حسین بهاروند، استاد ممتاز و مؤسس پژوهشکده‌ی زیست‌شناسی و فناوری سلول‌های بنیادی پژوهشگاه رویان است. در سال ۱۳۷۳ مدرک کارشناسی خود را از دانشگاه شیراز، در سال ۱۳۷۵ مدرک کارشناسی ارشد خود را از دانشگاه شهید بهشتی و مدرک دکترای خود را در رشته‌ی زیست‌شناسی تکوینی از دانشگاه خوارزمی (تربیت معلم سابق) در سال ۱۳۸۳ دریافت کرد. وی در سال ۱۳۷۴ به پژوهشگاه رویان پیوست. او در سال ۱۳۸۲ برای اولین بار سلول‌های بنیادی رویانی (جنینی) انسانی و موشی را در ایران تولید کرد و در سال ۱۳۸۷ به همراه همکارانش موفق به تولید سلول‌های بنیادی پرتوان القائی (iPS) انسانی و موشی شد. این فعالیت‌ها او و همکارانش را قادر ساخت تا شاخه‌های مختلف پزشکی بازساختی را در ایران پایه‌گذاری و پیگیری کنند. زمینه‌های پژوهشی او پیرامون ارتقاء تحقیقات ترجمانی و پزشکی بازساختی از دیدگاه سلول‌های بنیادی، زیست‌شناسی تکوینی و مهندسی با الهام از طبیعت است. وی روی دگرتمایزی و تمایز سلول‌های بنیادی پرتوان به سلول‌های قلبی، عصبی و کبدی تحقیق می‌کند و درباره‌ی سازوکارهای پرتوانی و زیست‌شناسی سلول‌های زایا مطالعه می‌نماید. ایشان در کارآزمایی‌های بالینی متعدد و پیوند سلول‌های بنیادی بافتی مشارکت داشته است و در زمینه‌ی توسعه‌ی تولید صنعتی سلول فعالیت می‌کند. او به عنوان سخنران مدعو در بسیاری از کنفرانس‌های علمی ملی و بین‌المللی از جمله انجمن جهانی تحقیقات سلول‌های بنیادی (ISSCR، ۱۳۹۷) حضور داشته است. از وی ۴ کتاب به زبان انگلیسی توسط انتشارات Springer و John Wiley به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۴ چاپ شده است. تاکنون بیش از ۳۸۰ مقاله‌ی بین‌المللی، بیش از ۱۰۰ مقاله‌ی داوری‌شده‌ی داخلی به همراه ۷ فصل در کتب بین‌المللی از ایشان به چاپ رسیده است. ۷ کتاب تألیفی به زبان فارسی و ۸ کتاب ترجمه‌شده از دیگر آثار وی هستند. هم‌چنین ۸ تصویر از مقالات شاخص وی روی جلد مجلات بین‌المللی چاپ شده است. با استناد به Google Scholar تاکنون بیش از یازده‌هزار بار به مطالعات ایشان ارجع شده و دارای h-index ۵۱ است.

حسین بهاروند عضو هیئت تحریریه‌ی هشت مجله‌ی علمی بین‌المللی از جمله Journal of Biological Chemistry و Scientific reports بوده و دارای ۳ اختراع ثبت شده در آمریکاست. وی بیش از ۳۰ عنوان جایزه‌ی ملی و بین‌المللی را از جمله جایزه‌ی محقق برتر

جهان اسلام (ISESCO) در سال ۱۳۸۹، جایزه‌ی بین المللی یونسکو در حوزه‌ی علوم زیستی در سال ۱۳۹۳ و ، جایزه‌ی بین‌المللی آکادمی جهانی علوم (TWAS) برای تولید و نگهداری سلول‌های بنیادی و ارائه‌ی مفاهیم جامعی از پرتوانی و تمایز این سلول‌ها در سال ۱۳۹۸ دریافت نموده است. همچنین در سال ۱۳۹۸ او موفق به کسب جایزه‌ی مصطفی، نشان عالی علم و فناوری جهان اسلام برای تحقیقات ترجمانی سلول‌های بنیادی به عنوان اثر نوآورانه و زمینه‌ساز ارتقاء زندگی بشری شد. وی برنده‌ی دهمین، دوازدهمین و هفدهمین جشنواره‌ی رازی (سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۱) و بیست و ششمین و سی و دومین جشنواره‌ی بین‌المللی خوارزمی (سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۷) شده است. در سال ۱۳۸۹ در بیست و هفتمین دوره‌ی کتاب سال جمهوری اسلامی ایران، کتاب سلول‌های بنیادی وی به عنوان کتاب برگزیده شناخته شد. به پاس تلاش مؤثر برای ترویج و ارتقاء علم در کشورهای در حال توسعه، او از دی ماه ۱۳۹۸ به عضویت آکادمی جهانی عوم (TWAS) درآمد.

تاکنون ۳ شرکت از بستر تحقیقاتی پژوهشکده‌ی زیست‌شناسی و فناوری سلول‌های بنیادی شکل گرفته‌اند که شامل سِل‌تِک‌فارمد (کارخانه‌ی تولید سلول برای سلول‌درمانی)، زیست‌تِک‌پژوه (تولیدکننده‌ی پروتئین‌های نوترکیب) و شرکت فناوری بُن‌یاخته‌های رویان (ذخیره‌سازی خون بندناف) است. او به همراه تیم خود تلاش فراوانی در جهت گسترش علم زیست‌شناسی سلول‌های بنیادی در ایران کرده است که در این راستا، «آزمایشگاه سلول‌های بنیادی برای همه» و «آزمایشگاه سیار سلول بنیادی» را که یک اتوبوس با آزمایشگاه مجهز است راه‌اندازی نموده‌اند. هدف از این روش آموزش و یادگیری مشارکتی، ایجاد انگیزه و توانمندسازی دانش‌آموزان برای دستیابی به علم، مهارت نگرش و ارزش‌هایی است که برای شکل‌گیری آینده‌ای پایدار برای علم سلول‌های بنیادی ضروری است. او همچنین به همراه تیم خود از سال ۱۳۸۹ "مدرسه تابستانی بین‌المللی رویان" را به صورت سالانه برگزار کرده است که در آن، شرکت‌کنندگان توسط سخنرانان دعوت شده از خارج کشور آموزش می‌بینند تا بدین وسیله امکان تعاملات بین‌المللی و ملی افزایش یابد.

محمد کاظمی آشتیانی در سال ۱۳۸۹ در رشته‌ی مهندسی پلیمر از دانشگاه صنعتی امیرکبیر فارغ التحصیل شد. علاقه‌مندی او به علوم زیستی باعث شد تا تحصیلات مقطع کارشناسی ارشد را در گروه زیست‌مواد پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران ادامه دهد. او کارشناسی ارشد و دوره‌ی دکتری خود را به ترتیب در سال ۱۳۹۱ و ۱۳۹۷ به پایان رساند و از سال ۱۳۹۰ به عنوان پژوهشگر فعالیتش را در پژوهشگاه رویان آغاز نمود. وی هم‌اکنون عضو هیئت علمی و مدیرگروه «مهندسی سلول» است. در این گروه فعالیت‌های بین‌رشته‌ای با همکاری مهندسان، زیست‌شناسان و پزشکان در زمینه‌ی مهندسی پزشکی انجام می‌شود. بیشتر فعالیت‌های پژوهشی او در زمینه‌ی طراحی داربست‌های پلیمری، سامانه‌های رهایش کنترل شده و اصلاح سطح پلیمرها برای ساخت پروتزها و درمان بیماری‌های مختلف مانند دیابت، قلبی عروقی، فیبروز کبدی و سوختگی با رویکرد مهندسی بافت است و در این زمینه‌ها تجربه‌ی چاپ چندین مقاله‌ی بین‌المللی، ارائه‌ی پوستر و سخنرانی در همایش‌ها و هم‌چنین داوری در طرح‌های پژوهشی، مقالات مجلات و سمپوزیوم‌های بین‌المللی داشته است. فعالیت‌های آموزشی او در دانشگاه شامل تدریس در دروس مختلف برای دانشجویان رشته‌های مهندسی بافت، سلولی کاربردی، زیست‌شناسی تولیدمثل و زیست‌شناسی تکوینی و برگزاری بیش از ۱۵ کارگاه آموزشی در زمینه‌ی مهندسی بافت و نانوفناوری در کشور بوده است. وی علاوه بر آموزش دانشگاهی، به تدریس «علم به زبان ساده» برای دانش‌آموزان و مخاطبان عمومی علاقه‌مند است.

پیش گفتار

رنج و درد بیماری و از دست رفتن انسان‌ها بر اثر آن از دیرباز ذهن بشر را به خود مشغول کرده است. انسان با استفاده از عناصر طبیعت به دنبال به‌کارگیری روش‌هایی برای کنترل و درمان بیماری‌ها بوده است. در این میان رویاهای بسیاری از قرن‌ها پیش در سرپرورانده و با پیشرفت علم، بلندپروازانه برای تحقق‌شان تلاش کرده است. صد سال پیش سخن از پیوند عضو به یک انسان ایده‌ای دست‌نیافتنی بود؛ اما امروزه جان هزاران نفر با این رویای تعبیر شده نجات یافته است. پیوند موفقیت‌آمیز اعضاء، پایانی بر بلندپروازی بشر برای درمان رنج‌های جسمی‌اش نیست. آیا تاکنون به تولید کبد، قلب و یا سایر اندام‌های انسانی در محیط آزمایشگاهی و یا به ترمیم یک اندام آسیب دیده فکر کرده‌اید؟ آیا با الهام از بدن موجودات زنده به تولید محصولاتی برای ترمیم اندام‌ها اندیشیده‌اید؟ و آیا از تولید مغز با قابلیت یادگیری در محیط آزمایشگاهی تصویری ساخته‌اید؟ دانشمندان عرصه‌ی زیست‌شناسی و پزشکی، رویای پاسخ به چنین سوالاتی را در سر دارند. این رویا در سال ۱۹۸۱ با تولید سلول‌های بنیادی رویانی (جنینی) موشی، در سال ۱۹۹۸ با تولید سلول‌های بنیادی رویانی (جنینی) انسانی و در سال ۲۰۰۶ با تولید سلول‌های بنیادی پرتوان القایی (iPS) به واقعیت نزدیک شده است.

سلول‌های بنیادی، با توان خودنوزایی (توان تقسیم و حفظ پتانسیل تکوینی) هستند که قابلیت تمایز به تمامی انواع سلول‌های بدن را دارند. این سلول‌ها را می توان از رویان (جنین) قبل از لانه‌گزینی، بافت‌های افراد بزرگسال و یا از بازبرنامه‌ریزی سلول‌های بافت افراد، بدون در نظر گرفتن سن آن‌ها به دست آورد و یا تولید نمود که به ترتیب به آن سلول‌های بنیادی رویانی، سلول‌های بنیادی بافتی و سلول‌های بنیادی پرتوان القایی (iPS) می گویند.

سلول‌های بنیادی، نه‌تنها در شناخت ما از تکوین جنین انسان، بافت و اندام‌های بدن انسان و عملکرد ژن‌ها می‌توانند مؤثر باشند، بلکه در توسعه‌ی داروسازی، پزشکی بازساختی و حتی پزشکی آینده نیز بسیار مؤثرند. به طوری که از علم و فناوری سلول‌های بنیادی به عنوان انقلاب چهارم در زیست‌شناسی و پزشکی یاد می‌شود. قابل ذکر است که کاشف سلول‌های بنیادی رویانی موشی مارتین جان اونز (Martin John Evans) به همراه الیور اسمیتز (Oliver Smithies) و ماریو کاپچی(Mario Capecchi) به دلیل تولید این سلول‌ها و دست‌ورزی ژنتیکی آن‌ها و تولید موش‌های تراریخته به عنوان مدل بیماری‌های انسانی، در سال ۲۰۰۷ موفق به اخذ جایزه‌ی نوبل پزشکی شدند. در سال ۲۰۱۲ نیز جان برتراند گوردون (John Bertrand Gurdon) که پیشگام در علم شبیه‌سازی جانوری و انتقال هسته بود، به همراه شینیا یاماناکا (Shinya Yamanaka) که مبدع بازبرنامه‌ریزی سلولی و تولید سلول‌های بنیادی پرتوان القایی بود، جایزه‌ی نوبل در پزشکی را دریافت کردند. واقعیت آن است که اگرچه استفاده از دارو اساس درمان در طب امروز به شمار می‌رود، پزشکی آینده همراه با پزشکی بازساختی است. پزشکی بازساختی شامل ترمیم، جایگزینی و یا بازسازی بافت‌ها و اعضاء آسیب دیده با کمک سلول‌های بنیادی و یا سلول‌های دیگر در تلفیق با سایر علوم نظیر مهندسی است.

در اینجا قصد دارم دیدگاهم را در مورد پزشکی آینده با شما به اشتراک گذارم. این‌که در پزشکی کجا بوده‌ایم و کجا هستیم را می‌دانیم؛ این‌که گذشته‌ی درخشانی در این خصوص داشته‌ایم و در حال حاضر نیز جزء پیشگامان سلامت بشریت هستیم؛ این‌که اقدامات شگرفی چون پیوند کبد از دهنده‌ی زنده را توسط عزیزانی چون دکتر سید علی ملک‌حسینی از دانشگاه علوم پزشکی شیراز تجربه کرده‌ایم و هم‌چنین در روش‌های نوین درمان سرطان پیشرفت قابل ملاحظه‌ای داشته‌ایم؛ اما در پزشکی آینده (تا حدود سی سال آینده) به مدد پروردگار و با همت بشر، بسیاری از بیماری‌های صعب العلاج به سرعت قابل تشخیص و درمان خواهند بود و در مدت زمان کوتاهی و با هزینه‌ای کمتر، کل ژن‌های یک فرد مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و بر مبنای آن درمان شروع می‌شود. بسیاری از بافت‌ها قابل ترمیم خواهند بود و اندام‌های مشابه با اندام‌های طبیعی با استفاده از علم مهندسی سلول و بافت و تلفیق آن با علم سلولی ساخته خواهند شد. البته کشف، تولید و یا تمایز سلول‌های بنیادی نقطه‌ی آغازی است برتحقق رویای پزشکی فردا. به باور من پزشکی فردا، زمینه‌ای شامل ترکیبی از حوزه‌های مهمی چون پزشکی بازساختی، پزشکی مبتنی بر فرد (personalized medicine)، پزشکی سرطان (استفاده از سلول‌های ایمنی دست‌ورزی شده و درمان سرطان برمبنای وضعیت ژنتیکی فرد)، مهندسی سلول و بافت و همین‌طور مغز و علوم شناختی خواهد بود. معتقدم که سلول‌های بنیادی، جایگاه ویژه‌ای در تمامی این حوزه‌ها خواهند داشت. البته تا حصول به این اهداف هنوز راه زیادی در پیش است، ولی یادمان باشد پرواز با هواپیماهای پیشرفته‌ی امروزی سال‌ها بعد از پریدن برادران رایت با ابزاری ابتدایی محقق شده است. در کشورمان ایران نیز از سال ۱۳۶۹ پیوند مغز استخوان که غنی از سلول‌های بنیادی بافتی خونساز و مزانشیمی است در بیمارستان دکتر علی شریعتی تهران توسط دکتر اردشیر قوام‌زاده راه‌اندازی شد. حدود یک دهه پس از آن، پژوهشگاه رویان در سال ۱۳۸۱ توانست به تولید سلول‌های بنیادی رویانی (جنینی) موشی دست یابد. پس از آن، در پی استفتاء از مراجع تقلید شیعه، تولید اولین رده‌ی سلول‌های بنیادی رویانی انسانی در سال ۱۳۸۲ توسط پژوهشگاه رویان گزارش شد. از آن پس، تحقیقات در حوزه‌ی سلول‌های بنیادی و پزشکی بازساختی، در کشور شتاب گرفت. معتقدم که حداقل دو نگرش موجب شده است که امروزه کشورمان در این حوزه به بالندگی معناداری دست یابد. نگرش اول **حرکت در پیوستار تولید تا کاربرد علم** است. در طی این سال‌ها همواره تلاش شده است که سه مقوله‌ی مهم **تولید علم، ترجمان علم و کاربرد علم** مدنظر قرار گیرد. هرآنچه که از دانش سلول‌های بنیادی و پزشکی بازساختی پدید آمده است با نگاه به دورنمای کاربردی آن در ارتقاء سلامت جامعه، جلا یافته است. تسری این نگاه در پژوهشگاه رویان، امروز با گذشت حدود دو دهه، موجب شده است تا این علم توسط شرکت‌های دانش بنیان نظیر شرکت بن‌یاخته‌های رویان که در جداسازی، نگهداری، تولید محصولات سلولی و بافتی از بند ناف و جفت فعالیت می‌کند، توسعه یابد و در مراکز سلول‌درمانی در اختیار هم‌وطنان قرار گیرد. این در حالی است که هیچ‌گاه نباید از **ریشه**، که همانا **تولید علم** است، غافل گردید و امیدواریم چنین نشود. نگاه دیگر، **تفکر بین رشته‌ای بودن علم** است. امروز پزشکی بازساختی، حوزه‌ی تلاش گسترده‌ای است که در آن پزشکان، زیست‌شناسان و مهندسین، با هدف ایجاد روش‌های نوین درمان بیماری‌ها، در تلاشند. البته که نباید فراموش کنیم که:

تکیه بر تقوا و دانش در طریقت کافریست　　راهرو گر صد هنر دارد توکل بایدش

سلول‌های بنیادی برای ما تنها یک علم نیست، یک فرهنگ است؛ **فرهنگ توانستن**. راه‌اندازی اولین و بزرگترین کارخانه‌ی تولید سلول برای بیماران در غرب آسیا، شرکت سل تک فارمد (Celltech Pharmed) یک نمونه‌ی عملی از تمسک به این فرهنگ است.

فرهنگ ملموس کردن علم، اینکه این علم به درمان برسد و درکاهش درد بیماران مؤثر باشد.

فرهنگ نگاهی نو به علم در قالب بین رشته‌ای فکر کردن و عمل نمودن، برداشتن مرزهای بین علوم برای رسیدن به کاربرد علم سلول‌های بنیادی، همان‌گونه که پیش از این ذکر شد.

فرهنگ ورود به نظریه‌پردازی در این علم که امید است با یاری حق این امر در آینده‌ی نزدیک توسط فرزندان این مرز و بوم محقق شود.

فرهنگ همگانی‌سازی علم که در «آزمایشگاه سلول‌های بنیادی برای همه» در رویان تجلی یافت.

تلاش برای افزایش دانش عمومی جامعه، جنبه‌ی دیگری از این فرهنگ است که از نظرم بسیار با اهمیت است. چراکه با بالا بردن معدل دانش جامعه، گل‌های بیش‌تری در آینده شکوفا می‌شود. به عبارت دیگر، تعداد افراد بیش‌تری از سایر علوم نظیر مهندسی و

حتـی علـوم فیزیـک، ریاضـی، شـیمی و غیـره وارد ایـن علم خواهند شـد و بدین ترتیـب کاربرد علم که همانا حاصل انباشـته شـدن علم اسـت، بـه دسـت می‌آیـد. یادمـان باشـد کـه در هر کشـور، شـهر، دانشـگاه، مرکـز تحقیقاتـی، حتـی در هر فرد، رشـد بایـد همه‌جانبه باشـد تـا کاربرد علـم بـه معنـای واقعـی و پایـدار حاصل شـود. لـذا اگر می‌خواهیـم در آینده به درمـان مردم کشـورمان همگام با پیشـرفت علم در سـطح جهانی کمـک کنیـم، از همیـن الان بایـد به فکر ایجاد زیرسـاخت‌های آن باشـیم. در این راسـتا «آزمایشـگاه سـلول‌های بنیادی برای همه» ایجاد شـده اسـت و اولیـن اتوسـ آزمایشـگاه سـیار سـلول‌های بنیـادی برای آمـوزش عملی دانش‌آمـوزان و عموم مـردم با این علم، راه‌اندازی شـده اسـت.

راه‌کار دیگـر بـرای افزایـش دانـش عمومـی و نیـز پـرورش نسـل‌های بعـد، نـگارش کتـب و مقـالات علمـی اسـت. بـر ایـن مبنـا، مجموعه کتاب‌هـای سـلول‌های بنیـادی و پزشـکی بازسـاختی با توجه به تجربیات آزمایشـگاهی پژوهشـگران و اسـتادان پژوهشـگاه رویـان و تنی چند از اسـتادان دانشـگاه‌های کشـور نوشته شـده است.

مطالعـه‌ی ایـن سـری کتاب‌هـا بـه محققین عرصه‌ی زیست‌شناسـی، پزشـکی و مهندسـی و به‌خصـوص پژوهشـگران جوان و دانشـجویانی کـه قصـد ورود بـه ایـن عرصه را دارنـد، توصیه می‌شـود.

در پایـان بـر خـود فـرض می‌دانـم که سـپاس پـروردگار مهربـان را به‌جـا آورده و از تمامـی عزیزانی که مـا را در تهیه‌ی ایـن مجموعه یاری نمودنـد سپاسـگزری نمایـم. به‌عـلاوه، از سـرکار خانـم مهدیـه جعفری و سـحر جلـوداری که زحمت ویراسـتاری ادبـی این مجموعـه را علی‌رغم همـه‌ی سـختی‌ها، بـر عهده داشـتند و سـرکار خانم اسـماء قدسـی کـه بر کیفیـت کتاب‌ها نظارت داشـتند و هر سـه نفر، وقت بسـیاری مصروف تهیـه‌ی ایـن مجموعـه نمودنـد، سپاسـگزاری نمایم. بدون کمک این سـه بزرگوار، مجموعه‌ی مذکور به سـرانجام نمی‌رسـید. هم‌چنین از دوسـت و بـرادر عزیـزم جنـاب آقـای مصطفـی پویـان کـه بدون شـک حـق فراوانی در گسـترش دانـش و به‌خصـوص علم زیسـت‌شناسـی در کشـور دارد و همـواره بـا تشـویق‌ها و حمایت‌هـای بـی بدیـل ایشـان سـبب نـگارش و یا ترجمـه‌ی تمـام کتاب‌های منتشـر شـده‌ی اینجانب به زبان فارسـی شـده‌اند، سپاسـگزارم. از خداونـد بزرگ برای ایشـان اجـر و عاقبت خیـر خواهانم.

ان‌شـاءالله ایـن مجموعـه مـورد بهره‌بـرداری علمـی و عملـی شـما عزیزان قـرار گیرد و نقطـه‌ی آغـاز راه پرخیر و برکتی باشـد که افراشـته مانـدن پرچـم کشـورمان را در سـطح جهانـی در عرصـه‌ی علمـی به ارمغان بیاورد و سـبب کاهـش درد و آلام بیمـاران و مایه‌ی امیـدی در میان مـردم عزیز و سـرفراز سـرزمینمان ایران باشـد.

سپاسگزار خواهم بود اگر نقطه نظرات خود در نقد و یا پیشنهاد را برایم ارسال نمایید.

ما زنده به آنیم که آرام نگیریم　　موج‌ایم که آسودگی ما عدم ماست

دکتر حسین بهاروند
استاد سلول‌های بنیادی و زیست شناسی تکوینی

فهرست مطالب

مقـدمه

فصل اول: مقدمه‌ای بر مهندسی بافت ۱
محمدحسین قانیان

فصل دوم: مقدمه‌ای بر زیست‌شناسی در مهندسی بافت ۱۷
محمد کاظمی آشتیانی

فصل سوم: زیست‌مواد ۳۵
محمدحسین قانیان، عاطفه سلوک، فرنوش سعیدی، ابراهیم زرکش

فصل چهارم: روش‌های ساخت داربست‌های مهندسی بافت ۶۹
محمدحسین قانیان، ساسان جلیلی فیروزی‌نژاد، ابراهیم زرکش

فصل پنجم: برهم‌کنش سلول-زیست‌مواد ۱۲۷
فهیمه خیاطان، رعنا ایمانی

فصل ششم: روش‌های اصلاح و شناسایی سطح ۱۶۷
حامد دائمی، مریم صحرارو، مریم مشایخی، محمد کاظمی آشتیانی

فصل هفتم: رهایش کنترل‌شده‌ی فاکتورهای زیست‌فعال در مهندسی بافت ۱۹۷
لیلا منتظری

فصل هشتم: روش‌های ارزیابی زیست‌مواد ۲۱۷
ساسان جلیلی فیروزی‌نژاد

فصل نهم: بازار محصولات مهندسی بافت و سلول‌درمانی ۲۴۵
سعید عباسعلیزاده، محمد کاظمی آشتیانی

فصل دهم: کاربرد نانوفناوری در مهندسی بافت ۲۶۱
حامد دائمی، فاطمه رادمنش، پیام بانی، سارا رجبی زلتی

فصل یازدهم: بیورآکتورها در مهندسی بافت ۲۸۷
سعید عباسعلیزاده، مهرناز نمیری، پیام بانی

فصل دوازدهم: میکروفلوئیدیک: مفاهیم و کاربردهای آن در زیست‌فناوری ۳۰۳
لیلا منتظری، رضا کوثری اصفهان، حمیدرضا ابوالخیر

فصل سیزدهم: ساخت به کمک رایانه و کاربردهای آن در حوزه‌ی زیستی ۳۲۹
مجید حلوائی

مخففها ۳۷۱

آدرس مکاتبه نویسندگان (به ترتیب حروف الفبا)

- **حمیدرضا ابوالخیر، پیام بایی، حسین بهاروند، ساسان جلیلی فیروزی‌نژاد، مجید حلوائی، فهیمه خیاطان، حامد دامی، فاطمه رادمنش، سارا رجبی زلتی، ابراهیم زرکش، سعید عباسعلیزاده، محمدحسین قانیان، محمد کاظمی کشتیانی، رضا کوثری اصفهان، لیلا منتظری، مهرناز نمیری :**

پژوهشگاه رویان، پژوهشکده زیست شناسی و فناوری سلول‌های بنیادی جهاددانشگاهی، مرکز تحقیقات علوم سلولی گروه مهندسی سلول، تهران، ایران

- **رعنا ایمانی، عاطفه سلوک، فرنوش سعیدی:**

دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، تهران، ایران

- **مریم صحرارو:**

پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، گروه پلی یورتان و مواد پیشرفته، تهران، ایران

- **مریم مشایخی:**

شرکت دانش بنیان ژرف اندیشان فناور زیست بسپار، پارک فناوری پردیس، تهران، ایران

بسم الله الرّحمن الرّحیم

مقدمه

محمد کاظمی اشتیانی

نگاهی به تاریخ، دریچه‌ای از آسمان علم را به روی ما می‌گشاید که در آن ستارگانی چون ارسطو و ابن سینا در جستجوی داستن همه‌ی شاخه‌های علوم دسته‌بندی شده کنونی هم‌چون زیست‌شناسی، الهیات، فلسفه، فیزیک و شیمی بودند. این رویکرد «کل‌نگر» نه تنها دانش آنان را به شاخه‌های مختلف علوم تحیف نمی‌کرد، بلکه از یافتن ارتباط بین معارف مختلف بر ژرفای معرفتشان می‌افزود. اعتقاد به این مسئله که افزایش سطح دانش لزوما عمق آن را کاهش نمی‌دهد، بلکه با هم‌بستگی علوم درک بشر از هر شاخه‌ی علمی بیشتر می‌شود، کم‌وبیش در سراسر تاریخ علم بشری جاری بود. اولین ضربه تئوریک به برهم‌بستگی علوم را فیلسوف فرانسوی، رنه دکارت زد. او با تفکیک روح و جسم عالم، پشتوانه‌ای فلسفی برای استقلال علوم مادی بنا نهاد و به دنبال آن راه تقسیم‌بندی علوم هموارتر شد. اگرچه به دنبال انقلاب صنعتی در قرن ۱۸ میلادی تخصصی شدن علوم نمود بیرونی خود را در رفاه بشر یافت، اما ضربه‌ی آخر بر پیکره‌ی کل‌نگری علمی را پیشرفت فناوری اطلاعات با افزون کردن دانش قابل انتقال بشری فراهم کرد؛ چرا که حجم زیاد دانش تولیدشده در هر شاخه بشر را متقاعد کرد که برای هر قسمت فردی خاص خود را اختصاص دهد. در نتیجه‌ی این تحولات، امروز در جهانی زندگی می‌کنیم که هر شاخه‌ی علمی خود اجزای خُرد بسیاری دارد که هرکدام زندگی دانشمندانی را متوجه خود کرده‌اند و نسبت به دیگر اجزا بی‌اعتنا هستند. این فرازهای متوالی علم منشأ حجم بالای تولید دانش و ثروت در صد سال اخیر بوده است. با وجود تمجیدهای فراوان از راه رفته‌ی بشر، این زیستِ علمی را بسیاری با انتصاب «تخصص‌گرایی افراطی» نقد می‌کنند. حکایت زیر به زیبایی این نظر را مطرح می کند:

«کوهنوردی در سلسله کوه‌های آلپ به فلات مرتفعی می‌رسد و در آن‌جا به چوپانی برمی‌خورد که تکه‌ی بزرگ پنیری را ملچ و ملوچ‌کنان می‌جود و در همین ضمن گله‌اش را می‌پاید. کوهنورد خسته و گرسنه می‌پرسد که آیا می‌تواند تکه‌ای پنیر بخرد، چوپان با اظهار تاسف به او می‌گوید که چیزی برای فروختن ندارد. کوهنورد بی‌آنکه نگران شود چالشی را پیشنهاد می‌کند: اگر او بتواند تعداد دقیق جانورانی که در گله‌اند حدس بزند، آیا چوپان تکه‌ای پنیر به او پاداش خواهد داد؟ چوپان موافقت می‌کند و کوهنورد پس از آن که چند لحظه‌ای به گله می‌نگرد، گزارش میدهد: دقیقا ۳۲۹ گوسفند در گله است.»

چوپان حیرت‌زده از این پاسخ، تکه‌ی قلنبه‌ای از پنیر را می‌بُرد و به کوهنورد می‌دهد. هم‌چنان که کوهنورد با سپاسگزاری پنیر را گاز می‌زند، چوپان به او نگاه می‌کند و می‌گوید «من ۱۰۰ فرانک سوئیس شرط می‌بندم که می‌توانم شغلت را حدس بزنم.»

کوهنورد جواب می‌دهد: «قبول است.»

چوپان می‌گوید: «تو باید زیست‌شناس مولکولی باشی.»

کوهنورد مبهوت می‌پرسد: «عجب، همینطور است. اما چه‌طوری فهمیدی؟»

چوپان پاسخ می‌دهد: «خیلی آسان، آن جانوران بُزند نه گوسفند!» [1]

در نگاهی نوین، تخصص‌های مختلف نه تنها از هم جدا نیستند، بلکه زبان مشترکی دارند و نگاه عمیق به تک‌تکشان در کنار هم به هم‌افزایی علوم می‌انجامد. از سوی

---

۱ نقل مستقیم از کتاب «نظریه‌ی علمی چیست؟»، نوشته‌ی موتی بن-آری، ترجمه‌ی فریبرز مجیدی، انتشارات مازیار.

دیگر، هم‌چنان سؤالات بزرگی در علم بدون پاسخ مانده‌اند و برای پاسخ به آن‌ها، اکتفا به یک تخصص مشخص جوابگو نبوده است. نگاه میان‌رشته‌ای از این نیاز برخاسته است. یکی از شاخه‌های نوینی که از نگاه بین‌رشته‌ای برآمده، مهندسی بافت است. مهندسی بافت به دنبال پاسخگویی به این سؤال است که چگونه از بین رفتن یک بافت یا اندام را در بدن جبران کنیم. در مهندسی بافت، شاخه‌های مهندسی با علوم زیستی و پزشکی درهم آمیخته می‌شوند تا بافت زنده را در آزمایشگاه بسازند یا بازسازی آن را در بدن بهبود بخشند. برای این منظور مفهوم اولیه‌ی پیوند سلول همراه با ساختار حمایت‌کننده (داربست) توسط دانشمندان این عرصه مطرح شد و به مرور مورد توجه پژوهشگران رشته‌های مهندسی و زیست‌پزشکی قرار گرفت. با وجود حجم قابل توجه تولید علم در مهندسی بافت، هم‌چنان راهی طولانی برای رسیدن این فناوری به درمان باقی مانده است.

کتاب پیش رو قصد دارد به زبان ساده و رویکردی بین‌رشته‌ای کارهای انجام شده در این حوزه را معرفی کند و در نهایت چشم‌انداز موجزی پیش روی مخاطب قرار دهد. هر فصل از کتاب خلاصه‌ای از مباحث را ارائه می‌دهد که مخاطب را به مطالعه‌ی عمیق‌تر و کامل‌تر سوق می‌دهد. در نگارش بسیاری از مباحث مطرح‌شده، از مقالات علمی مهم در حوزه‌ی مهندسی بافت استفاده شده است که می‌توان با مراجعه به آن‌ها اطلاعات بیشتری کسب کرد. فصل اول مخاطب را با مفاهیم کلی و تاریخچه‌ی کوتاهی از مهندسی بافت آشنا می‌کند. یکی از پایه‌های مورد نیاز در دانش بین‌رشته‌ای مهندسی بافت زیست‌شناسی است. در فصل دوم مفاهیم پایه‌ای زیست‌شناسی سلولی که برای درک اولیه از مهندسی بافت لازم هستند مطرح می‌شود. یکی از پایه‌های مهم در مهندسی بافت علم مواد است. در فصل ۳ و ۴ انواع مواد معرفی می‌شوند و روش‌های شکل‌دهی آن‌ها برای تولید حامل‌های دارو و سلول بحث می‌شود. بعد از آشنایی اولیه با سلول و زیست‌مواد در فصل ۵ تعامل این دو مطرح می‌شود. شناخت چگونگی تعامل سلول با زیست‌ماده به طراحی و ساخت بسترهای کشت سلول و مواد قابل پیوند به بدن کمک می‌کند. در تعامل سلول با زیست‌ماده خواص سطح ماده‌ی مورد نظر بسیار اهمیت دارد. اصلاح سطح و ارزیابی آن در فصل ۶ بیان شده است. یکی از پدیده‌های مؤثر دیگر بر رفتار سلول، عوامل محلول هستند که با مطالعه‌ی فصل ۷ روش‌های مهندسی به‌کارگیری آنها مطرح می‌شود. در فصل ۸ روش‌های ارزیابی خواص فیزیکی، مکانیکی و زیستی مواد برای مهندسی بافت ارائه می‌شود. روند ترجمان علم از آزمایشگاه به کلینیک و تجاری‌سازی محصولات مهندسی بافت در فصل ۹ آمده است. در فصل ۱۰ کاربرد فناوری نانو به عنوان یکی از شاخه‌های نوین علم فیزیک، شیمی و مواد در مهندسی بافت توضیح داده شده است. در ادامه کتاب سه ابزار بیوراکتور، چیپ‌های میکروفلوئیدیکی و چاپگر زیستی را در فصل‌های ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ برای کشت سلول و پیوند آن به بدن معرفی می‌کند. بیوراکتورها ابزاری برای کشت سلول در شرایط دقیق محیطی و مقیاس بالا و هم‌چنین فراهم کردن تحریک‌های فیزیکی لازم برای رشد و تمایز سلول‌ها هستند. فناوری میکروفلوئیدیک نیز می‌تواند در مقیاس کوچک ساختارهای زیستی را تقلید کند و با هزینه‌ی کم و سرعت بالا ارزیابی‌های سلولی را انجام دهد. در نهایت با فناوری چاپ‌زیستی می‌توان ساختارهای سه‌بعدی شبه اندام را تهیه کرد.

برنامه‌ریزی برای تالیف این کتاب توسط گروه مهندسی سلول پژوهشگاه رویان انجام شده است که تجربه‌ی انجام پروژه‌های پژوهشی متعدد در زمینه‌های مختلف مهندسی بافت، برگزاری ده‌ها دوره‌ی کارگاهی و تدریس واحدهای دانشگاهی این رشته را دارند. گروه مهندسی سلول پژوهشگاه رویان در سال ۱۳۸۹ آغاز به کار کرد. چشم‌انداز این گروه پیوند علوم مهندسی و علوم زیستی برای کاربردهای درمانی بوده است. یکی از اهداف تشکیل این گروه ایجاد حرکت جدید برای آموزش و ترغیب مهندسان سراسر کشور در به‌کارگیری فنون نوین مهندسی با هدف بهبود وضعیت سلامت و درمان کشور بوده است. در این راستا گروه مهندسی بستری فراهم کرده است که مهندسان سراسر ایران با رویکرد بین‌رشته‌ای آشنا شده و هریک بتوانند تجارب تخصصی خود را در جهت چشم‌انداز عالی پژوهشگاه رویان به کار گیرند. در این گروه پژوهشی افراد مختلف از رشته‌های مهندسی پزشکی، شیمی، مواد، مکانیک و الکترونیک با متخصصان علوم پزشکی و زیستی تعامل دارند. این افراد در تلاش‌اند با استفاده از مواد طبیعی و مصنوعی، محصولاتی برای تشخیص و درمان بیماری‌های پوستی، قلبی-عروقی، دیابت، عارضه‌های کبدی و سرطان تولید کنند. فعالیت‌های این گروه را می‌توان در پنج بخش ساخت و اصلاح سطح داربست‌ها، طراحی سامانه‌های رهایش کنترل‌شده، توسعه‌ی فرآیندهای زیستی، میکروفلوئیدیک و چاپ زیستی دسته‌بندی کرد. بدون شک اعضای گروه مهندسی خود در حال آموختن و افزودن دانش خود درباره‌ی مهندسی بافت هستند و نوشتن این کتاب مرحله‌ای از دانش‌افزایی گروه در زمینه‌ی مهندسی بافت بوده است. مخاطبان می‌توانند با بیان نظراتشان ما در این سیر یادگیری یاری کنند.