

زیست‌شناسی رکن جدیدی در مهندسی شیمی

گذار از «مهندسی شیمی» به «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی»

بخش ۱: ضرورت، محتوای آموزشی و مباحث پژوهشی*

اردلان گنجی‌زاده^۱، امید وحیدی^۲ و سیدنظام‌الدین اشرفی‌زاده^۳

چکیده: پیشرفت زیست‌شناسی شاخه‌های جدیدی مانند «مهندسی زیست‌پزشکی» و «زیست‌فناوری» را در عرصه مهندسی به وجود آورده است. توسعه شاخه‌های مذکور که همگی میان‌رشته‌ای هستند، در گرو فعالیت‌های مهندسان شیمی آشنا با علم زیست‌شناسی است. لزوم فعالیت مهندسان شیمی در حوزه‌های مهندسی مرتبط با زیست‌شناسی؛ و اجتناب‌ناپذیر بودن استفاده از ابزار زیست‌شناسی در مواجهه با چالش‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و صنعتی پیش روی مهندسان شیمی نشان می‌دهد که در عصر جدید، آشنایی با شیمی به‌تنهایی، پاسخگوی نیازهای مهندسان شیمی و صنعت نیست، و علم زیست‌شناسی باید در کنار علم شیمی به‌عنوان یکی از ارکان اصلی ساختار آموزش مهندسی شیمی مدرن در نظر گرفته شود. برخلاف کشورهای پیشرفته، که این مهم را در ساختار نظام آموزشی مهندسی شیمی اعمال می‌کنند و حتی عنوان این رشته را به «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» و نظایر آن تغییر داده‌اند، در ایران به‌جز تعداد محدودی، که در مقاطع تحصیلات تکمیلی در گرایش خاصی از حوزه مذکور تحصیل کرده‌اند، مهندسان شیمی از دانش زیست‌شناسی برای مواجهه با چالش‌های جدید بی‌بهره‌اند. این پژوهش با هدف آگاهی‌رسانی درباره ضرورت گذار از «مهندسی شیمی» به «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی»، که متخصصان آن مهندسان شیمی آشنا با زیست‌شناسی هستند، انجام شده و در این راستا به بررسی کلیات برنامه آموزشی رشته «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» و مباحث روز آن پرداخته و پیشنهاد می‌کند که با به‌روزرسانی برنامه درسی مهندسی شیمی، و یا تأسیس چنین رشته‌هایی، زمینه فعالیت در حوزه‌های جدید مهندسی و همچنین مواجهه هرچه مؤثرتر با چالش‌های روز فراهم شود.

واژه‌های کلیدی: مهندسی شیمی، زیست‌شناسی، آموزش مهندسی، مهندسی شیمی و زیست‌شناسی، مهندسی زیست پزشکی، زیست‌فناوری

* بخش دوم این مقاله در شماره ۷۵ پاییز ۱۳۹۶ چاپ خواهد شد.

۱. دانشجوی دکتری، آزمایشگاه تحقیقاتی فرایندهای پیشرفته جداسازی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران،

ایران. ardalan_ganjizade@chemeng.iust.ac.ir

۲. استادیار گروه طراحی و شبیه‌سازی فرایندها، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. ovahidi@iust.ac.ir

۳. استاد گروه فرایندهای جداسازی، آزمایشگاه تحقیقاتی فرایندهای پیشرفته جداسازی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران،

تهران، ایران. (نویسنده مسئول). ashrafi@iust.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۲۰)

(پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۶/۱۲)

DOI: 10.22047/ijee.2017.80006.1449

۱. مقدمه

مهندسی عبارت است از استفاده از اصول علمی برای طراحی، ساخت، بهبود و تعمیر ماشین‌ها، ابزار، مواد، فرایندها، ساختمان‌ها و سامانه‌های مختلف؛ به‌نحو اقتصادی و ایمن. حوزه مهندسی بسیار گسترده است و شاخه‌های متعددی را برای آن می‌توان در نظر گرفت. به‌عبارتی، هر شاخه از مهندسی بر محدوده خاصی از دانش و فناوری متمرکز است. به‌عنوان مثال، مهندسی شیمی شاخه‌ای از علوم مهندسی است که با استفاده از علوم پایه (ریاضی، فیزیک و شیمی) به طراحی و اجرای ایمن و اقتصادی فرایندهای تبدیل مواد خام به مواد با ارزش افزوده می‌پردازد. پیشرفت علم زیست‌شناسی در سالهای اخیر شاخه‌هایی جدید را در عرصه مهندسی به وجود آورده است که از میان آنها می‌توان به «مهندسی زیست‌پزشکی»^۱، «مهندسی زیست‌شناسی»^۲، «زیست‌فناوری»^۳، «مهندسی زیست‌شیمی»^۴، «مهندسی زیست‌مولکولی»^۵، «مهندسی فرایندهای زیستی»^۶، و «مهندسی زیست‌توده‌ها و سوخت‌های زیستی»^۷ اشاره کرد. علاوه بر این، حوزه‌هایی مانند «مهندسی داروسازی»^۸ نیز عمیقاً تحت‌تأثیر توسعه این علم قرار گرفته است. اغلب شاخه‌ها و حوزه‌هایی، که از آنها نام برده شد، با یکدیگر هم‌پوشانی داشته و با علم زیست‌شناسی ارتباط تنگاتنگ دارند. واقعیت مذکور موجب شده است که در اکثر موارد، چنین حوزه‌هایی با یکدیگر اشتباه گرفته شوند. لذا برخی از این حوزه‌ها به صورت مختصر معرفی می‌شوند.

• مهندسی زیست‌پزشکی

«مهندسی زیست‌پزشکی» استفاده از مفاهیم مهندسی و اصول طراحی در زیست‌شناسی و پزشکی است. این رشته خلأ موجود میان مهندسی و پزشکی را پر می‌کند (Michan, 2011) به نظر می‌رسد که مهندسان «زیست‌پزشکی» با علوم زیست‌مکانیک^۹، مکانیک سیالات زیستی^{۱۰}، زیست‌مواد^{۱۱}، ابزار دقیق زیستی^{۱۲}،

1. Biomedical Engineering
2. Biological Engineering/Bioengineering
3. Biotechnology
4. Biochemical Engineering
5. Biomolecular Engineering
6. Bioprocess Engineering
7. Biomass and Bioenergy Engineering
8. Pharmaceutical Engineering
9. Biomechanics
10. Biofluids Mechanics
11. Biomaterials
12. Bioinstrumentation

سیگنال‌های زیستی^۱، سامانه‌های زیستی^۲، انتقال زیستی^۳، مهندسی بافت^۴، مهندسی سلولی و ... سر و کار داشته باشند (Michan, 2011; Sawhney, 2007).

• مهندسی زیستی یا مهندسی زیست‌شناسی

حوزه‌های «مهندسی زیست‌شناسی» و «مهندسی زیست‌پزشکی» متفاوت هستند؛ اما به دلیل هم‌پوشانی‌های موجود، اغلب، با یکدیگر اشتباه گرفته می‌شوند. در واقع، مهندسان «زیست‌شناسی» علاوه بر فعالیت در حوزه سلامت انسان، در حوزه سامانه‌های گیاهی، جانوری و کشاورزی نیز فعال هستند. البته نمی‌توان حوزه «مهندسی زیست‌پزشکی» را زیرمجموعه «مهندسی زیست‌شناسی» دانست؛ چراکه برخی از کاربردهای حوزه «مهندسی زیست‌پزشکی» (مانند ساخت تجهیزات پزشکی یا اجزای مصنوعی غیرزیستی مانند پای مصنوعی) در مجموعه «مهندسی زیست‌شناسی» قرار نمی‌گیرند.

• مهندسی داروسازی

«مهندسی داروسازی» بر طراحی فرایندهای تبدیل مواد خام شیمیایی و زیستی به محصولات دارویی (Subrahmanyam et al., 2002)، افزایش مقیاس فرایندهای تولید دارو، مدیریت تولید، تحقیق، توسعه و طراحی سامانه‌های دارورسانی (حامل‌های دارویی و اقسام نوین آنها و ...) متمرکز است. لازم به ذکر است که داروسازان عموماً با جنبه‌های بالینی فرایند تولید و عرضه دارو سروکار دارند، اما طراحی سامانه‌های دارورسانی و فرایندهای ساخت دارو، بهینه‌سازی، کنترل و مدیریت چنین فرایندهایی نیازمند وجود دیدگاه مهندسی و حصول درک عمیق از مبانی و اصول حاکم بر آنها است. چنین موضوعی در کشورهای توسعه‌یافته به‌خوبی تشخیص داده شده و به‌عنوان مثال، سازمان غذا و دارو ایالات متحده^۵ با وضع قوانین و الزاماتی مانند «فناوری تحلیل فرایند»^۶ و «کیفیت در طراحی»^۷ شرکت‌های داروسازی را ملزم کرده است که به‌جای بهره‌گیری از روش‌های تجربه‌گرایانه سنتی از راهبردهای مهندسی داروسازی استفاده کنند (Mateo-ortiz et al., 2012).

-
1. Biological Signals
 2. Biological Systems
 3. Biotransportation
 4. Tissue Engineering
 5. Food and Drug Administration (FDA)
 6. Process Analytical Technology (PAT)
 7. Quality by Design (QbD)

• مهندسی زیست‌توده‌ها و انرژی‌های زیستی

به انرژی حاصل از سوخت‌های به‌دست‌آمده از «زیست‌توده‌ها»، «زیست‌انرژی»^۱؛ و به دانش طراحی و اجرای فرایندهای تولید انرژی و سوخت از زیست‌توده‌ها، «مهندسی زیست‌توده‌ها و انرژی‌های زیستی» اطلاق می‌شود (Lee & Shah, 2012). زیست‌توده‌ها بازه وسیعی از موادی را دربرمی‌گیرند که می‌توان از آنها به‌عنوان سوخت یا ماده خام اولیه استفاده کرد. درواقع، زیست‌توده‌ها همگی از اندامگان‌هایی^۲، که اخیراً مرده‌اند، مشتق می‌شوند. البته با اینکه سوخت‌های فسیلی از بقایای گیاهان و جانوران مرده به وجود آمده‌اند، اما از آنجایی که فرایند تولید آنها میلیون‌ها سال به طول انجامیده است نمی‌توان آنها را در زمره زیست‌توده‌ها به حساب آورد (Le, 2012). می‌توان گفت که درختان، جلبک‌ها، گیاهان، پسماندهای کشاورزی، پسماندهای صنایع غذایی، مواد آلی موجود در پسماندهای خانگی و حتی محصولات جانبی آلی فرایندهای صنعتی همگی زیست‌توده هستند (Lee & Shah, 2012).

• مهندسی زیست‌مولکولی

تحقیقات آزمایشگاهی و فعالیتهای صنعتی در این حوزه نوظهور در مقیاس مولکولی است و بر روی طراحی مولکول‌های زیستی و فرایندهای زیست‌مولکولی مورداستفاده در صنایع پزشکی، کشاورزی، دارویی، شیمیایی و غذایی متمرکز شده‌اند. این حوزه گسترده و میان‌رشته‌ای است و با حوزه‌هایی نظیر مهندسی پروتئین، بیوانفورماتیک، ژن‌درمانی، طراحی و داروپژوهی، دارورسانی، زیست‌مواد، نانو - زیست‌فناوری^۳ و ... هم‌پوشانی دارد (Shao et al., 2006).

• زیست‌فناوری

در برخی منابع «زیست‌فناوری» را دانش و فناوری کشت و استفاده از اندامگان‌های زنده و در صورت لزوم ایجاد تغییرات ژنتیکی در آنها به‌منظور تولید، حذف یا تغییر دادن مواد شیمیایی و زیستی برای کاربردهای ویژه (مانند تولید پروتئین‌های نو ترکیب، تجزیه مواد زائد، تصفیه پساب و غیره) تعریف کرده‌اند (CBD. Int, 2017). در برخی منابع اصلاح ژنتیکی گیاهان به‌منظور ارتقای کیفی آنها نیز در ذیل زیست‌فناوری آورده شده است (اشرفی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۵؛ Liu, 2016). این در حالی است که در برخی منابع دیگر تعریفی گسترده‌تر برای زیست‌فناوری ارائه شده است و از آن به‌عنوان زیست‌شناسی کاربردی^۴ یاد می‌شود (Shuler & Kargi, 2002).

1. Bioenergy
2. Microorganisms
3. Nano-Biotechnology
4. Applied Biology

• مهندسی زیست‌شیمی

مهندسان «زیست‌شیمی» در زمینه اجرای فرایندهای زیستی در مقیاس‌های صنعتی فعالیت می‌کنند (Dutta, 2008). می‌توان گفت که در حوزه «مهندسی زیست‌شیمی» با استفاده از مفاهیم مهندسی شیمی، سامانه‌هایی که در آنها به‌کمک کاتالیست‌های زیستی^۱ واکنش‌های شیمیایی مطلوب انجام می‌شود، طراحی و ساخته می‌شود (Shuler & Kargi, 2002). به بیان ساده‌تر، مهندسان «زیست‌شیمی» به طراحی واحدهای مرتبط با اندامگان‌ها یا با مولکول‌های زیستی می‌پردازند. متخصصان موردبحث بیشتر در صنایع غذایی، پتروشیمی، داروسازی، زیست‌فناوری و تصفیه آب فعال هستند.

• مهندسی فرایندهای زیستی

در «مهندسی فرایندهای زیستی»، مهندسان شیمی، مکانیک، برق و صنایع با استفاده از تخصص خود به طراحی فرایندهایی، که در آنها سلول‌های زنده یا اجزای آنها دخیل هستند، می‌پردازند. طراحی تجهیزات، حسگرها، الگوریتم‌های کنترلی و راهبردهای تولیدی نیز در ذیل حوزه «مهندسی فرایندهای زیستی» قرار می‌گیرد. «مهندسی زیست‌شیمی» و «مهندسی فرایندهای زیستی» از دو لحاظ متفاوت هستند؛ اولاً مفاهیم و اصول مورداستفاده در «مهندسی زیست‌شیمی» (برخلاف «مهندسی فرایندهای زیستی») فقط از مهندسی شیمی سرچشمه می‌گیرد، ثانیاً «مهندسی زیست‌شیمی» فقط محدود به فرایندهای مصنوعی طراحی شده به دست دانشمندان نیست و در سامانه‌های طبیعی نیز کاربرد دارد (Shuler & Kargi, 2002).

تمامی حوزه‌های نام‌برده میان‌رشته‌ای بوده و معمولاً فناوریهای متولد شده از هر کدام از آنها حاصل همکاری متخصصان رشته‌های مختلف بوده است. در این میان، مهندسی شیمی یکی از شاخه‌های مهندسی است که در تک‌تک این حوزه‌های تأثیرگذار بوده است. به‌عنوان مثال، دانش عملیات واحد در مهندسی داروسازی بسیار کاربردی است و همچنین به‌کارگیری مفاهیم پدیده‌های انتقال در دارورسانی تعیین‌کننده است. در صنعت داروسازی اجرای اصولی فرایندهایی از قبیل خشک‌کردن انجمادی (Bhambhani & Medi, 2010)، کاهش اندازه ذرات، افزایش اندازه ذرات (به روش گرانولاسیون یا برون‌زنی)^۲ (Cronin et al., 2017; Maniruzzaman et al., 2017)، مخلوط‌کردن^۳ (Osorio et al., 2016)، پُر کردن^۴ (Bhavishya, 2016)، فشردن^۵ (Jarvinen et al., 2013)، پوشش‌دهی^۶ و تبخیر (Bhavishya, Ibid) باید با استفاده از دانش عملیات واحد انجام پذیرد.

1. Biocatalysts
2. Extrusion
3. Blending
4. Filling (Encapsulation)
5. Compression
6. Coating

همچنین می‌توان گفت که یکی از مهم‌ترین ارکان حوزه‌های «مهندسی فرایندهای زیستی» و «مهندسی زیست‌شیمی» دانش طراحی واکنش‌های شیمیایی است. حتی مهندسان شیمی، ابداع‌کننده برخی از زمینه‌های بیان‌شده مانند مهندسی بافت و دارورسانی، هستند (Langer & Vacanti, 1993). در واقع، پایه حوزه مهندسی بافت زمانی شکل گرفت که روبرت لنگر^۱، پژوهشگر عرصه مهندسی شیمی در دانشگاه «ام. آی. تی» و همکارانش ایده طراحی و ساخت داربست‌ها^۲ یا قالب‌ها^۳ برای بارگذاری، تکثیر سلولی و تولید بافت زنده جدید را ارائه کردند (Vacanti, 2006). گفتنی است که روبرت لنگر به‌عنوان پدر علم مهندسی بافت معرفی شده است (Heise, 2014). آگاهی از اصول حاکم بر راکتورهای زیستی^۴، آشنایی با مواد بسپاری و سامانه‌های رسانش مولکولی؛ به ترتیب توانایی سرهم‌بندی بافت‌ها، طراحی و ساخت داربست‌ها، و کنترل عوامل لازم برای بقا و رشد سلول‌های موجود در بافت‌ها را در مهندسان شیمی به‌وجود آورده و آنها را به یکی از بازیگران اصلی حوزه مهندسی بافت تبدیل کرده است. بنابراین مشاهده می‌شود که برخی از رشته‌های متولدشده از پیوند زیست‌شناسی و حوزه مهندسی بدون بهره‌گیری از تخصص مهندسان شیمی امکان رشد و بقا نداشته‌اند.

از طرف دیگر، مهندسی شیمی نیز برای رشد و بقا به علم زیست‌شناسی و حوزه‌های مهندسی مرتبط با آن نیازمند است. قرن بیست‌ویکم، دغدغه‌های جدیدی برای مهندسان شیمی به همراه داشته و اهداف جدیدی در حوزه مهندسی شیمی به وجود آورده است. پیشرفت حوزه‌های مختلف دانش و فناوری‌های مورد استفاده در سنتز مواد نانو، ساخت ریزسامانه‌ها و همچنین مشخصه‌یابی، مهندسی شیمی را تحت تأثیر خود قرار داده است. لذا برخلاف قرن بیستم که مهندسی شیمی بیشتر با افزایش مقیاس فرایندها سروکار داشت، امروزه کاهش مقیاس فرایندها برای ساخت سامانه‌هایی مانند آزمایشگاه روی تراشه^۵، یا پیل‌های سوختی ریزسیالی^۶،

(Pramanik & Rathoure, 2017; Rathoure & Pramanik, 2016; Villarrubia et al., 2016)

1. R. Langer
2. Scaffolds
3. Templates

۴. به تجهیزاتی که در آنها واکنش شیمیایی و به تجهیزاتی که در آنها فرایندهای زیستی یا زیست‌شیمیایی به صورت کنترل شده انجام می‌پذیرد، به ترتیب راکتور شیمیایی و راکتور زیستی می‌گویند. لازم به ذکر است که در راکتورهای زیستی مورد استفاده در مهندسی بافت از عوامل مکانیکی برای تحریک سلول‌ها و بهبود دادن فرایند رشد آنها استفاده می‌شود (Plunket & Brien, 2011).

5. Lab on a Chip
6. Microfluidic Fuel Cells

مهندسان شیمی را به خود مشغول کرده است. در نتیجه، مهندسان شیمی، که در قرن پیشین بیشتر به تولید انبوه محصولات ساده می‌پرداختند، امروزه به تولید محدود و اندک محصولات خاص، پیچیده، زیست‌فعال، و نانوساختار نیز گرایش پیدا کرده‌اند (Saliceti-piazza et al., 2004; Varma, 2003). از طرفی، کمبود منابع تأمین انرژی مانند نفت، توجه‌ها را به سمت استفاده از منابع تجدیدپذیر تولید انرژی، مانند باد، خورشید و زیست‌توده‌ها جلب کرده است. گرمایش زمین و آلودگی‌های زیست‌محیطی نیز بحث‌های جدیدی مانند استفاده از سوخت‌های پاک و کنترل آلودگی آب، خاک و هوا را نقل محافل علمی کرده است (مطهر و عالم‌رجبی، ۱۳۹۵). در واقع، مشکلات مذکور، صنایع وابسته به مهندسی شیمی را به دلیل وابستگی بیش‌ازحد آنها به معضلاتی همچون منابع انرژی تجدیدناپذیر، غیرایمن بودن فرایندها، تولید پساب و محصولات جانبی سمی، و غیر قابل بازیافت بودن برخی محصولات به چالش می‌کشد (Gavrilescu & Chisti, 2005; Hatti-kaul et al., 2007). علم زیست‌شناسی و حوزه‌های مهندسی مرتبط با آن قادرند به مهندسان شیمی در مقابله با این چالش‌ها یاری برسانند. به‌عنوان مثال، مهندسان شیمی با استفاده از کاتالیست‌های زیستی می‌توانند مشکل تعداد زیاد مراحل فرایندهای شیمیایی، مصرف انرژی بالای آنها، و تولید محصولات جانبی سمی و خطرناک را برطرف کنند. حتی بهره‌گیری از فرایند فتوسنتز برای تولید گلوکز، بسپارهای لیگنوسولوزها، و ... امکان‌پذیر می‌شود. استفاده از زیست‌توده‌ها به‌عنوان منابع تأمین انرژی تجدیدپذیر یکی دیگر از راه‌حلهایی است که زیست‌شناسی برای مقابله با چالش‌های بیان‌شده به مهندسان شیمی ارائه کرده است (Garnier, 2014).

تمام آنچه که مطرح شد نشان می‌دهد که زیست‌شناسی و مهندسی شیمی در بسیاری از زمینه‌ها هم‌پوشانی قابل توجه و ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر دارند. این امر لزوم اشراف مهندسان شیمی بر دانش زیست‌شناسی را به اثبات می‌رساند. از طرفی، ضرورت مذکور به‌درستی توسط دانشگاه‌های کشور درک نشده و متأسفانه قریب‌به‌اتفاق دانش‌آموختگان مقطع کارشناسی و مقاطع تحصیلات تکمیلی کشور از دانش زیست‌شناسی بی‌بهره و از کاربردهای آن در مهندسی شیمی ناآگاه‌اند. لذا در این پژوهش، به معرفی رشته «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی»^۱ که متخصصان آن مهندسان شیمی آشنا با علم زیست‌شناسی و کاربردهای آن هستند، پرداخته می‌شود. همچنین برای بیان اهمیت، کارایی و کاربردهای گسترده رشته مذکور، تعدادی از مباحث مطرح در این رشته آموزشی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲. رشته «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی»

ارتباطات تنگاتنگ و هم‌پوشانی‌های میان زیست‌شناسی و مهندسی شیمی، که پیش‌تر راجع به آن بحث شد ضرورت تلفیق این دو حوزه و پرورش مهندسان شیمی آگاه به مسائل زیست‌شناسی را

مطرح کرد؛ لذا به تدریج در برخی کشورهای پیشرفته، برنامه درسی دانشجویان رشته مهندسی شیمی به نحوی با زیست‌شناسی پیوند زده شد و در نهایت رشته‌هایی به نامهای «مهندسی شیمی و زیست‌شیمی»^۱، «مهندسی شیمی و زیست‌مولکولی»^۲، «مهندسی شیمی و زیست‌فناوری»^۳، «مهندسی شیمی و زیست‌پزشکی»^۴، و «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» (که موضوع این پژوهش است) متولد شد. همه رشته‌های مذکور، به جز «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی»، بر کاربرد مهندسی شیمی در یک حوزه خاص مرتبط با زیست‌شناسی متمرکز شده‌اند. از برنامه‌های آموزشی و پژوهشی مقاطع مختلف رشته «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» می‌توان نتیجه گرفت که این رشته نسبت به سایر رشته‌ها جنبه عمومی‌تری دارد و تقریباً تمامی حوزه‌های مهندسی شیمی مرتبط با زیست‌شناسی را پوشش می‌دهد. یادآور می‌شود که حوزه‌هایی نظیر «مهندسی زیست‌مولکولی»، کاملاً بین‌رشته‌ای است و مهندسان شیمی باید در کنار سایر متخصصان در این حوزه‌ها به ایفای نقش بپردازند. موضوعات مطرح در رشته‌هایی مانند «مهندسی شیمی و زیست‌مولکولی»، فقط بخش‌های مرتبط با مهندسی شیمی حوزه‌های فوق را دربرمی‌گیرد.

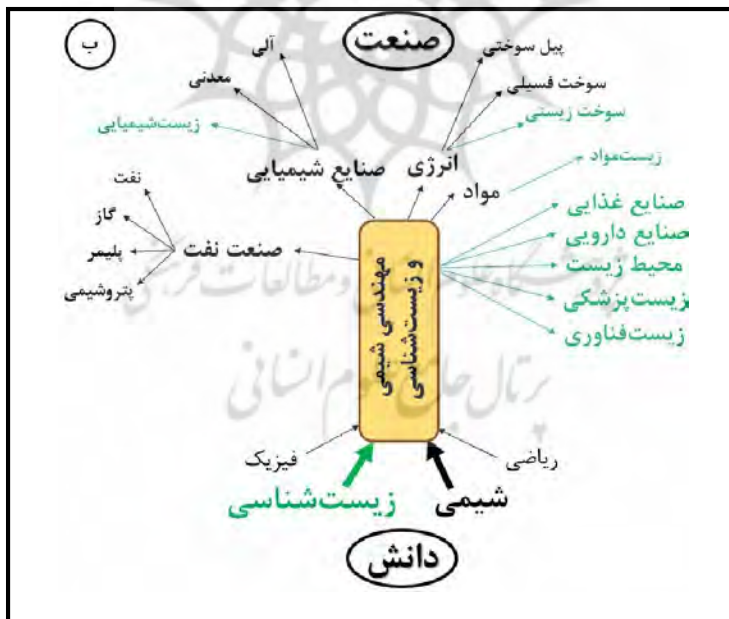
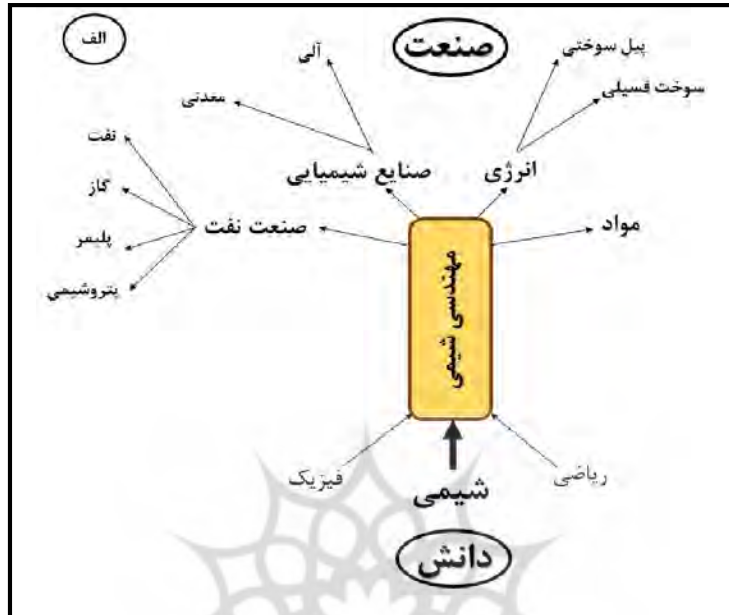
معمولاً در برنامه آموزشی رشته «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» با اضافه کردن دروس پایه مرتبط با علوم زیستی مانند زیست‌شیمی، زیست‌شناسی مولکولی، سلولی و دیگر دروس، زمینه ورود دانشجویان به دنیای زیست‌شناسی فراهم شده است و همچنین با اعمال تغییراتی در محتوای برخی از دروس اصلی مهندسی شیمی کلاسیک، مباحث مرتبط با زیست‌شناسی در آنها گنجانده می‌شود. به عنوان مثال، درس طراحی رآکتورهای شیمیایی به گونه‌ای بهبود داده می‌شود که دانشجویان «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» با ورود به مباحث زیست‌شناسی، با واکنش‌های زیستی، رآکتورهای زیستی و اصول طراحی حاکم بر آنها نیز آشنا شوند (Varma, 2003). همچنین با استفاده از دروس اختیاری مرتبط با حوزه زیست‌شناسی، زمینه ورود دانشجویان به حوزه‌های خاص علمی و صنعتی فراهم می‌شود. بنابراین، می‌توان چنین نتیجه گرفت که در رشته «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» مباحث مطرح در رشته مهندسی شیمی به گونه‌ای اصلاح شده است که پژوهشگران این حوزه بتوانند در مرزهای زیست‌شناسی و مهندسی شیمی به فعالیت بپردازند (Stephanopoulos, 2003).

به طور خلاصه می‌توان گفت که برای تأسیس رشته «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» در منابع علمی پایه رشته مهندسی شیمی تجدیدنظر شد و به آنها منبع جدیدی به نام زیست‌شناسی افزوده

-
1. Chemical and Biochemical Engineering
 2. Chemical and Biomolecular Engineering
 3. Chemical Engineering and Biotechnology
 4. Chemical and Biochemical Engineering

شد. شاید بتوان «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» را مهندسی شیمی مدرن دانست که در آن علوم زیست‌شناسی و شیمی به یک اندازه اهمیت و نقش‌آفرینی دارند. همانطور که پیش‌تر اشاره شد، مهندسی شیمی از علوم پایه ریاضی، فیزیک و شیمی برای طراحی فرایندهای تبدیل مواد خام به محصولات ارزشمند استفاده می‌کند. این ویژگی مهندسی شیمی، که علوم پایه را به اصول مهندسی و صنعت ربط می‌دهد، در قسمت (الف) شکل ۱ نمایش داده شده است. با توجه به دسته‌بندی ارائه‌شده در این شکل و با استفاده از مشابهت با یک درخت، که از مواد معدنی خاک و همچنین از اتمسفر هوا و نور خورشید برای رشد و نمو استفاده می‌کند، مهندسی شیمی نیز از علوم پایه و نیازها و چالش‌های صنعتی برای بالغ‌شدن (به‌روزشدن و بهبودیافتن مستمر مفاهیم علمی و برنامه درسی) بهره می‌گیرد (Favre et al., 2008). به‌واسطه واردکردن مباحث زیست‌شناسی در مفاهیم پایه‌ای مورد استفاده در حوزه مهندسی شیمی (قسمت (ب) شکل ۱)؛ این رشته به بلوغی می‌رسد که در نتیجه آن مهندسان شیمی نه‌تنها قادر به فعالیت در حوزه‌های جدید هستند، بلکه می‌توانند با استفاده از دانش زیست‌شناسی به طراحی فرایندهای جدید و ارتقای فرایندهای موجود پرداخته و بدین ترتیب با چالش‌های پیش‌روی صنایع مرتبط با مهندسی شیمیایی مقابله کنند.

۱۰ زیست‌شناسی رکن جدیدی در مهندسی شیمی، گذار از مهندسی شیمی به «مهندسی شیمی و ...



شکل ۱: طرح‌واره‌ای از: الف) حوزه مهندسی شیمی و ب) حوزه مهندسی شیمی و زیست‌شناسی

۳. مباحث مطرح در «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی»

مهندسان «شیمی و زیست‌شناسی» به‌عنوان متخصصان فعال در مرزهای زیست‌شناسی و مهندسی شیمی در سال‌های اخیر با مباحث علمی و صنعتی متعددی سروکار داشته‌اند. این مباحث بیشتر بر حوزه‌هایی مانند بسپار و زیست‌مواد، مهندسی واکنش‌های شیمیایی و مهندسی متابولیک، ترمودینامیک ماکرومولکول‌ها، کاتالیست‌های زیستی، کنترل مسیرهای متابولیک^۱، ریزسیال‌ها^۲، جداسازی و خالص‌سازی پروتئین‌ها، پدیده‌های انتقال در سامانه‌های دارورسانی و مهندسی بافت و ... متمرکز بوده‌اند. در این بخش به بررسی مختصر برخی از این مباحث پرداخته می‌شود. شایان ذکر است زمینه‌هایی که در رشته «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» مطرح هستند، به مواردی، که در ادامه بیان شده است، محدود نمی‌شوند.

۳.۱. کاتالیست‌های زیستی

وارد کردن زیست‌فناوری به عرصه مهندسی شیمی (یا برعکس) با تولد مباحث جدیدی مانند «کاتالیست‌های زیستی» همراه بود. در واقع، مباحثی از این دست، صنایع وابسته به مهندسی شیمی را به شدت تحت تأثیر قرار داد. مهندسان «شیمی و زیست‌شناسی» به‌عنوان متخصصان فعال در مرز حوزه‌های زیست‌شناسی و مهندسی شیمی نیز طبیعتاً با این مبحث بسیار سروکار دارند. در حال حاضر، به نظر می‌رسد که کاتالیست‌های زیستی (آنزیم‌ها) در حال پرکردن جای کاتالیست‌های معمول در فرایندهای شیمیایی باشند. در جدول ۱ برخی از کاتالیست‌های زیستی پرکاربرد و موارد استفاده آنها ارائه شده است. در حوزه کاتالیست‌های زیستی، با استفاده از دانش‌های «زیست‌مولکولی» و «مهندسی ژنتیک»، آنزیم‌ها را چنان دستکاری می‌کنند که عملکرد آنها در افزایش دادن سرعت واکنش‌ها بهبود یابد. حدود ۷۵ درصد آنزیم‌هایی، که به‌صورت تجاری تولید می‌شوند (از نظر ارزش)، در صنایع تولید مواد شوینده و مواد غذایی، و همچنین صنایع فراوری نشاسته مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین ۶۰ درصد آنزیم‌های مورد استفاده در صنعت، محصول فرایندهای زیست‌فناورانه هستند (Gavrilescu & Chisti, 2005). کاتالیست‌های زیستی در صنعت داروسازی نیز تحولات بزرگی ایجاد کرده‌اند. استفاده از کاتالیست‌های زیستی نه تنها تعداد مراحل فرایند ساخت داروها را کاهش می‌دهد، بلکه امکان تولید آنانتیومرهای خاص ترکیبات کایرال را فراهم ساخته و در نتیجه لزوم انجام خالص‌سازی نهایی و صرف هزینه، انرژی و وقت زیاد را مرتفع می‌کند^۳. این کاتالیست‌ها در دمای پایین عمل کرده، محصولات جانبی و پسماند اندکی را تولید می‌کنند، گزینش‌گری بالایی دارند، و برخلاف کاتالیست‌های شیمیایی ممکن است

1. Control of Metabolic Pathways

2. Micro/Nanofluidics

۳. آنانتیومرهای مختلف ترکیبات کایرال زیستی، فعالیت زیستی متفاوتی دارند. در زمینه داروسازی اغلب فقط یک آنانتیومر اثرات مطلوب دارد و گاهی سایر آنانتیومرها خطرناک‌اند. نمونه بارز این امر داروی تالیدومید است که یکی از آنانتیومرهای آن در زمینه پیشگیری از تهوع حاملگی مورد استفاده قرار گرفته و سایر آنانتیومرهای آن به ایجاد اختلالات مادرزادی در جنین منجر می‌شوند (Gavrilescu & Chisti, 2005).

خودجایگزین‌کننده^۱ باشند. در جدول ۲ ویژگی‌های عملیاتی فرایندهای زیستی و شیمیایی تولید اکریل‌آمید مقایسه شده است. البته حوزه کاتالیست‌های زیستی با چالش‌هایی نیز مواجه است. این چالش‌ها عبارت‌اند از (Gavrilescu & Chisti, 2005)

- ساخت و توسعه کاتالیست‌های زیستی که سریع‌تر و ارزان‌تر از کاتالیست‌های شیمیایی معمول باشند.
- ساخت و توسعه کاتالیست‌هایی که قادر به فعالیت در گستره وسیع‌تری از واکنش‌ها بوده و پایداری دمایی و سازگاری شیمیایی بالاتری داشته باشند.
- توسعه مدل‌های مولکولی که امکان طراحی سریع کاتالیست‌های زیستی را فراهم آورند.

جدول ۱: فهرست برخی از آنزیم‌ها (کاتالیست‌های زیستی) و کاربرد آنها (Gavrilescu & Chisti, 2005)

ردیف	آنزیم	پیش‌ماده ^۲	واکنش	کاربرد
۱	پروتازها	پروتئین‌ها	پروتئولیز	تولید دترجنت‌ها، مواد غذایی، داروها، و سنتز شیمیایی
۲	کربوهیدرازها	کربوهیدرات‌ها	هیدرولیز کربوهیدرات‌ها و تولید قندها	تولید منسوجات، کاغذ، پالپ، مواد غذایی و ..
۳	لیپازها	چربی‌ها / روغن‌ها	هیدرولیز چربی‌ها به اسیدهای چرب و گلیسرول	تولید مواد غذایی، تصفیه پساب، تولید مواد شیمیایی ریز و دترجنت‌ها
۴	پکتینازها	پکتین‌ها	شفاف کردن آب میوه‌ها	تولید نوشیدنی‌ها و مواد غذایی
۵	سلولازها	سلولز	هیدرولیز سلولز	تولید مواد غذایی، پالپ، منسوجات و مواد دترجنت
۶	آمیلازها	پلی‌ساکاریدها	هیدرولیز نشاسته و تولید قندها	تولید مواد غذایی

جدول ۲: مقایسه فرایندهای شیمیایی و زیستی تولید اکریل‌آمید (Gavrilescu & Chisti, 2005)

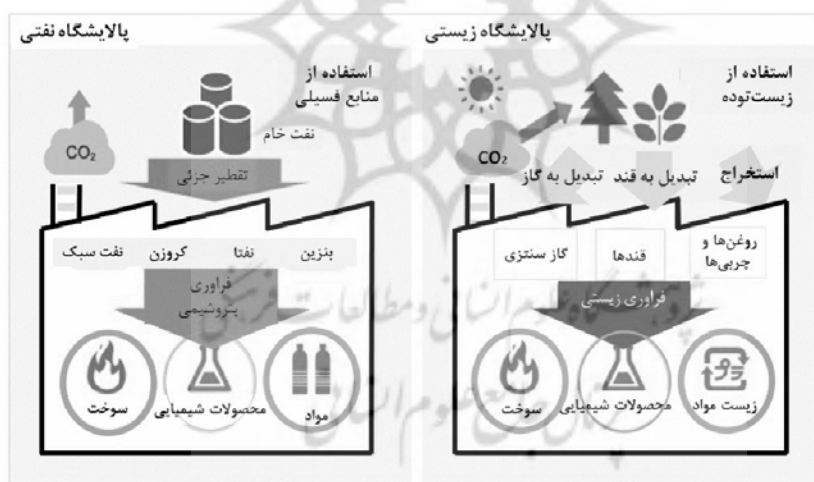
ردیف	شرایط عملیاتی	فرایند شیمیایی	فرایند زیستی
۱	دمای فرایند (درجه سانتی‌گراد)	۷۰	۰-۱۵
۲	بازدهی واکنش یک‌بارگذر (%)	۷۰-۸۰	۱۰۰
۳	غلظت اکریل‌آمید (%)	۳۰	۴۸-۵۰
۴	نیاز به تغلیظ محصول	وجود دارد	وجود ندارد
۵	مصرف انرژی (مگاژول بر کیلوگرم اکریل‌آمید)	۱/۹	۰/۴
۶	کربن‌دی‌اکسید تولیدی (کیلوگرم کربن‌دی‌اکسید بر کیلوگرم اکریل‌آمید)	۱/۵	۰/۳

1. Self Replicating

2. Substrate

۲.۳. پالایشگاه‌های زیستی

مبحث «پالایشگاه‌های زیستی»^۱ نیز بسیاری از مهندسان «شیمی و زیست‌شناسی» را به خود مشغول کرده است. پالایشگاه زیستی در واقع یک مجموعه پیچیده است که با استفاده از فرایندهای تغییر شکل زیست‌توده‌ها، سوخت، نیرو، و مواد شیمیایی جدیدی را تولید می‌کند. عملکرد پالایشگاه‌های زیستی تشابه بسیاری به پالایشگاه‌های نفتی دارد. اما نکته قابل توجه درباره سامانه‌های مذکور این است که با استفاده از آنها نه تنها سوخت، بلکه انواع مواد شیمیایی و انرژی را نیز می‌توان به روش پایدار تولید کرد (Azlina et al., 2013). لازم به ذکر است که در حال حاضر پالایشگاه‌های زیستی با مشکلاتی از قبیل ناشناخته‌بودن بسیاری از اصول حاکم بر فرایندهای پالایش، گوناگونی کیفیت زیست‌توده‌ها، تنوع چگالی انرژی آنها و موارد متعدد دیگری روبه‌رو هستند؛ هرچند به نظر می‌رسد با گذر زمان و پیشرفت علم از این مشکلات کاسته شود. در شکل ۲ به مقایسه پالایشگاه‌های زیستی و پالایشگاه‌های نفتی پرداخته شده است. همچنین جدول ۳ به صورت اجمالی دورنمایی از برخی پالایشگاه‌های زیستی و میزان پختگی آنها را نمایش می‌دهد (Jong & Jungmeier, 2015).



شکل ۲: مقایسه طرح‌واره پالایشگاه‌های زیستی و پالایشگاه‌های نفتی (Viaspace inc., 2017)

۳.۳. مهندسی متابولیک

از دیگر مباحثی که در نتیجه هم‌پوشانی زیست‌فناوری و مهندسی شیمی مطرح شده است «مهندسی متابولیک» است. این مبحث مهندسی بر تولید محصولات دلخواه به‌وسیله دستکاری مسیرهای متابولیکی اندامگان‌ها در مقیاس مولکولی متمرکز است (Gavrilescu & Chisti, 2005; Kulkarni, 2016). به عبارت دیگر، مهندسان «متابولیک» واکنش‌های درون‌سلولی را به شکلی دستکاری می‌کنند که ماده شیمیایی خاصی تولید شود (Keasling, 2008).

جدول ۳: فهرست برخی از انواع پالایشگاه‌های زیستی (Jong & Jungmeier, 2015)

ردیف	نوع پالایشگاه	نوع خوراک	فرایندهای اصلی	مرحله توسعه	محصولات
۱	Conventional biorefineries	نشاسته، مواد قندی، چوب	پیش‌تصفیه، هیدرولیز با استفاده از کاتالیزهای شیمیایی و زیستی، تخمیر، جداسازی	تجاری	شکر، نشاسته، روغن، پالپ و کاغذ
۲	Whole crop biorefineries	علوفه، غلات	آسیاکاری خشک یا تر و تبدیل بیوشیمیایی	نیمه‌آزمایشگاهی و آزمایشی	نشاسته، اتانول
۳	Olechemical biorefineries	محصولات کشاورزی روغنی	پیش‌تصفیه، هیدرولیز با استفاده از کاتالیزهای شیمیایی، جداسازی	نیمه‌آزمایشگاهی، آزمایشی و تجاری	روغن، گلیسرین، غذای احشام
۴	Lignocellulosic feedstock biorefineries	زیست‌توده‌های سرشار از لیگنوسلولز مانند کاه، نی و ...	پیش‌تصفیه، هیدرولیز با استفاده از کاتالیزهای شیمیایی و زیستی، تخمیر، جداسازی	تحقیق و توسعه، نیمه‌آزمایشگاهی، و آزمایشی	سلولز، همی‌سلولز، لیگنین
۵	Green biorefineries	زیست‌توده‌های مرطوب مانند گیاهان سبز، چمن، برگ درختان و ..	پیش‌تصفیه، فشرده‌سازی، جداسازی و هضم	نیمه‌آزمایشگاهی و تحقیق و توسعه	پروتئین‌ها، آمینواسیدها، لاکتیک‌اسیدها و فیبرها
۶	Marine biorefineries	زیست‌توده‌های آبی مانند جلبک‌ها	شکستن سلول، استخراج و جداسازی محصول	تحقیق و توسعه، نیمه‌آزمایشگاهی، و آزمایشی	روغن‌ها، کربوهیدرات‌ها و ویتامین‌ها

۴.۳. ریزسیال‌ها

«ریزسیال‌ها» نیز در زمره مباحث داغ مطرح در حوزه «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» قرار دارد. در واقع، «ریزسیال‌ها» را دانش و فناوری کنترل و حرکت حجم‌های بسیار اندک سیالات تعریف کرده‌اند (گنجی‌زاده و

اشرفی‌زاده، ۱۳۹۶). سامانه‌های ریزسیالشی دستگاه‌های بسیار کوچکی هستند که برای اجرای فرایندهای شیمیایی، حرارتی و زیست‌پزشکی، اندازه‌گیری و آزمایش نمونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و معمولاً آزمایشگاه روی تراشه نامیده می‌شوند. امتیاز بزرگ این سامانه‌ها، اندازه کوچک و سرعت عمل بالای آنها نسبت به سامانه‌های معمول است. این دستگاه‌ها معمولاً از تعدادی ریزکانال، لوله موئینه، محفظه انجام واکنش، محفظه اختلاط، و پمپ‌های بسیار کوچک تشکیل شده‌اند (AICHe, 2009). سامانه‌های «آزمایشگاه روی تراشه» در فرایندهای تشخیص سریع پزشکی^۱ کاربردهای بسیاری دارند (Sharma et al., 2015). فهرستی از این سامانه‌ها، که به صورت تجاری تولید شده‌اند، در جدول ۴ ارائه شده است.

۳.۵. دارورسانی

از جمله سایر موضوعات داغی که توجه مهندسان «شیمی و زیست‌شناسی» را به خود جلب کرده است، می‌توان به «دارورسانی» اشاره کرد. در این حوزه از دانش و فناوری بر روی سامانه‌هایی، که با کمک آنها روند آزادسازی دارو در بدن کنترل می‌شود، تحقیق و پژوهش می‌شود. در بحث دارورسانی، در زمینه آزادسازی کنترل‌شده داروهای پوستی، چشمی و تنفسی نیز پیشرفت‌های گسترده‌ای صورت گرفته است. در آزادسازی دارو از پدیده‌هایی مانند نفوذ غشایی، نفوذ ماتریسی، تخریب‌زیستی و اسمز برای کنترل سرعت رهایش دارو استفاده می‌شود (Arrell & Eskeh, 2002). لذا «مهندسان شیمی و زیست‌شناسی» به دلیل آشنایی با پدیده‌های انتقال، ترمودینامیک و مهندسی واکنش‌های شیمیایی یکی از نقش‌های اصلی را در طراحی و ساخت سامانه‌های دارورسانی ایفا می‌کنند. البته دارورسانی عرصه‌ای کاملاً بین‌رشته‌ای است که متخصصانی از حوزه‌های مختلف علمی از جمله حوزه داروسازی در آن فعال بوده و استفاده از دانش، تجربه و مهارت داروسازان در تصمیم‌گیری راجع به موارد بالینی و روش‌های استفاده از سامانه‌های دارو رسانی اجتناب‌ناپذیر است. به عبارت دیگر، حضور داروسازان در حوزه دارورسانی به‌منظور حصول اطمینان از اثربخشی مطلوب سامانه دارورسانی مورد استفاده ضروری است (ASHP, 1993).

در سال‌های اخیر «دارورسانی هدفمند»^۲ مورد توجه بسیاری از «مهندسان زیست‌پزشکی» و «مهندسان شیمی و زیست‌شناسی» قرار گرفته است. یکی از اهداف تحقیق و پژوهش راجع به «دارورسانی هدفمند» دستیابی به حامل‌های دارویی است که بتوانند:

- به بهبود توزیع زیستی^۳ داروها یا مواد شیمیایی درمانی در بدن کمک کنند.
- تمامی مواد مؤثر را به ارگان‌های موردنظر یا بافت‌های بیمار و توده‌های سرطانی برسانند.

- مواد مؤثر را بر اساس پارامترهای خارجی یا داخلی آزاد کنند. به‌عنوان مثال، حامل‌ها به گونه‌ای باشند که دارو را بر اساس دما، pH، غلظت آنزیم‌های خاص یا عوامل خارجی، مثل میدان مغناطیسی، آزاد کنند.

تخصص مهندسان «شیمی و زیست‌شناسی» در فراوری بسپارها و مواد زیست‌سازگار و قابل تجزیه زیستی، به‌عنوان حامل‌های دارویی، بیانگر نقش مؤثری است که می‌توانند در پیشرفت دارورسانی هدفمند ایفا کنند (AICHE, 2009).

جدول ۴: فهرستی از برخی سامانه‌های ریزسیالشی تشخیصی طبی تجاری (Sharma et al., 2015)

آزمون	مقدار نمونه لازم	طول زمان آزمون	نام دستگاه	توضیحات
بررسی ترکیب شیمیایی خون / فاکتورهای کبدی	۲۵ میکرولیتر خون یا ادرار	حدود ۱۲ دقیقه	The Piccolo	نیازی به اپراتور ماهر برای انجام آزمون نیست.
بررسی آلودگی به ویروس آنفلوآنزای نوع A و B	نمونه خلط	کمتر از ۶۰ دقیقه	Simplexa	لازم است توسط پزشک صورت پذیرد.
بررسی ترکیب شیمیایی خون / نشانگرهای قلبی عروقی / لخته‌ها	۱۷ تا ۹۵ میکرولیتر خون (بسته به نوع آزمون)	کمتر از ۱۵ دقیقه	i-STAT Analyzer	برای استفاده از تجهیز لازم است به فرد بیمار آموزش لازم داده شود.
بررسی شدت خشکی چشم	۵۰ نانو لیتر اشک چشم	چند ثانیه	TearLab Osmolarity System	آزمون باید در شرایط و محیط آزمایشگاهی انجام شود.

۳.۶. مهندسی بافت

«مهندسی بافت» یکی دیگر از مباحث جدید در حوزه «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» است که در حوزه «مهندسی زیست‌پزشکی» مطرح می‌شود. «مهندسی بافت» عبارت است از طراحی و ساخت سامانه‌های زیستی که دارای قابلیت بازیابی، ترمیم، بهبوددهی عملکرد یا جایگزینی ارگان‌های بدن را

دارند (Langer & Vacanti, 1993). بافت‌ها یا ارگان‌های ساخته‌شده معمولاً با بافت‌ها و ارگان‌های معیوب و تخریب‌شده بدن انسان تعویض می‌شوند تا بدین ترتیب عملکرد بدن را بهبود بخشند (AIChE, 2009). مباحث مطرح در این حوزه بر سنتز زیست‌مواد، شناسایی و ارزیابی خواصی مانند زیست‌سازگاری زیست‌مواد ساخته‌شده، ساخت داربست‌ها از زیست‌مواد یا از بافت‌های موجود، بررسی کشت سلول‌های انسانی بر روی داربست‌ها، انتقال مواد در داربست‌ها و مواردی از این قبیل متمرکزند. طی سال‌های اخیر، بحث بسپارهای زیست‌تخریب‌پذیر مورد استفاده در مهندسی بافت که مولکول‌های دارای خواص آنتی‌باکتریال و ضدلختگی را (مثل اکسید نیتروژن) از خود آزاد می‌کنند (Joslin et al., 2014; Lutzke et al., 2016; Lutzke et al., 2017)، روش‌ها و سامانه‌های تولید نانوفیبرهای بسپاری مناسب برای استفاده در مهندسی بافت (الکتروریسی^۱، خشک‌کردن پاشش^۲، الکتروپاشش^۳، جداسازی فازی^۴ و ...) (Ankireddy & Kim, 2017; Place et al., 2016)، روش‌های مبتنی بر مواد زیستی هوشمند بر ای بازتولیدکردن اعصاب (Mallapragada & Uz, 2017) و ... در جامعه «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» بسیار مورد توجه بوده است.

۳.۷. مهندسی محیط‌زیست

امروزه «مهندسی محیط‌زیست» نه تنها بر پاکسازی و تصفیه هوا و آب‌های آلوده شهری و صنعتی، بلکه بر پیشگیری از انتشار آلودگی، و حتی تولید آب قابل‌شرب متمرکز شده است. علاوه بر این، با توجه به مشکلات زیست‌محیطی و کمبود منابع انرژی، اخیراً تولید اقتصادی و ایمن محصولات بازیافت‌پذیر، با حداقل تولید آلاینده و حداقل مصرف مواد خام تجدیدناپذیر، که موضوع بحث «مهندسی سبز»^۵ است، مرکز توجه بسیاری قرار گرفته است. تسلط مهندسان «شیمی و زیست‌شناسی» بر دانش کلاسیک مهندسی شیمی و همچنین آشنایی آنها با زیست‌شناسی، موجب پررنگ شدن نقش آنان در زمینه «مهندسی محیط‌زیست» شده است. زیست‌پالایی^۶ محیط‌های صنعتی آلوده، جداسازی و ذخیره‌سازی کربن‌دی‌اکسید (Hong et al., 2016; Ramezani et al., 2017)، تصفیه فیزیکی، زیستی و شیمیایی آب، خاک و هوا (Mohamed et al., 2017; Qin et al., 2015; Su et al., 2014)، ارزیابی چرخه عمر و مهندسی سبز (Kern et al., 2016; McKinstry et al., 2017)، از جمله زمینه‌هایی از «مهندسی محیط‌زیست» هستند که مهندسان «شیمی و زیست‌شناسی» در آن فعالیت دارند.

1. Electrospinning
2. Spray Drying
3. Electrospray
4. Phase Separation
5. Green Engineering
6. Bio-Remediation

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی ارتباطات تنگاتنگ زیست‌شناسی و مهندسی شیمی پرداخته شد و همچنین رشته «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» معرفی شد. گفته شد که در قرن جاری مسائل اقتصادی، زیست‌محیطی و صنعتی، کاربردهای کلاسیک مهندسی شیمی را به دلیل وابستگی به منابع انرژی تجدیدناپذیر، تولید آلاینده‌ها، و ... به چالش می‌کشد و علم زیست‌شناسی به‌عنوان ابزاری برای مواجهه با چالش‌های مذکور معرفی شد. همچنین به تأثیرپذیری علوم مهندسی از پیشرفت‌های زیست‌شناسی و پیدایش حوزه‌های مهندسی جدیدی مانند «مهندسی زیست‌پزشکی»، «مهندسی فرایندهای زیستی» و ... اشاره شد و راجع به وابستگی شدید این حوزه‌های نوظهور به فعالیت مهندسان شیمی بحث شد. گفته شد که موارد فوق‌الذکر ضرورت تلفیق علوم زیست‌شناسی و مهندسی شیمی را به اثبات رسانده و در کشورهای پیشرفته با درک این مهم، ساختار کلاسیک رشته مهندسی شیمی تغییر داده شده و بدین ترتیب رشته‌هایی مانند «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» تأسیس گردید. سپس ساختار معمول برنامه آموزشی رشته مزبور بررسی شد؛ که عموماً با استفاده از دروس پایه مرتبط با زیست‌شناسی، پیوند دادن مباحث مطرح در دروس اصلی با زیست‌شناسی، و ارائه دروس اختیاری مربوط، دانشجویان را آماده فعالیت در مرزهای علوم زیست‌شناسی و مهندسی شیمی می‌کنند. در نهایت، برای بیان اهمیت، کارایی و کاربرد رشته «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» به بررسی مباحث روز این رشته پرداخته شد. مشاهده شد که مهندسان «شیمی و زیست‌شناسی» دانش و آگاهی کافی را برای ایفای نقش در حوزه‌های متنوعی (از کاتالیست‌های زیستی گرفته تا دارورسانی و محیط‌زیست) دارند. تمام آنچه در این مقاله مورد بحث قرار گرفت، ضرورت تجدیدنظر در ساختار کلاسیک نظام آموزش مهندسی شیمی کشور را اثبات می‌کند. این مقاله پیشنهاد می‌کند که مسئولان امر با تأسیس رشته‌هایی مانند «مهندسی شیمی و زیست‌شناسی» برنامه آموزشی مهندسی شیمی را با نیازهای صنعتی هماهنگ کنند و نیز زمینه فعالیت در حوزه‌های جدید مهندسی و مقابله هرچه مؤثرتر با چالش‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و صنعتی را فراهم آورند.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از شورای پژوهشی دانشگاه علم و صنعت ایران به خاطر حمایت و پشتیبانی از انجام این پژوهش تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

مراجع

- اشرفی‌زاده، سیدنظام‌الدین؛ نیک‌بخش، سارا و علوی، زهره (۱۳۸۵). زیست‌فناوری و مهندسی شیمی. *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*، ۸ (۲۹)، ۱-۱۵.
- گنجی‌زاده، اردلان و اشرفی‌زاده، سیدنظام‌الدین (۱۳۹۶). ریزسیال‌ش، حوزه‌ای نوظهور در مهندسی شیمی. *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*، ۱۹ (۷۳)، ۱۳۹-۱۶۸.
- مطهر، صادق و عالم‌رجبی، علی اکبر (۱۳۹۵). آموزش انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران. *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*، ۱۸ (۶۹)، ۷۷-۹۰.
- AICHe. (2009). Chemical engineers in the biomedical field: From discoveries to solutions. Retrieved from <http://studylib.net/doc/10322128/chemical-engineers-in-the-biomedical-field-from-discover...>
- Ankireddy, S. R. and Kim, J. (2017). Synthesis and characterization of quantum dot-loaded fibers by an electrospinning process. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 17, 2720–2723.
- Arrell, S. T. F. and Esketh, R. O. P. H. (2002). An introduction to drug delivery for chemical engineers. *Chemical Engineering Education*, 36(3), 198–203.
- ASHP. (1993). ASHP statement on the pharmacist's role with respect to drug delivery systems and administration devices. *American Journal of Health-Systems Pharmacy*, 50, 1724–1725.
- Azlina, W. W.; Amran, M. M.; Radiah, A. D. and Salmiaton, A. (2013). Sustainable development in chemical and biological engineering education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 102, 490–498.
- Bhambhani, A. and Medi, B. M. (2010). Selection of containers/closures for use in lyophilization applications: Possibilities and limitations. *American Pharmaceutical Review*, 13(4), 86-91.
- Bhavisya, M. (2016). *How to develop robust solid oral dosage forms*: Academic Press.
- CBD.int. (2017). Text of CBD. Retrieved from <https://www.cbd.int/convention/articles/default.shtml?a=cbd-02>.
- Cronin, K.; Ring, D. and Montañez, J. C. (2017). Influence of granulation process parameters on food tablet properties formulated using natural powders (*Opuntia ficus* and *Chlorella* spp.), *Powder Technology*, 317, 281–286.
- Dutta, R. (2008). *Fundamentals of biochemical engineering* (1st ed.). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Favre, E.; Roizard, C. and Schaer, E. (2008). Trends in chemical engineering education: Process, product and sustainable chemical engineering challenges. *Education in Chemical Engineering*, 3, 22–27.
- Garnier, G. (2014). Grand challenges in chemical engineering. *Frontiers in Chemistry*, 2, 1–3. <http://doi.org/10.3389/fchem.2014.00017>.
- Gavrilescu, M. and Chisti, Y. (2005). Biotechnology — a sustainable alternative for chemical industry. *Biotechnology Advances*, 23, 471–499.
- Hatti-Kaul, R.; To, U. and Gustafsson, L. (2007). Industrial biotechnology for the production of bio-based chemicals a cradle-to-grave perspective. *Trends in Biotechnology*, 25(3), 120–124.

- Heise, G. (2014). Kyoto prize for founder of tissue engineering. Retrieved from <http://www.dw.com/en/kyoto-prize-for-founder-of-tissue-engineering/a-18051946>.
- Hong, S.; Jang, E.; Dysart, A. D.; Pol, V. G. and Lee, K. B. (2016). CO₂ capture in the sustainable wheat-derived activated microporous carbon compartments. *Scientific Reports*, 6, 34590.
- Järvinen, M. A.; Paaso, J.; Paavola, M.; Leiviskä, K. and Juuti, M. (2013). Continuous direct tablet compression: Effects of impeller rotation rate, total feed rate and drug content on the tablet properties and drug release. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 39, 1802–1808.
- Jiang, Y.; Zou, S. and Cao, X. (2016). Rapid and ultra-sensitive detection of foodborne pathogens by using miniaturized microfluidic devices: A review. *Analytical Methods*, 8(37), 6668–6681.
- Jong, E. De and Jungmeier, G. (2015). Biorefinery concepts in comparison to petrochemical refineries. *Industrial Biorefineries and White Biotechnology*, 3–33.
- Joslin, J. M.; Hawker, M. J.; Reynolds, M. M. and Fisher, E. R. (2014). Creation of hydrophilic nitric oxide releasing polymers via plasma surface modification. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 6(15), 12307–12320.
- Keasling, J. D. (2008). Synthetic biology for synthetic chemistry. *ACS Chemical Biology*, 3(1), 64–76.
- Kern, J. D.; Hise, A. M.; Characklis, G. W.; Gerlach, R. and Gardner, R. D. (2016). Using life cycle assessment and techno-economic analysis in a real options. *Bioresource Technology*, 225, 418–428.
- Kulkarni, R. (2016). Metabolic engineering: Biological art of producing useful chemicals. *Journal of Science Education*, 21(3), 233–237.
- Langer, R. and Vacanti, J. P. (1993). Tissue engineering. *Science*, 260 (5110), 920–926.
- Le, C. D. (2012). *Gasification of biomass: An investigation of key challenges to advanced acceptance of the technology*. PhD Thesis, University of Bath.
- Lee, S. and Shah, Y. T. (2012). *Introduction to biofuels and bioenergy*: CRC Press.
- Liu, S. (2016). *Bioprocess engineering: Kinetics, sustainability, and reactor design*: Elsevier.
- Lutzke, A.; Neufeld, B. H.; Neufeld, M. J. and Reynolds, M. M. (2016). Nitric oxide release from a biodegradable cysteine-based polyphosphazene. *Journal of Materials Chemistry B*, 4, 1987–1998.
- Lutzke, A.; Tapia, J. B.; Neufeld, M. J. and Reynolds, M. M. (2017). Sustained nitric oxide release from a tertiary S-nitrosothiol-based polyphosphazene coating. *ASC Applied Materials and Interfaces*, 9(4), 2104–2113.
- Mallapragada, S. K. and Uz, M. (2017). Smart materials for nerve regeneration and neural tissue engineering. *Smart Materials for Tissue Engineering*, 382–408.
- Maniruzzaman, A. M.; Ross, S. A.; Nair, A.; Snowden, M. J. and Douroumis, D. (2017). A quality by design (QbD) twin—screw extrusion wet granulation approach for processing water insoluble drugs. *International Journal of Pharmaceutics*, 526(1), 496–505.
- Mateo-ortiz, D.; Mota-aguilar, D. A.; Florián-algarín, M. A.; Avilés-barreto, S. L.; Méndez, R.; Velázquez, C. and Cardona-martínez, N. (2012). Motivating K-12 students to study pharmaceutical engineering using guided hands-on visits. *Education for Chemical Engineers*, 7(4), e219–e229.

- Mckinstry, C.; Cussen, E. J.; Fletcher, A. J.; Siddharth, V. and Sefcik, J. (2017). Scalable continuous production of high quality HKUST-1 via conventional and microwave heating. *Chemical Engineering Journal*, 285, 718–725.
- Michan, I. M. L. (2011). *Biomedical engineering – From theory to application*: Tech.
- Mohamed, B. A.; Ellis, N.; Soo, C. and Bi, X. (2017). The role of tailored biochar in increasing plant growth, and reducing bioavailability, phytotoxicity, and uptake of heavy metals in contaminated soil. *Environmental Pollution*, 230, 329–338.
- Navin, C. V.; Krishna, K. S. S., C. T. and Kumar, C. S. (2016). Space and time-resolved probing of heterogeneous catalysis reactions using lab-on-a-chip. *Nanoscale*, 8(10), 5546–5551.
- Osorio, J. G.; Stuessy, G.; Kemeny, G. J. and Muzzio, F. J. (2016). Micro-mixing dynamics of active pharmaceutical ingredients in bin-blending. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 102, 141–155.
- Pitts, K. L. and Fenech, M. (2013). Micro-particle image velocimetry for velocity profile measurements of micro blood flows. *Journal of Visualized Experiments*, 74, 50314.
- Place, L. W.; Sekyi, M., Taussig, J. and Kipper, M. J. (2016). Two-phase electrospinning to incorporate polyelectrolyte complexes and growth factors into electrospun chitosan nanofibers. *Macromolecular Bioscience*, 16(3), 371–380.
- Plunkett, N. and Brien, F. J. O. (2011). Bioreactors in tissue engineering. *Technology and Health Care*, 19, 55–69.
- Pramanik, H. and Rathoure, A. K. (2017). Electrooxidation study of NaBH₄ in a membraneless microfluidic fuel cell with air breathing cathode for portable power application. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, 5340–5350.
- Qin, L.; Fan, Z.; Xu, L.; Zhang, G.; Wang, G.; Wu, D.; ... and Meng, Q. (2015). Submerged membrane bioreactor with pendulum type oscillation (PTO) for oily wastewater treatment: Membrane permeability and fouling control. *Bioresource Technology*, 183, 33–41.
- Ramezani, R.; Mazinani, S.; Felice, R. Di; Darvishmanesh, S. and Bruggen, B. V. D. (2017). Selection of blended absorbents for CO₂ capture from flue gas_ CO₂ solubility, corrosion and absorption rate. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 62, 61–68.
- Rathoure, A. K. and Pramanik, H. (2016). Electrooxidation study of methanol using H₂O₂ and air as mixed oxidant at cathode in air breathing microfluidic fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41, 15287–15294.
- Saliceti-piazza, L.; Rico, P. and Buxeda, R. (2004). Incorporation of biology knowledge and skills into a chemical engineering laboratory course to address a biotechnology professional profile. *International Conference on Engineering Education and Research*, 417–421.
- Sawhney, S. G. (2007). *Fundamentals of biomedical engineering*: New Age International.
- Shao, Z.; Ang, E. L. and Zhao, H. (2006). Biomolecular engineering. Retrieved from pdfs.semanticscholar.org.
- Sharma, S.; Zapatero-Rodriguez, J.; Estrela, P. and Kennedy, R. O. (2015). Point-of-care diagnostics in low resource settings: Present status and future role of microfluidics. *Biosensors*, 5, 577–601.
- Shuler, M. L. and Kargi, F. (2002). *Bioprocess engineering basic concepts* (2nd ed.): Prentice Hall PTR.
- Stephanopoulos, G. (2003). Chemical and biological engineering. *Chemical Engineering Science*, 58, 3291–3293.

- Su, Y.; Zhang, X.; Wei, X. and Kong, J. (2014). Evaluation of simultaneous biodegradation of methane and toluene in landfill covers. *Journal of Hazardous Materials*, 274, 367–375.
- Subrahmanyam, C. V. S.; Setty, J. T.; Suresh, S. and Kusum Devi, V. (2002). *Pharmaceutical engineering: Principles and practices*: Dehli Vallabh Prakashan.
- Vacanti, C. A. (2006). The history of tissue engineering. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 10(3), 569–576.
- Varma, A. (2003). Future directions in chemical engineering education: A new path to glory. *Lecture Series in Chemical Engineering*, 37(4), 284–284.
- Viaspace inc. (2017). Biorefinery: Biofuels, biochemicals and bioplastics. Retrieved from http://www.viaspace.com/biochemicals_bio_plastics.php
- Villarrubia, C. W. N.; Soavi, F.; Santoro, C.; Arbizzani, C.; Serov, A.; Rojas-carbonell, S. and Gupta, G. (2016). Self-feeding paper based biofuel cell/self-powered hybrid μ -supercapacitor integrated system. *Biosensors and Bioelectronic*, 86, 459–465.
- Yoon, J. and Kim, B. (2012). Lab-on-a-chip pathogen sensors for food safety. *Sensors*, 12, 10713–10741.

