توسعه جایگزین‌های عملکردی برای بافت آسیب دیده اعمال می‌کند. این مقاله به بحث در مورد مبانی و چالش‌های این حوزه‌ی درسی میان رشته‌ای و تلاش‌های آن برای ارائه راه‌حلی برای ایجاد و ترمیم بافت می‌پردازد.» (Langer and Vacanti, 1993 p. 920)

اگر واقعاً این نیاز بسیار مشهود است و این حوزه طی دهه‌های اخیر بسیار رشد کرده است، پس چرا همچنان باید تعداد موفقیت‌های بالینی را بهبود ببخشیم؟ این پدیده دو دلیل عمده دارد. اولاً، تبدیل یک دستگاه پزشکی نسبتاً ساده از یک ایده اولیه به یک واقعیت بالینی گسترده تقریباً حداقل ۱۰ سال طول می‌کشد. از آنجا که فناوری زیربنایی محصولات پیشرفته‌ی مهندسی بافت هنوز چندان شکوفا نشده‌اند و

احتمالاً پیچیدگی بیشتری دارند، انتظار می‌رود که پیشرفت بالینی در این زمینه دهه‌ها طول بکشد، نه فقط چند سال. ثانیاً، مهندسی بافت در واقع یک حوزه‌ی درسی میان رشته‌ای است که دیگر دانش کافی از رشته‌های کلاسیک (به عنوان مثال، فیزیک کوانتوم، شیمی پلیمر، زیست‌شناسی مولکولی، آناتومی) برای جهش‌های اساسی آن کافی نیستند. افراد فعال در این زمینه باید مهارت‌های چند رشته‌ای کسب کنند و مایل باشند مرزهای رشته خود را وسیع‌تر کنند. سن نسبتاً جوان این رشته دستیابی به مهارت را آسان نمی‌کند زیرا کتب اختصاصی در این حوزه هنوز کم است و اغلب با ارائه‌ی مجموعه‌ای از مقالات پژوهشی یا فقط با یک بخش انتخاب شده از کل رشته، افراد مناسب را مخاطب قرار نمی‌دهند. بدون در دسترس بودن گسترده‌ی چنین کتاب‌های درسی، باید نگران بود که تعداد دوره‌های تحصیلات تکمیلی مهندسی بافت که به سرعت در حال افزایش است، به اندازه مورد نیاز مؤثر نبوده و این امر می‌تواند پیشرفت رشته‌ی مهندسی بافت و تبدیل آن به یک رشته‌ی علمی بالغ را مختل کند.

با این حساب، در سال ۲۰۰۴ تصمیم بر این شد که زمان آن فرا رسیده است که گروهی از دانشمندان فعال بین‌المللی گرد هم آیند، کسانی که مایل به مشارکت در یک کتاب درسی باشند، و در آن به ماهیت چندرشته‌ای مهندسی بافت و رشته‌های پایه بپردازند. از آن زمان، این زمینه به طور قابل توجهی بالغ شده است. مهندسی بافت نه تنها موفقیت‌های بالینی بیشتری را شاهد بوده، بلکه به اکتشافات جدیدی در علوم پایه، فناوری‌ها و روش‌های جدید در علوم کاربردی دست یافته، که با یکدیگر همسو شده‌اند. با توجه به چاپ اول، ساختار کتاب کمی تغییر کرده است. ما همچنان به جای تحقیقات بنیادی از تحقیقات کاربردی استفاده می‌کنیم، اما مقیاسی را نیز ارائه داده‌ایم که موضوعات از مقیاس‌های کوچک (به عنوان مثال، مولکول‌های کوچک) به مقیاس بزرگ (به عنوان مثال، بافت‌ها و اندام‌ها) تبدیل شوند. این مسئله در هر فصل توسط ماتریکسی مشخص ارائه و در آن سطح تحقیق و مقیاس موضوع تعیین شده است (شکل ۱-۱).

منطق این ماتریکس، از پیچیدگی ذاتی و بین رشته‌ای بودن مهندسی بافت، پویایی این رشته و همچنین از اعتقاد نویسندگان مبنی بر اینکه این ماتریکس می‌تواند به عنوان نقشه‌ای برای ورود دانشجویان به دنیای مهندسی بافت باشد، نشات می‌گیرد.

		Scales of life			
		Molecules / elements	Cells / materials	Tissue / organ	Clinic/industry
From understanding to process	CHAPTER				
	MATRIX				
	Biology				
	Chemistry - physics				
	- mechanics				
	Tools from in-silico to in-vivo				
	Engineer - process				
	Integrate - scale up				

شکل ۱-۱ طراحی جدولی از نحوه‌ی نگارش کتاب.

مهندسی بافت چیزی بیش از مجموع موارد تشکیل دهنده‌ی آن است. ترکیب آنها ابعاد، بینش‌ها و سوالاتی جدیدی را ایجاد می‌کند که باید مورد توجه قرار گیرند. از این رو، اختصاص یک فصل در خصوص ماتریکس، با نشان دادن پیوندهای منطقی بین تمام عناصر سازنده، مسیر بین رشته‌ای و کاربردسازی را که مهندسی بافت باید طی کند، بهتر نشان می‌دهد. نویسندگان تصور می‌کنند که این روش می‌تواند این کتاب را به یک کتاب راهنما تبدیل کند که می‌تواند راهنمایی برای آینده تحقیق باشد، مهندسی بافت را وارد زمینه‌ی بالینی کند و به مهندسان واقعی آموزش بدهد.

کلمه «ماتریکس» خود نمونه خوبی از بعد جدیدی است که مهندسی بافت ایجاد می‌کند. ماتریکس یک اصطلاح ثابت است که هم از طریق زیست‌شناسی و هم از جنبه‌های مهندسی شناخته شده است. از منظر زیست‌شناسی، مقیاسی از تشکیل بافت، و محیطی درون جانداری است و برای مهندسی ابزاری است که امکان توسعه‌ی یک راهبرد تحقیقاتی را فراهم می‌کند که بر مبنای متغیرها و پارامترهای زیادی است. وقتی این دو تعریف بتوانند از طریق «نقشه‌ی ماتریکسی» که معرفی کردیم با هم ادغام شوند، اولین نشانه این است که یک زبان مشترک ایجاد کرده‌ایم و در مسیر درست مهندسی زیست‌شناسی سلول قرار داریم. با استفاده از این «نقشه‌ی ماتریکس»، خواننده ابتدا با اصول بنیادی نوع سلول مواجه می‌شود که مهندسی بافت را به عنوان بخشی از داروهای ترمیمی تبدیل می‌کند: سلول بنیادی. **سلول‌های بنیادی** (فصل ۲) جنبه‌های مختلف این سلول را مورد بررسی قرار می‌دهد و نشان می‌دهد که سلول بنیادی از نوع سلول واحد نیست، بلکه در واقع، گروه‌های مختلفی از سلول‌ها را، از سلول بنیادی جنینی به سلول بنیادی بالغ که ظاهراً از قدرت کمتری برخوردار است، شامل می‌شود. با آگاهی به این دانش، خواننده متعاقباً به تشکیل بافت در تکوین رویانی (فصل ۳)، جایی که تشکیل بافت در جنین مورد بحث قرار می‌گیرد، هدایت می‌شود. اگرچه اکثر مهندسی‌ین بافت وارد حوزه زیست‌شناسی تکوینی نمی‌شوند و تحقیقات بیشتر بر زیست‌شناسی تکاملی نوین در مهندسی بافت در حال ظهور تاکید دارند، اما احساس می‌کنیم که این بخش باید در آینده تقویت شود و امیدواریم که این فصل هرچه بیشتر باعث این شود که دانشمندان جوان وارد چنین حوزه‌ی ضروری شوند، زیرا به آنها این امکان را می‌دهد که ساز و کارهای رشد بافت و اندام را بهتر درک کنند و آنها را در راهبردهای جدید مهندسی بافت پیاده‌سازی کنند. بدیهی است که بیشتر سازه‌های مهندسی بافت پس از تولد در جنین کاشته نمی‌شوند بلکه در انسان بعد از به دنیا آمدن کاشته می‌شوند. بافت‌ها هم در جنین و هم بعد از تولد در یک فرد معمولاً، اگرچه نه همیشه، حاوی انواع مختلفی از سلول هستند. درک چگونگی تعامل این سلول‌ها برای موفقیت مهندسی بافت اصلی محوری است. پیام‌رسانی سلولی (فصل ۴) چنین بینشی را ارائه می‌دهد. علاوه بر این، علی‌رغم تمام توجهی که رسانه‌ها به سلول‌های بنیادی دارند، در واقع سلول‌ها تنها بخش کوچکی از بافت زنده را نشان می‌دهند. همه، یا حداقل اکثر سلول‌ها با یک ماتریکس خارج سلولی (ECM) در تعامل هستند که برخلاف نظر اشتباه برخی مهندسان و حتی زیست‌شناسان، چیزی بیش از پشتیبانی مکانیکی ارائه می‌دهد و به تعاملات بیولوژیکی بدن ما می‌افزاید. از آنجا که مهندسی بافت به طور معمول داربست‌ها را با اجزای فعال بیولوژیکی مانند سلول‌ها یا عوامل رشد ترکیب می‌کند، احساس کردیم که باید یک فصل درباره‌ی معادل زیستی ماتریکس خارج سلولی به عنوان یک داربست زیستی در مهندسی بافت (فصل ۵) ارائه شود. همانطور که بسیاری از اجزای ECM به عنوان منابع زیست ماده در نظر گرفته می‌شوند، در این فصل هم چگونگی استفاده از ECM به عنوان داربستی برای مهندسی بافت را معرفی می‌کنیم.

در این مرحله از کتاب، تغییر در جنبه‌های بنیادی مهندسی صورت گرفته است. بیشتر مهندسان بافت به طور فعال در طراحی داربست یا ماتریکس مصنوعی و طبیعی فعالیت می‌کنند و ترجیح می‌دهند پس از کاشت این نوع تخریب‌ها را داشته باشند. این مسئله دلیل خوبی دارد زیرا وجود طولانی مدت مواد خارجی در بدن ممکن است باعث ایجاد انواع اثرات ناخواسته مانند عفونت مرتبط با ایمپلنت یا جهش‌زایی شود. در فصل تخریب مواد زیستی (فصل ۶) جنبه‌های تخریب ایمپلنت را مورد بحث قرار می‌دهیم و بینشی عمیق‌تر از فعل و انفعالات بین مواد و سیستم زنده، تخریب سرامیک و پلیمر، به ویژه در رابطه با عملکرد آنها و انتشار محصولات حاصل از تخریب آنها، معرفی می‌کنیم. بدیهی است که با تغییر در مواد شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی و یا خواص سطحی مواد زیستی، در نتیجه برهمکنش سلول و مواد تأثیر می‌گذارد. تأثیر خواص مواد زیستی در تعامل بین سلول‌ها و مواد زیستی در فصل ۷ تحت عنوان فعل و انفعالات سلول - مواد بحث شده است. این تغییرات ممکن است نامحدود باشند، در نتیجه چالش‌هایی برای ارائه‌ی ابزارها و سنجش‌های جدید ایجاد می‌کند که باعث می‌شوند به طور موثرتر بتوان تعامل سلول- مواد زیستی را مهندسی کرد. فصلی با عنوان متریومیکس: جعبه ابزار برای تولید مواد بیولوژیکی جدید (فصل ۸) فن‌آوری‌ها و روش‌های اخیر را توصیف می‌کند که برای اجرای غربالگری با کارایی بالا از فعل و انفعالات سلول و مواد و ارتباط این راهبرد برای مهندسی بافت توسعه یافته‌اند. اگرچه برخی از کاربردها شامل تزریق مستقیم سلول به بافت‌هایی است که فرد قصد بازسازی آنها را دارد، اما بیشتر محققانی که در زمینه مهندسی بافت فعالیت می‌کنند و با سلول‌های کشت شده کار می‌کنند، برای کاشت ترکیب سلول‌ها و داربست‌ها تلاش می‌کنند. این سازه‌های به اصطلاح ترکیبی معمولاً سه‌بعدی خواهند بود و باید به سلول‌ها و مواد مغذی دسترسی داشته باشند و یا مجبور می‌شوند مواد مایع فعال و مواد زائد را به بیرون هدایت کنند. فصل‌های فن‌آوری ریزساخت در بافت مهندسی (فصل ۹) و

طراحی و ساخت داربست (فصل ۱۰) خواننده را با فن‌آوری‌های مختلف و روش‌های ساخت داربست و توضیح معیارهای این داربست‌ها آشنا می‌کند. طراحی داربست‌ها هم ممکن است شامل ترکیبات فعال بیولوژیکی باشد که می‌توانند در دسترس سلولهای موجود در سازه قرار بگیرند یا آزاد شوند تا در بافتهای جاندار که دستگاه در آن کاشته شده است، اثراتی ایجاد کند. جنبه‌های مختلف این سیستم‌های انتشار در فصل راهبردهای انتشار کنترل شده در مهندسی بافت (فصل ۱۱) ارائه شده است. در حالت ایده آل، محققانی که روی یک ساختار ترکیبی کار می‌کند و فصل‌ها را به شکلی که گفته شدند دنبال می‌کند، اکنون با یکی از موانع اصلی مهندسی بافت روبرو است: نحوه‌ی شروع و نظارت بر رشد سلول و تشکیل ECM در سازه‌های سه‌بعدی (۳D) از ابعاد بالینی (معمولاً سانتی متر در مقابل میلی متر در بسیاری از مطالعات آزمایشگاهی و حیوانی). این چالش‌ها، مبانی اساسی و برخی راه‌حل‌ها در فصلی با عنوان راکتور زیستی: فناوری‌های توانمندساز برای تحقیق و تولید (فصل ۱۲) بحث شده‌اند.

پس از در نظر گرفتن جنبه‌های اساسی فوق، اکنون متن به تدریج به سمت دانشی می‌رود که ارتباط عملی مستقیمی با روند واقعی مهندسی بافت دارد. علاوه بر این، فصل‌ها به طور فزاینده‌ای ماهیت چند رشته‌ای این زمینه را نشان می‌دهند، و بیشتر و بیشتر از سطح اساسی به سطح کاربردی که قبلاً ذکر شد حرکت می‌کنند. همانطور که قبلاً در فصل سلولهای بنیادی توضیح داده شد (فصل ۲)، سلول‌های مختلفی وجود دارد که می‌توان از آنها برای تولید بافت استفاده کرد. فصل سیرزدهم، تحت عنوان میزان تولید بالینی سلولهای استرومایی مزانشیمی، در مورد این موضوع بیشتر توضیح داده می‌شود، سلول‌های استرومایی مزانشیمی مغز استخوان انسان را به عنوان مثال در نظر می‌گیرد و روشهایی را که برای جداسازی، گسترش، تعیین مشخصات و حفظ این سلولها استفاده می‌شود، بررسی می‌کند. هنگام انجام این مراحل برای به دست آوردن سلولهایی در سطح بالینی توجه ویژه‌ای صورت می‌گیرد. چالش دیگر موفقیت سازه‌های مهندسی بافت در کلینیک‌ها، راهبرد استفاده شده برای عروقی‌سازی این سازه‌ها است. به طور معمول، این چالش را می‌توان از دو طریق برطرف کرد، یا با تقویت رشد درجای عروقی از بافت‌های اطراف یا با مهندسی شبکه عروقی در شرایط آزمایشگاهی در بافت. این راهبردها بیشتر در زمینه‌ی بهبود ادغام ساختار مهندسی بافت با بافت میزبان در فصل ۱۴ تحت عنوان عروق، بقا و عملکرد سازه‌های ساخته شده از بافت مورد بحث قرار می‌گیرند. اگرچه تحت پوشش قرار دادن همه‌ی موضوعاتی که می‌توان برای آنها استدلال کرد ضروری نیست، اما محققان فکر می‌کنند که این ۱۴ فصل اول پایه‌ی محکمی را برای دانشجویانی که مایل به درک درستی از مهندسی بافت هستند فراهم می‌کند. بیشتر تلاش‌های تحقیقاتی بین‌المللی در راستای علم مهندسی بافت براساس تریبی است که در این فصل‌ها ارائه شده است. اما همچنین منصفانه است که بگوییم هنوز باید برخی از مهمترین چالش‌ها را در ایجاد مهندسی بافت به یک واقعیت بالینی گسترده پیدا کرد. این جنبه‌های بالینی در ۹ فصل باقی مانده بررسی می‌شوند.

در انتخاب گزینه‌ای که در مورد کاربردهای بالینی مورد بحث قرار می‌گیرد، ویراستاران با کاری دشوار روبرو می‌شوند. محققان در سراسر جهان در حال حاضر توجه خود را بر روی ترمیم یا بازسازی بسیاری از بافت‌ها و اندام‌ها متمرکز کرده‌اند. تقریباً مطمئناً بیشتر آنها، اگر نگوئیم همه، ارزش مطرح شدن در این کتاب را دارند، اما این امر منجر به حجم بالا و غیرقابل قبول یا فقدان ظرافت و جزئیات کافی در هر فصل می‌شود. در انتخاب افراد، احساس کردیم که آن دسته از بافتهایی که از لحاظ تاریخی ابتدا به عرصه‌ی مهندسی بافت منتقل شدند و در واقع کاربرد نسبتاً گسترده‌ای پیدا کرده‌اند، مطمئناً در اینجا باید مطرح شوند. بنابراین، احساس می‌کنیم که اکثر افراد موافق این مسئله هستند که مهندسی پوست و درمان از طریق سلولهای بنیادی کراتینوسیت (فصل ۱۵) و غضروف و بازسازی استخوان (فصل ۱۶) فصل‌هایی اضافه شده به این کتاب بر اساس مشاهدات تاریخی هستند. ارتباط بالینی می‌تواند یکی دیگر از معیارهای انتخاب باشد. بیماری‌های عصبی و قلبی عروقی نمونه‌ای از این روش است. این حوزه‌های تحقیقاتی نه تنها مهم هستند، بلکه این احتمال که روزی مهندسی بافت در تسکین مشکلات مبتلایان به ضایعات عصبی یا قلبی عروقی نقش مهمی داشته باشد اهمیت خاصی دارند. از این رو یک فصل در مورد مهندسی بافت سیستم عصبی (فصل ۱۷) و یک فصل در مورد اصول مهندسی بافت قلب و عروق (فصل ۱۸) داریم. هر دانشمندی که از شهرت خاصی برخوردار باشد و در زمینه مهندسی بافت فعالیت کند، مرتباً با سوالاتی مانند این روبرو می‌شود: چه موقع کلیه یا کبدمان به طور کامل رشد می‌کنند؟ جایگزینی کل اعضای بدن یک چالش است، فقط به این دلیل که ما را مجبور می‌کند چندین بافت را در یک سیستم ترکیب کنیم. به تعبیری می‌توان گفت که مهندسی بافت را می‌توان با خانه‌ای مقایسه کرد که در آن عناصر ارائه شده (مثلاً پنجره‌ها، درها و

غیره) برای ایجاد خانه باید در کنار هم قرار بگیرند. این مسئله ما را متقاعد کرد که فصلی در مورد مهندسی بافت سیستم‌های ارگان (فصل ۱۹) ارائه دهیم. در مبنای ارزشمند چند رشته‌ای مهندسی بافت، فصلی در مورد موضوع در حال ظهور اندام روی تراشه (فصل ۲۰) اهمیت به سزایی دارد. در اینجا، ترکیبی از سیستم عامل‌های مختلف فن‌آوری با نتایج زیست منطقی و پزشکی منجر به ایجاد معادلات بافتی سه بُعدی در شرایط برون تنی می‌شود که می‌توانند عملکردهای اصلی اندام‌های هدف را جمع‌آوری کنند. علی‌رغم این واقعیت که از بافتهای حاصله لزوماً در مفهوم کلاسیک مهندسی بافت استفاده نمی‌شود، اما در جایی که اصول مهندسی بافت در خدمت ایجاد یک مدل سه‌بعدی تقلیدی عملکردی از اندام هدف بهتر از مدل‌های دو بُعدی رایج استفاده شده است، این مسئله به یک واقعیت تبدیل می‌شود تا درک ساز و کارهای آسیب‌شناختی و یافتن روش‌های درمانی ممکن شود. در ضمن، این فناوری در حال ظهور توانایی کاهش شدید آزمایش حیوانات را دارد، بنابراین به طور بالقوه می‌تواند راه حلی برای نگرانی‌های اخلاقی مرتبط با آن ارائه دهد. برخی از بخش‌ها هستند که ممکن است به طور مستقیم تولید بافت یا جایگزین اندامی را شامل نشوند، اما هنوز هم در توسعه و پذیرش کلی این رشته اهمیت دارند. بنابراین، سردبیران تصمیم گرفتند که سه فصل دیگر در مورد کنترل کیفیت، دستورالعمل‌ها و مقررات لازم برای آوردن محصولات مهندسی بافت به کلینیک‌ها اضافه کنند. در نهایت، سازه‌های مهندسی بافت باید در یک گیرنده انسانی قرار بگیرند. این بخش مسئولیت اصلی را به عهده محققان و پزشکان متخصص در این فرآیند می‌گذارد. طبیعتاً حداقل شرط لازم ایمن بودن سازه است و این که به بیمار آسیب نرساند، و ترجیحاً نسبت به روش‌های درمانی موثرتر باشد. علاوه بر این، سازه‌ها باید به روشی قابل تکرار و قابل ردیابی تولید شوند، به طوری که در طول فرآیند بتوان هر مرحله را کنترل و نظارت کرد تا از کیفیت بالا و یکسان اطمینان حاصل شود. اصول اصلی این فرآیندها در فصلی تحت عنوان طراحی محصول و فرآیند: به سمت تولید TE صنعتی (فصل ۲۱) شرح داده شده است. جنبه‌های عملی و نظارتی که برای مرحله نهایی لازم است، یعنی کاربرد بالینی محصولات مهندسی بافت، در فصل کاربرد بالینی (فصل ۲۲) بحث می‌شود. جدا از این، یک مسئله‌ی مهم برای هر فناوری جدید که اغلب توسط دانشمندان دست کم گرفته می‌شود، مربوط به جنبه‌های اخلاقی چنین فناوری‌هایی است. برای دیدن اینکه مهندسی بافت قطعاً در میان رشته‌هایی قرار دارد که مستعد بررسی اخلاقی هستند، به کمی تخیل نیاز دارد. نه تنها باید صادقانه به جنبه‌های اخلاقی رشته خود علاقه‌مند باشیم، بلکه باید کاملاً درک کنیم که پذیرش عمومی و بحث اخلاقی مربوط به آن، تعیین‌کننده مهمی برای کاربرد گسترده فناوری توسعه یافته ما خواهد بود. با توجه به این مسائل، یک فصل آخر در مورد مسائل اخلاقی در مهندسی بافت (فصل ۲۳) است. یک خواننده‌ی دقیق ممکن است متوجه شده باشد که این فصل با ارائه تعریفی در مورد مهندسی بافت شروع نمی‌شود، بلکه نمای کلی از آن به ما می‌دهد. این کار را عمداً انجام دادیم. اغلب دانش‌آموزان با تعاریفی روبرو می‌شوند که انتظار می‌رود آنها را به عنوان حقیقت نهایی بپذیرند. در واقع، هر تعریفی هم طرفدار دارد و هم مخالف، و این مسئله قطعاً در زمینه مهندسی بافت نیز صدق می‌کند. بنابراین، به جای اینکه انتظار داشته باشیم همه با مجموعه‌ای یکسان از تعریف موافقت کنند، سعی کرده‌ایم خواننده را به استفاده از تعاریفی که به آن اعتقاد دارد ترغیب کنیم. امید ویراستاران این است که فصولی که در این کتاب گنجانده شده است، پایه‌ی محکمی در مهندسی بافت فراهم کند. جدا از توضیح اینکه هدف این کتاب درسی چیست و چگونه سعی در دستیابی به این هدف داشتیم، ممکن است همین فصل مقدمه از این جهت مفید باشد که باید از هدف سایر فصل‌ها یک قدم جلوتر باشد. در حالی که هر یک از فصل‌های باقیمانده بر روی عنصر خاصی از مهندسی بافت تمرکز دارند، اما به طور خاص به ارائه نمای کلی این زمینه اختصاص ندارند. به طور خاص، تمام حوزه‌هایی که در آن پیشرفت اتفاق می‌افتد برای پیشرفت بیشتر رشته‌ی ما نیز هیجان‌انگیز و مهم است.

در برخورد با برخی از این جنبه‌ها ممکن است مشخص شود که این حوزه به کجا می‌رود. نه تنها این مسئله نشان می‌دهد که، در واقع، در سال‌های آینده مهندسی بافت به احتمال زیاد به رفاه میلیون‌ها نفر کمک می‌کند که البته هیچ توجیهی هم ارائه نمی‌دهد که این رشته بدون پیشرفت بماند، بلکه همچنین دریچه‌ی دیگری برای ما باز می‌کند و آن هم این است: مهندسی بافت سرگرم‌کننده است! این موضوعی است که غالباً فراموش می‌شود اما قابل توجه نیست. محققان نه تنها باید توجیه تلاش‌های خود را که منجر به منافع جامعه می‌شود، پیدا کنند، بلکه در مسیر این علم سرگرمی‌هایی هم داشته باشند. از این گذشته، موضوعی مانند مهندسی بافت کاملاً پرمجااست و معمولاً شامل ترکیب دانش رشته‌های مختلف در یک پروژه تحقیقاتی است. پیچیدگی چنین ترکیباتی زمینه را از نظر فکری به چالش می‌کشد و امکانات به گونه‌ای است که فضای کافی برای شناسایی تلاش‌های فردی وجود دارد. این واقعیت که یک آزمایش موفق ممکن است این فناوری