همراهی زیست‌فناوری؛ به جای جایگزینی

الهام عماری، دانشجوی کارشناسی ارشد محیط‌زیست و معلم شیمی زنجان
مهدی عماری، دانشجوی کارشناسی ارشد پژوهشگری

چکیده

زیست فناوری شاخه‌ای از علم است که به‌طور هم‌زمان، قدیمی‌ترین فناوری‌های صنعتی و جدیدترین آن‌ها را دربرمی‌گیرد. وجود تفاوت‌های اساسی میان فرایندهای زیست‌شناختی و فرایندهای شیمیایی، ضرورت بازبینی نقش مهندسی شیمی را یادآور می‌شود. همچنان که شیمی‌دانان مدت‌ها ادارهٔ صنایع شیمیایی را به‌عهده داشتند، فرایندهای زیستی توسط زیست‌شناسان میکروبی صنعتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بسیاری از حوزه‌های زیست‌شناختی می‌توان به کمک مفاهیم سادهٔ مهندسی، فرایندهای زیست‌شناختی را توسعه داد.

کلیدواژه‌ها

مهندسی شیمی، فرایند زیستی، زیست فناوری

مفهوم زیست فناوری تکامل یافته است

با اینکه از زیست فناوری به‌عنوان دانشی جدید یاد می‌شود باید آن را یکی از قدیمی‌ترین فناوری‌های صنعتی دانست. برای مهندسان زیست شیمی، استفادهٔ درست از موجودات زندهٔ ذره‌بینی یا پالایش زیست‌شناختی پسماندها و پساب‌ها که از دیرباز مطرح بوده است، باید در محدودهٔ دانش زیست فناوری

واژهٔ زیست فناوری نیز چنان‌که به‌نظر می‌رسد، جدید نیست و نخستین بار در سال ۱۹۱۹، این واژه را یک مجارستانی به نام ارکی[1]، در کتاب خود به‌کار برد. او در این کتاب مراحل تولید فراورده‌ها به کمک موجودات زندهٔ ذره‌بینی را توضیح داده و امکان استفاده از این فرایند را در کشاورزی مطرح کرده بود. در همان زمان فرایندی صنعتی برای تولید انبوه استون در دانشگاه منچستر معرفی شد که به روش تخمیر انجام می‌گرفت و با تعریفی که ارکی ارائه داده بود سازگاری داشت.

مرز زیست فناوری قدیم و جدید

در زیست فناوری جدید، بیشتر فراورده‌ها ارزشمندند و مقدار کمی از آن‌ها کاربردهای تشخیصی یا پزشکی مهمی دارند. در حالی‌که، در زیست فناوری قدیمی، فراورده‌ها ارزش کمی داشتند و در تهیهٔ آن‌ها نیاز به تجهیزات در اندازه‌های بزرگ بود. در واقع،

فرایندهای بسیار کوچک زیست فناوری در حوزه‌های قدیمی مهندسی شیمی نمی‌گنجند و به دانشی خاص نیازمندند

فراورده‌ها زیر نظر مهندسان شیمی، در مقیاس زیاد تولید می‌شد. در این عرصه، مسائلی از جمله مکانیک سیال‌ها، انتقال جرم، گرما، واکنش‌ها و جداسازی در سامانه‌های زنده باید مورد بررسی قرار می‌گرفت که همه در متن مهندسی شیمی قرار دارند. بنابراین کافی بود مهندس شیمی تنها اندکی با دانش فرایندهای زیستی آشنا باشد.

به هر حال، فرایندهای بسیار کوچک زیست فناوری در حوزه‌های قدیمی مهندسی شیمی نمی‌گنجند و به دانشی خاص نیازمندند. در این موارد، به‌دلیل کوچک بودن مقیاس‌ها، بالا بودن بازده واکنش‌ها و مسائل مورد توجه در مهندسی شیمی اهمیت ندارد. انجام این فرایندها بیشتر به کارشناسان زیست فناوری مربوط می‌شود تا مهندسان زیست شیمی.

متأسفانه بسیاری از مهندسان زیست شیمی با توسعهٔ زیست فناوری به اشتباه، بر محور تولید متمرکز شده و زمینه‌های اصلی مهندسی فرایند را رها کرده‌اند

توسعهٔ زیست فناوری ضروری است

تردیدی نیست که زیست فناوری، صنعتی رو به رشد است و تسلط آن بر صنایع شیمیایی در آینده، تحقق خواهد یافت زیرا فرایندهای زیست فناوری بر منابع تجدیدپذیر تکیه دارند در نتیجه، هنگامی که مواد خام تجدیدناپذیر در دسترس نباشند زیست فناوری توسعهٔ چشمگیر خواهد یافت. در این حال، همهٔ فراورده‌ها از مواد هیدروکربنی تجدیدپذیر تولید خواهند شد. این رویداد، در کاهش پساب‌های صنایع غذایی و کشاورزی مؤثر خواهد بود زیرا اثر روش‌های زیست فناوری در تبدیل پسماندها بسیار اقتصادی‌تر از روش‌های شیمیایی است.

بنا به ملاحظات سیاست جهانی، باید تا جای ممکن فراورده‌های مورد نیاز بشر از طبیعت تولید شوند و تولید به روش زیست‌شناختی تقریباً در هر جایی که شدنی و مناسب باشد، ترجیح داده شود.

مقایسهٔ حوزه‌های مختلف

جدول ۱، حوزه‌های تقریبی فرایندهای زیست فناوری را نشان می‌دهد. افزون بر فراورده‌های حاصل از صنایع زیست‌شناختی سنتی مانند غذاهای تخمیری، آنزیم‌ها، پادزیست‌ها و پالایش پساب‌ها، نمونه‌های دیگری نیز در این حوزه وجود دارند. بسیاری از فراورده‌های باارزشی که در جدول ۱ آمده است،

جدول ۱ تقسیم‌بندی حوزه های مختلف فرایندهای زیست فناوری

مقادیر کم: فراورده‌های باارزش	آنزیم‌ها و مواد پزشکی	واحدهای آن تأسیس شده و در حال توسعه‌اند.
مقادیر متوسط: جایگزین مواد با منشأ طبیعی	مواد خام پروتئینی، روغن‌ها، چربی‌ها و چندقندی‌ها	مسائل اقتصادی تعیین‌کننده است اما به موازات آن پیشرفت هم صورت می‌گیرد.
مقادیر متوسط: جایگزین مواد با روش‌های مصنوعی	اسیدهای آلی، حلال‌ها، گلیکول‌ها، الکل‌ها، زائد	واحدهای زیادی تأسیس شده‌اند اما مسائل اقتصادی تعیین‌کننده است. با این وجود تقریباً این حوزه‌ها رو به رشد است.
مقادیر زیاد: جایگزین مواد پتروشیمی	متان، هیدروژن، اتانول یا ترکیب‌های مشتق شده	مفاهیم فرایندی جدیدی مورد نیاز است و نیز سیاست‌های اقتصادی در این مورد دخالت دارند.

از آنجا که بیشتر فراورده‌های زیست فناوری جدید، دارای ارزش بسیار زیاد و مقدار کم از مواد زیست شیمیایی‌اند، فرایندهای بازیافت (جداسازی) این فراورده‌ها ممکن است هزینه‌بر باشد و با صرف انرژی زیاد صورت گیرد

به‌ویژه آن‌هایی که مقدار مواد شیمیایی مورد نیاز در آن‌ها بسیار کم است، اغلب در حد چند کیلوگرم در سال تولید می‌شوند.

فراورده‌های طبیعی از جمله پروتئین‌هایی که به روش زیست‌شناختی به‌دست می‌آیند و تک‌سلولی هستند، می‌توانند با فراورده‌های پروتئینی کشاورزی رقابت کنند. همچنین در جایی که دسترسی به نفت آسان است، جایگزینی فراورده‌های مصنوعی مانند اسیدهای آلی و حلال‌ها، هزینهٔ نسبتاً بالایی دارد. در این مورد باید احتمالاً منتظر از بین رفتن این مادهٔ خام بود. جایگزینی فراورده‌های پتروشیمی همچون الکل‌های سوختی نیز- که در مقیاس وسیع تولید می‌شوند- باید در مقیاس خیلی بیشتری نسبت به آنچه که فعلاً برای فرایندهای زیست‌شناختی قابل اجراست تولید شوند تا اقتصادی و مقرون به‌صرفه باشند.

آخرین گروه در جدول ۱ بیشترین چالش را برای مهندس زیست شیمی ایجاد کرده است. در دهه‌های اخیر، هنوز صنعت زیست فناوری در این مورد قابل مقایسه با صنعت شیمیایی بوده است. در این حوزه، بیشتر زیست فناوران به‌جای مهندسان وارد عمل شده‌اند و این روش‌ها شاید برای مواد با ارزش و در مقیاس پایین- که برای تولید آن‌ها، راه دیگری به‌جز روش زیست فناوری وجود ندارد- کافی باشد اما برای فرایندهایی با مقیاس بزرگ کافی نیست؛ چراکه مسائل اقتصادی بسیار مهم بوده، تأثیر هزینه از دید مهندسی می‌تواند به معنای تفاوت بین شکست و پیروزی باشد.

متأسفانه بسیاری از مهندسان زیست شیمی با توسعهٔ زیست فناوری به اشتباه، بر محور تولید متمرکز شده و زمینه‌های اصلی مهندسی فرایند را رها کرده‌اند. البته جایگاه مهمی برای کارشناسان زیست فناوری در توسعهٔ صنعت وجود دارد اما در عمل، نقش مهندسی شیمی در زیست فناوری باید همان نقش مهندسی زیست شیمی باشد، نه یک کارشناس زیست فناوری.

تفاوت فرایندهای زیستی و شیمیایی

اگرچه برخی فرایندهای زیست‌شناختی، شبیه فرایندهای شیمیایی هستند و سه مرحلهٔ اصلی یعنی آماده‌سازی مواد خام، واکنش و بازیافت فراورده را دربرمی‌گیرند اما تفاوت‌های بسیار مهمی نیز دارند. از مهم‌ترین این تفاوت‌ها در فرایندهای زیستی می‌توان تعداد نامحدود فراورده‌هایی را نام برد که از یک مادهٔ خام به‌دست می‌آیند؛ زیرا ماده خام یا همان ماده اولیه، در واقع یک منبع غذایی برای رشد موجودات زندهٔ ذره‌بینی است.

معمولاً فراورده‌های یاد شده، حاصل فرایند رشد میکروبی هستند. در نتیجه، واکنش از پیش تعیین‌شده‌ای بر مبنای یک گروه ویژه از واکنش‌دهنده‌ها وجود ندارد. در واقع تولید فراورده، تابع موجودات زنده‌ای است که برای انجام واکنش انتخاب می‌شوند. حتی این هم ویژگی مورد نظر را تضمین نمی‌کند؛ زیرا همان موجودات زنده که در یک منبع اولیه رشد می‌کنند، ممکن است فراورده‌های مختلفی مانند اتانول، لاکتیک‌اسید، آنزیم یا یک پادزیست تولید کنند. فقط کنترل دقیق شرایط فیزیکی یا انتخاب و زمان‌بندی برخی شرایط، اطمینان خواهد داد که آنچه تولید می‌شود، فراوردهٔ مطلوب خواهد بود. جزء کلیدی مخلوط واکنش شامل موجودات زنده، هم کاتالیزگر واکنش است و هم فراوردهٔ واکنش که در شروع واکنش به سادگی و به میزان زیاد فراهم می‌شود.

برای اطمینان از صحیح بودن موجود زندهٔ انتخاب شده یا فراورده‌ای که تولید می‌شود، باید مادهٔ اولیه حاوی مقدار کمی از موجود زندهٔ انتخاب شده در محیط کشت باشد. به این ترتیب از رقابت موجودات زنده دیگر جلوگیری می‌شود. با گندزدایی منبع، جداسازی آن از رقابت‌کننده‌ها امکان‌پذیر است که این مورد باید در سرتاسر واکنش دنبال شود.

از آنجا که بیشتر فراورده‌های زیست فناوری جدید، دارای ارزش بسیار زیاد و مقدار کم از مواد زیست شیمیایی‌اند، فرایندهای بازیافت (جداسازی) این فراورده‌ها ممکن است

هزینه‌بر باشد و با صرف انرژی زیاد صورت گیرد. همچنین برای به حداقل رساندن اتلاف یک فراورده باارزش، باید بازدهی بالایی را در نظر گرفت. این مورد با فرایندهای زیست‌شناختی قدیمی‌تر در صنایع غذایی و نوشیدنی، تولید پادزیست‌ها، مواد دارویی با ارزش متوسط و پالایش فاضلاب تفاوت دارد.

نقش شرایط واکنش

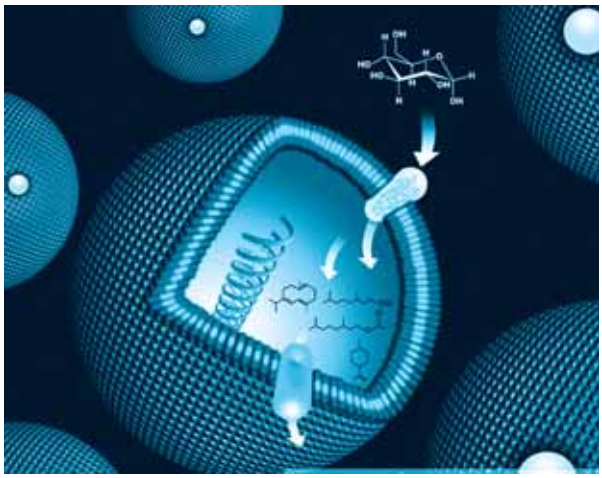
اغلب واکنش‌های زیست‌شناختی به‌طور چشمگیری آهسته‌تر از واکنش‌های شیمیایی انجام می‌شوند. برخلاف صنایع شیمیایی که در آن‌ها فرایندهای پیوسته[2] ترجیح دارد، واکنش‌های زیست‌شناختی به‌صورت پاتیلی[3] انجام می‌شوند. اغلب واکنش‌های زیست‌شناختی در همان غلظت‌های پایین فراورده متوقف می‌شوند و این خود دلیل محکمی برای ارجح بودن عملیات پاتیلی است. همچنین برخلاف بیشتر واکنش‌های شیمیایی، سرعت واکنش‌های زیست‌شناختی با افزایش دما و فشار افزایش نمی‌یابد و واکنش‌ها باید در شرایط نزدیک به دمای محیط انجام شوند. فراورده‌های مورد نظر نیز در گرما ناپایدار هستند و برای جلوگیری از تخریب آن‌ها باید انجام واکنش در شرایط ملایمی صورت گیرد. باوجود این تفاوت‌ها در فرایندهای زیست‌شناختی و شیمیایی، زمینه‌های وسیعی وجود دارد که یک مهندس زیست شیمی برای طراحی و اجرای عملیات فرایندهای زیست‌شناختی می‌تواند در آن نقش داشته باشد.

کلام پایانی

تا اینجا به برخی از شیوه‌هایی که در آن‌ها مهندس فرایند یا شیمی در توسعه صنعتی زیست فناوری می‌تواند نقش داشته باشد اشاره شد. چالش‌های فراوانی برای مهندس شیمی در صنعت زیست فناوری وجود دارد. حوزه‌هایی وجود دارند که در آن‌ها مهندس شیمی و کارشناس زیست فناوری باید با یکدیگر همکاری کنند تا مشکلات را در گام اول شناسایی کرده، در ادامه راه‌حل‌ها را پیدا کنند.

در مقایسه با فرایندهای شیمیایی، فرایندهای زیست‌شناختی، در سرعت‌های کم و غلظت‌های پایین انجام می‌گیرند. می‌توان به کمک برخی از روش‌ها مانند استفاده از تثبیت سلولی، فرایند را بهبود داد اما این مورد نیز دارای محدودیت است، زیرا برخی موجودات زنده ممکن است شامل ویژگی‌های عملی و فیزیکی

حوزه‌هایی وجود دارند که در آن‌ها مهندس شیمی و کارشناس زیست فناوری باید با یکدیگر همکاری کنند تا مشکلات را در گام اول شناسایی کرده، در ادامه راه‌حل‌ها را پیدا کنند



مناسب برای تثبیت نباشند. ممکن است برخی روش‌ها نیز جهت بهبود سرعت به‌کار روند؛ برای نمونه می‌توان سلول‌ها را برای چسبیدن به سطح، ارائه فراورده‌های داخل سلولی یا خارج سلولی یا برای رهاسازی فراورده بعد از برانگیختن، مناسب با نیازهای کلی فرایند، مهندسی کرد.

بیشتر فرایندهای تخمیری که از قبل پیش‌بینی شده بود که از دیدگاه تجاری و در مقیاس بزرگ موفق باشند، مقادیر نسبتاً کمی از فراورده را تولید کرده‌اند. این فرایندها، فرایندهایی بوده‌اند که در محیط آلوده انجام شده‌اند. در بخش گندزدایی و نگهداری، هزینه‌های عملیاتی یا سرمایه‌ای، چشمگیر است و هر فرایندی که نیاز به این مراحل نداشته باشد، مطلوب‌تر است.

1. Erkey
2. continious
3. batch

۱. فرهنگ اصطلاحات مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، جهاد دانشگاهی صنعتی شریف.
۲. «بیوتکنولوژی جهان آینده را تغییر خواهد داد»، کیمیا، سال سوم شماره۸، مهر ۱۳۶۹.
۳. «بیوتکنولوژی، آینده جهان و موقعیت ما»، کیمیا، سال سوم شماره۸، مهر ۱۳۶۹.
٤. معظمی، نسرین- شجاع‌الساداتی، عباس، مقدمه‌ای بر بیوتکنولوژی، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.