دوماهنامه طبّ جنوب
پژوهشکده زیست- پزشکی خلیج فارس
دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر
سال بیستم، شماره ۵، صفحه ۵۱۸– ۵۰۱ (آذر و دی ۱۳۹۶)

Iran South Med J 2017;20(5): 501-518

پیش‌نویسی برای نقشه راه توسعهٔ بیولوژی سینتتیک جمهوری اسلامی ایران

ایرج نبی‌پور (MD) [۱ و ۲*]

[۱] مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی خلیج‌فارس، پژوهشکده علوم زیست پزشکی خلیج‌فارس، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران
[۲] عضو گروه آینده‌نگاری، نظریه‌پردازی و رصد کلان سلامت، فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران

(دریافت مقاله: ۹۶/۷/۱۲– پذیرش مقاله: ۹۶/۸/۲)

چکیده

زمینه: در گزارش آکادمی سلطنتی مهندسی، بیولوژی سینتتیک را به صورت رشته‌ای که طراحی و مهندسی اجزاء (**Parts**)، ادوات (**Devices**) و سامانه‌ها (**Systems**)، بر پایهٔ بیولوژی را هدف قرار داده است، تعریف شده است. بر اساس پیش‌بینی‌های موجود، بیولوژی سینتتیک، از جمله دوازده فناوری بنیان برافکن و تحول برانگیز آینده است که زیست، کسب و کار و اقتصاد جهانی را متحول خواهد ساخت.

روش‌ها: با در نظر گرفتن زیر ساخت‌های بحرانی در علوم زیستی، مراکز تحقیقاتی زیست پزشکی، زیرساخت‌های زیست فناوری، سامانهٔ ملّی نوآوری، نقشه جامع علمی کشور و مراکز تعلیم و تربیت نیروی دکتری در جمهوری اسلامی ایران و تجربیات اخیر برای پیشرفت بیولوژی سینتتیک در کشورهای گوناگون، یک چهارچوب مفهومی برای توسعهٔ بیولوژی سینتتیک در ایران، طراحی گردید.

یافته‌ها: پنج راهبرد برای توسعهٔ بیولوژی سینتتیک در ایران را می‌بایست در نظر گرفت. ۱/ بنیان‌گذاری مراکز تعالی پژوهش برای بیولوژی سینتتیک؛ ۲/ حمایت از هسته‌های میان رشته‌ای در فناوری‌های زیست پزشکی در دانشگاه‌ها؛ ۳/ مأموریت گرایی هوشمندانه بر پایهٔ برنامهٔ آمایش سرزمین و شبکه‌سازی؛ ۴/ آموزش نیروی انسانی برای فراهم آوردن تودهٔ بحرانی نیروی کار در عرصهٔ بیولوژی سینتتیک.۵/ مردمی کردن دانش بیولوژی سینتتیک.

نتیجه‌گیری: با لحاظ نمودن پنج راهبرد پیشنهادی، یک بنیان استوار برای ایجاد زیرساخت‌های ضروری و نیروی کار خبره جهت توسعهٔ بیولوژی سینتتیک در جمهوری اسلامی ایران فراهم می‌آید. همچنین با پیاده‌سازی یک نقشه راه عملی، جمهوری اسلامی به عنوان سرآمد کشورها، در منطقهٔ غرب آسیا، در گسترهٔ بیولوژی سینتتیک، خواهد درخشید.

واژگان کلیدی: بیولوژی سینتتیک، سامانه‌های بیولوژیک، نقشه راه، میان رشته‌ای، تخصص گرایی هوشمندانه

*بوشهر، مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی خلیج‌فارس، پژوهشکده علوم زیست پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر،ایران
E-mail: Inabipour@gmail.com

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

بیولوژی سینتتیک چیست؟

بیولوژی سینتتیک یک گسترهٔ دانشی نوپدید است که با خود انبوهی از امکانات و کاربردهای بالقوه را حمل می‌نماید و از آنجا که رشته‌های گوناگون را از مهندسی تا علوم پایه با یکدیگر درهم می‌آمیزد، بیشتر چنین می‌نماید که سیمای یک علم میان رشته‌ای را داشته باشد. در گزارش آکادمی سلطنتی مهندسی، بیولوژی سینتتیک را به صورت رشته‌ای که طراحی و مهندسی اجزاء (Parts)، ادوات (Devices) و سامانه‌ها (Systems)، بر پایهٔ بیولوژی را هدف قرار داده است، تعریف شده است (۱). بر پایهٔ این تعریف، می‌توان بیولوژی سینتتیک را به صورت کاربرد اصول مهندسی در سطح اجزاء اساسی و پایهٔ "بیولوژی"، چکیده نمود.

از این دیدگاه، بیولوژی سینتتیک، مهندسی بیولوژی است که چشم‌اندازهای مهندسی را در تمام سطوح سلسله مراتب ساختارهای بیولوژیک، از سطح ملکول‌های واحد تا کل سلول‌ها، بافت‌ها و ارگانیسم‌ها، به کار می‌برد. از دیدگاه جوهری، بیولوژی سینتتیک، می‌تواند طراح "سامانه‌های بیولوژیک" را به شیوه‌ای منطقی و سیستمی جلوه دهد (۲).

وجود واژگانی همچون "طراحی"، "مهندسی" و "ادوات" در تعریف بیولوژی سینتتیک، آن را از بیولوژی سیستمی، جدا می‌سازد (۳). آنچه که در پس زمینهٔ بیولوژی سینتتیک هویدا است، وجود ماهیت "طراحی منطقی" آن است. بیولوژی همیشه یک علم بسیار توصیفی بوده است که به مفاهیم "استانداردسازی" که جزء لازم در مسیر ساخت‌وساز و تولید است، بی‌اعتنا بوده است (۴). در هر دو شاخهٔ علم بیولوژی سیستمی و بیولوژی سینتتیک، از علوم ریاضی، محاسباتی و راهبردهای مدل‌سازی سینتتیک جهت چیرگی بر مسائل پیچیده علوم زیستی، استفاده می‌شود. از این رو، این دو شاخهٔ علم را خواهر می‌نامند؛ به گونه‌ای که بیولوژی سیستمی در پی "درک" و بیولوژی سینتتیک در جستجوی "طراحی" سامانه‌های زیستی است. هر دوی این علوم می‌توانند با کاربرد در رهیافت‌های محاسباتی، پیوستگی میان حیات و سامانه‌های مصنوعی را ترسیم نمایند (۵).

از دیدگاه فلسفی، پیوند این علوم را شاید بتوان در فرازی از گفتار فاینمن (Feynman) مشاهده نمود که در سال ۱۹۸۸ چنین عنوان کرد "هر آنچه را که من نمی‌توانم خلق کنم، پس نمی‌توانم درک نمایم". این فراز نمایانگر پیوستگی میان درک "بیولوژی سیستمی" و طراحی "بیولوژی سینتتیک" می‌باشد. در حقیقت، این بیولوژی سیستمی است که پایه‌های تئوریک "طراحی" را بنیان می‌گذارد (۵)؛ هر چند که در بسیاری از درس‌نامه‌های آکادمیک پیرامون بیولوژی سینتتیک، پافشاری بر کاربرد اصول مهندسی جهت معرفی شیوه‌های نوین تولید است امّا تعریف دیگر بیولوژی سینتتیک حاوی این ایده است که بیولوژی سینتتیک را می‌توان برای پیشرفت تئوری بیولوژیک پایه به کاربرد؛ یا به زبانی دیگر: "بیولوژی سینتتیک طراحی و ساخت سامانه‌های بیولوژیک است که اصول مهندسی را با هدف درک بیولوژی توسط تولید فناوری‌های بیولوژیک سودمند، به کار می‌برد." در این منظر، در حالی که زیست فناوری به کاربرد مدارهای بیولوژیک کنترل شده در طراحی و تولید محصولات جدید تمرکز دارد، بیولوژی سینتتیک، فرصت‌های نوینی را در جهت معکوس ارائه می‌دهد (کاربرد مدارهای بیولوژیک مصنوعی جهت درک مسائل بیولوژیک بنیادی) (۴).

امروز به بیولوژی سینتتیک به صورت پلی میان سلول‌های طبیعی و مصنوعی نگریسته می‌شود که این پل می‌تواند شکاف میان این دو نوع سلول را زدوده و کاربردهای گسترده‌ای را در زیست پزشکی نوید دهد

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

(۶). از آنجا که بیولوژی سینتتیک بر این باور است که میکروارگانیسم‌ها، گیاهان، جانوران و انسان‌ها، سامانه‌های ماشین مانند هستند، می‌توان پیرامون "طراحی منطقی" یا مهندسی مجدد این ماشین‌ها گفتگو کرد، به گونه‌ای که عملکردهای ارزشمندی را از خود نشان دهند (۷). گاهی این بازطراحی و مهندسی مجدد ارگانیسم‌ها به گونه‌ای خواهد بود که آن‌ها خواهند توانست موادی بسازند که ممکن است به شکل طبیعی نتوانند بسازند. گاهی این بلند پروازی فقط در جستجوی باز مهندسی سامانه‌های زنده نیست بلکه ساخت نمونه‌های کاملاً نوین را می‌جوید: خلق حیات از مواد غیر زنده (۸). به زبان دیگر، جایگاه بلندپروازانه این علم این گونه است که اشیاء زنده را به گونه‌ای طراحی نماید که نیازهای ویژه و آرزوهای انسانی را برآورده سازند.

چالش‌های اجتماعی و مثال‌هایی از اثرگذاری بیولوژی سینتتیک

چالش‌ها	مثال‌هایی از اثرگذاری بیولوژی سینتتیک
سلامت و تندرستی	بیولوژی سینتتیک می‌تواند ذخیرهٔ در حال کاهش عوامل ضدمیکروبی نوین که در دسترس پزشکان است را پر نماید. این دانش طراحی منطقی آنتی‌بیوتیک‌های نوین و توسعهٔ راه‌حل‌های جدید مانند باکتریوفاژهای مهندسی شده را امکان‌پذیر می‌نماید.
انرژی و عملکرد بر اقلیم	اتانول زیستی و دیزل زیستی در مقیاس تجاری هم‌اکنون با کمک ارگانیسم‌های توسعه یافته توسط بیولوژی سینتتیک در خط تولید می‌باشند. بهره‌وری عظیم‌تر و عملکردهای مهندسی شدهٔ نوین می‌توانند از اتکاء به سوخت‌های فسیلی کاسته و همزمان نیز با کابرد گاز کربنیک به عنوان مادهٔ خام در صنعت شیمیایی می‌تواند در گسیلش‌های گازهای گلخانه‌ای، توازن ایجاد نماید.
امنیت غذایی	توسعهٔ ارگانیسم‌های تولید کنندهٔ سوخت زیستی فتوسنتز کننده می‌تواند رقابت را بین محصولات غذایی و انرژی کاهش داده و همزمان واریته‌های محصولات جدید می‌توانند تغذیه را افزایش و خسارات برآمده از آفات و بلایای محیطی را کاهش دهند.
امنیت	بیولوژی سینتتیک پتانسیل حمایت از ساخت مواد زیستی و شناساگرهای زیستی نوین را دارد.

شکل ۱) چالش‌های اجتماعی و مثال‌هایی از اثرگذاری بیولوژی سینتتیک

هنوز علم بیولوژی سینتتیک بسیار جوان است و عمر آن به یک دهه می‌رسد. اولین بخش بیولوژی سینتتیک در آزمایشگاه ملّی برکلی در سال ۲۰۰۳ تأسیس یافت و پژوهشگران آمریکایی پیشگام بودند ولی هم اکنون بسیاری از اعضاء اتحادیه اروپا، گروه‌های پژوهشی فعالی را دارند. سنگ بنای مفاهیم بیولوژی سینتتیک توسط زیست‌شناس آمریکایی کریگ ونتر (Craig Venter) گذاشته شد که اعضاء گروه پژوهشی او موفق شدند، یک ژنوم صناعی را پیوند بزنند. در حقیقت این اولین کوشش موفقیت‌آمیز برای خلق حیات

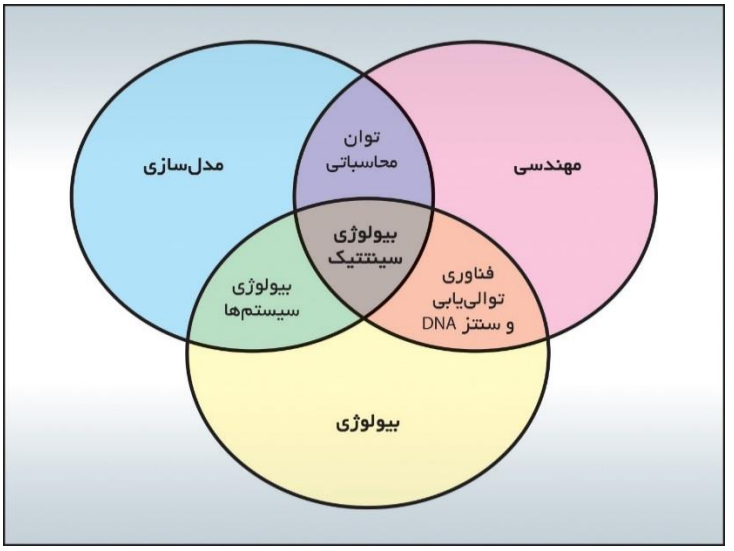
[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

بود. DNA حاوی دستورالعمل‌های ژنتیکی آن‌ها، در حقیقت از مواد غیرزنده مشتق شده بود ولی سلولی که مورد پیوند قرار گرفت واقعاً پوستهٔ باکتریای به نام میکوپلاسما میکوایدس (Mycoplasma mycoides) بود که محتویات اولیه آن برداشته بودند.

در حقیقت، آنچه آن‌ها انجام می‌دادند نشان داد که می‌توان رهیافت‌های بیولوژی سینتتیک را به کار برد (۸). امروز رهیافت‌های بیولوژی سینتتیک را می‌توان در دو بخش جای داد، رهیافت "پایین به بالا[1]" یا رهیافت بر پایهٔ مفهوم ژنوم کمینه (Minimal genom) که سونگری از "بالا به پایین[2]" را هدف قرار داده است. نخستین رهیافت شامل واحدهای ساختاری پایه (اجزاء) است که قطعات DNA سنتز شده، فراهم آمده و برای طراحی و ساخت ادوات (اجزاء چندگانه با عملکردهای تعریف شده)، مسیرهای بیولوژیک و در نهایت ژنوم‌ها به کار برده می‌شوند. رهیافت‌های گوناگونی برای هم‌گذاری و سوارکردن ژنوم‌های سینتتیک، توسعه یافته‌اند که بر اساس استانداردسازی اجزاء انجام گردیده و بدین‌سان عمل هم‌گذرای و سوارکردن، تسهیل می‌گردد.

رهیافت از بالا به پایین که معکوس می‌باشد، کاهش دادن ژنوم به مجموعه‌ای کمینه از ژن‌ها است که بتواند حیات را تحت شرایط تعریف شده، برقرار سازد. این سلول‌های کمینه که به عنوان شاسی (Chassis) نامیده می‌شوند، نقش یک سکو کارخانهٔ سلولی را بازی می‌کنند که عناصر سینتتیک به آن‌ها می‌توان افزود. این سکوهای انتخابی، ارگانیسم‌های مدلی هستند که به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند مانند E. coli یا مخمرها که می‌توانند به عنوان میزبانِ بیان مسیرهای بیولوژیک، به کار برده شوند (۲).

چنین می‌نماید که هنوز نتوان بیولوژی سینتتیک را تعریف نمود امّا چنین می‌نماید که این دانش، دارای ویژگی میان رشته‌ای یا فرارشته‌ای است که در تقاطع میان بیولوژی، مهندسی شیمی، شیمی، مهندسی برق، فیزیک و علوم رایانه‌ای قرار می‌گیرد (۹).



شکل۲) بیولوژی سینتتیک در فصل مشترک مهندسی، مدل‌سازی محاسباتی و علوم زیستی است. بیولوژی سینتتیک بر پایهٔ تنوعی از ابزارها و فناوری‌ها شامل توسعهٔ توالی‌یابی DNA ، فناوری‌های سنتز ژن‌ها به صورت ارزان، افزایش توان محاسباتی و درک بهتر از سامانه‌های زیستی به دست آمده از بیولوژی سیستمی، سامان می‌یابد.

[1] Bottom-up
[2] Top-down

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

کاربردهای بیولوژی سینتتیک در پزشکی

هدف تحقیقاتی و کاربردی بیولوژی سینتتیک آن است که مسیرهای متابولیک را دستکاری نماید به گونه‌ای که واکنش‌های بیوشیمیایی را کنترل کرده و مواد شیمیایی را تولید کند که ارزش اقتصادی در گسترهٔ جامعه دارند (مانند تولید سوخت‌های زیستی، روغن‌ها، لاستیک و ترکیبات زیست پزشکی). همچنین امکان طراحی ارگانیسم‌های سینتتیک برای اهداف پاک‌سازی محیط زیست نیز وجود دارد. از سوی دیگر، ارگانیسم‌های تغییر یافتهٔ ژنتیکی را می‌توان به عنوان حس‌گرهای زیستی طراحی کرد که مواد شیمیایی سمّی را مورد شناسایی قرار داده و به پاک‌سازی خاک و آب با متابولیزه کردن این ترکیبات سمّی، کمک می‌کنند (۵).



شکل۳) رشته‌های علوم که از رهیافت‌های بیولوژی سینتتیک استفاده می‌کنند، گستره‌های کاربرد بیولوژی سینتتیک و فناوری‌ها و ابزارهای پشتیبان

از این رو، چنین می‌نماید که بیولوژی سینتتیک با خلق موارد بیولوژیک مشتری مدار، می‌تواند بر بسیاری از چالش‌های قرن بیست و یکم که انسان ها با آن‌ها رو در رو هستند، چیرگی یابد. این چالش‌ها، گستره‌های محیط‌زیست، انرژی، تولید غذا و سلامت را پوشش می‌دهند. از این رو، بیولوژی سینتتیک به

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

صورت یک فناوری سکو مانند عمل می‌نماید که می‌تواند در بحث تهدیدات آب و خاک، کاربردهای کشاورزی و محیط زیست که برای بقاء انسان، به ویژه در کشورهای در حال توسعه و فقیر، از چالش‌های عمده محسوب می‌شوند، ورود نموده و بهره‌وری و کارایی را در حوزهٔ اقتصاد، افزایش دهد (۴).

شاید هیجان انگیزترین نقطه بحث کاربرد بیولوژی سینتتیک در عرصهٔ پزشکی و تولید محصولات در گسترهٔ سلامت باشد. در این عرصه، با مهندسی شبکه‌های ژنی پیچیده، با هدف درمانی، بیولوژی سینتتیک در پی درمان بیماری‌های پیچیده، از سطح ریشه‌ای و درمان علائم بیماری‌ها و کمک به شناسایی مواد دارویی جهت افزایش تولید مواد زیستی فعال با توان درمانی می‌باشد. همچنین بیولوژی سینتتیک دارای پتانسیل ایجاد انقلاب در رهیافت‌های درمانی دقیق مانند ژن درمانی و سلول درمانی است. در آینده‌ای نزدیک، مدارهای سینتتیک به کارآزمایی‌های بالینی وارد خواهند شد؛ هر چند که مهم‌ترین چالش در این مسیر، یافت یک انتقال دهنده است که بتواند شبکه‌های ژنی سنتز شده را به سلول هدف، رها سازد (۱۰).

بی شک بیولوژی سینتتیک می‌تواند با به کارگیری اصول مهندسی، حس‌گرها، مدارهای کنترلی و فعال کننده‌هایی را در جسم بیولوژیک، بر اساس ویژگی‌های بالینی، سنتز نماید. بیولوژی سینتتیک با ساخت چنین ادوات تشخیصی برنامه‌پذیر و خودکار که با درمان‌های فردگرایانه (Personalized) درهم آمیخته شده باشند، می‌تواند مناسب‌ترین و جامع‌ترین اطلاعات تشخیصی را فراهم آورد. بنابراین، بیولوژی سینتتیک در ساخت ادوات تشخیصی که درمان‌های همزمان را نیز بر پایهٔ ویژگی‌های فردی بیمار ارائه می‌دهد، یک انقلاب حیرت‌انگیز را رقم می‌زند که علم پزشکی آینده را هدف قرار داده است (۱۱).

با رهیافت‌های بیولوژی سینتتیک توانسته‌اند، عناصر ژنتیکی را بر روی یک کاغذ فروگذاری کرده و ادوات تشخیصی بر پایهٔ کاغذ را که می‌تواند پاتوژن‌ها را در بزاق یا خون تشخیص دهد، تولید کنند. همچنین ادوات تشخیصی بر پایهٔ چنین فناوری‌ای برای تشخیص مقاومت ارگانیسم‌ها به آنتی بیوتیک‌ها، به کار برده شده است. چنین شیوه‌های تشخیصی که بر پایهٔ بیولوژی سینتتیک بنیان‌گذاری شده‌اند، خواهند توانست نگرانی‌های سلامت عمومی را هدف قرار دهند (۱۲). با وجود اینکه بیولوژی سینتتیک دوران کودکی خود را طّی می‌کند امّا در گسترهٔ پزشکی بازآفرینشی (Regenerative)، هم اکنون خود را نشان داده است. با ترکیب بیولوژی سینتتیک و پزشکی بازآفرینشی، مهندسی سلول‌ها و ارگانیسم‌ها، پتانسیل خود را برای کاربرد در مهندسی بافت، فرآوری زیستی (Bioprocessing)، مواد زیستی، تولید و توسعه داربست‌های بافتی، درمان با سلول‌های بنیادی و حتی ژن درمانی، نشان داده است (۱۳).

می‌توان از بیولوژی سینتتیک در مهندسی سلولی و ویرایش ژنی سلول‌های میزبان استفاده کرد؛ مانند آنچه که در پژوهش‌های ایمنی درمانی سرطان بر پایهٔ سلول نشان داده شده است که سلول‌های سری T بیمار مهندسی گردیده و به عنوان عوامل درمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین‌سان، می‌توان از بیولوژی سینتتیک جهت بهبودی درمان‌های سرطان بر پایهٔ سلولی از طریق توسعه و به کارگیری حس‌گرهای سینتتیک، سوییچ‌ها و مدارها، استفاده کرد. همچنین

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

با ساخت و مهندسی شبکه‌های کنترل سینتتیک و آبشارهای پیام‌دهی می‌توان مورفولوژی سلولی، رفتار متابولیک و تداخلات درمانی را با دقت فراوان برنامه‌ریزی نمود.

در حقیقت، این امکان وجود دارد که اقدامات درمانی را برای بیماری‌ها با به کار بردن مدارهای ژن درمانی سینتتیک در سلول‌ها جهت کنترل شبکه‌های پیام‌دهی ویژه، به کار برد. این بیماری‌ها شامل بیماری‌های متابولیک (مانند چاقی، دیابت)، سرطان و بیماری‌های ایمنولوژیک می‌باشند (۱۳). در پزشکی بازآفرینشی از توانمندی‌های طبیعی سلول‌ها جهت ساخت فاکتورهای تروفیک و تولید بافت‌های جدید از طریق فرایندهای طبیعی رشدونمو و بقاء بافت استفاده می‌شود. پدیداری بیولوژی سینتتیک توانسته است، فرایندهای پزشکی بازآفرینشی را به گونه حیرت‌آور، متحول سازد. در آینده‌ای نزدیک، به کارگیری رهیافت‌های بیولوژی سینتتیک در پزشکی بازآفرینشی، می‌تواند نه تنها این شاخه از دانش را شکوفا سازد بلکه پرکاربردترین عرصهٔ به کارگیری بیولوژی سینتتیک در علوم پزشکی خواهد بود. چهار گسترهٔ عمده وجود دارد که تکنیک‌های بیولوژی سینتتیک جهت ارتقاء پزشکی بازآفرینشی در آن‌ها به کار می‌آید:

۱/ سنتز زیستی و رهاسازی کنترل شدهٔ ملکول‌های درمانی

۲/ سنتز مواد برای داربست‌های بافتی

۳/ تنظیم سلول‌های بنیادی

۴/ برنامه‌ریزی سلول‌ها جهت سازمان‌دهی آن‌ها به سوی بافت‌های نوین (۱۴).

در گسترهٔ کشف و تولید دارو نیز بیولوژی سینتتیک آینده‌ای روشن را رقم می‌زند. در پناه همگرایی نسل بعدی توالی‌یابی و بیولوژی سینتتیک، ایجاد کتابخانه‌های عظیم قابل اعتماد برای محصولات طبیعی کشف دارو، راه‌اندازی شده‌اند. هر روزه بر فهرست داروها یا پیش‌سازهای داروها که توسط میکروارگانیسم‌های مهندسی شده برای اهداف متابولیکی تولید می‌شوند، افزوده می‌گردد. آرتمیسینین (Artemisinin)، مثالی از کاربرد بالقوهٔ بیولوژی سینتتیک در تولید دارو است. این دارو ضد مالاریا، به صورت اولیه، از Artemesia annua جدا شده است. امروزه با انتقال ژن‌های گیاهی (که در مسیر بیولوژیک این دارو کار می‌کنند) به یک ارگانیسم شاسی تخمیرکننده (Fermentable chassis) و فشار به تولید پیش نیازهای آن، هزینهٔ تولید دارو نصف شده و امکان ارائه این دارو برای کشورهای با درآمد پایین، فراهم آمده است؛ مثال دیگر، داروی تاکسول (Taxol) است که در شیمی درمانی سرطان‌های سینه، پستان و تخمدان نقش مهمی دارد. به شکل رایج، پیش سازهای تاکسول از کشت سلول گیاهی تولید می‌شود و با سنتز شیمیایی، به تاکسول انتقال می‌یابد. این فرایند، هزینه‌بر بوده و بازده کمی را از کشت سلول گیاهی فراهم می‌سازد. بیولوژی سینتتیک، راه ساده‌تر و کارآمدتری را برای تولید این دارو از طریق هم‌آوری مسیرهای بیوسنتزی کامل در E. coli و Saccharomyces cerevisiae عرضه می‌دارد (۴).

برنامهٔ توسعه بیولوژی سینتتیک

با ظهور بیولوژی سینتتیک در عرصهٔ دانش از اوایل هزارهٔ جدید، این علم با سرعت چشم‌گیری مورد اقبال جامعهٔ علمی جهان قرار گرفته و موجب جذب جامعهٔ مهندسان، دانشمندان، کارآفرینان، سرمایه‌گذارن، خبرگان علوم اجتماعی و

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

سیاست‌گذاران شده است. بر اساس پیش‌بینی‌های موجود، بیولوژی سینتتیک از جمله ۱۲ فناوری بنیان برافکن و تحول برانگیز آینده است که زیست، کسب و کار و اقتصاد جهانی را متحول می‌سازد (۱۵). باراک اوباما، رئیس جمهور وقت آمریکا، این علم را به صورت یک فناوری سکویی بحرانی[3] عنوان کرد و دولت وقت انگلستان نیز آن را یکی از پایه‌های شتاب دهندهٔ رشد برای انگلستان مطرح نمود (۱۶ و ۱۷).

هر دو کشور آمریکا و انگلستان، برای توسعهٔ بیولوژی سینتتیک بسیار سرمایه‌گذاری کرده‌اند. هم اکنون بیش از ۳۰۰ شرکت در گسترهٔ بیولوژی سینتتیک در آمریکا فعال هستند. در سال ۲۰۱۵، استارت آپ‌های آمریکایی، بیش از ۵۰۰ میلیون دلار را در سرمایه گذاری‌های پرخطر بر این علم تحول برانگیز، سرمایه‌گذاری نمودند و در سال ۲۰۱۶، این میزان از مرز یک میلیارد دلار گذشت. جالب اینجا است که کسانی بر روی این علوم سرمایه‌گذاری کرده‌اند که در عرصه زیست فناوری کار نمی‌کنند بلکه حوزهٔ عمل آن‌ها علوم اطلاعات و ارتباطات است مانند گوگل، یاهو و پی‌پال (PayPal). یکی از استارت آپ‌ها به نام جینگو بیوورک (Ginkgo Bioworks) در بوستون، ۱۰۰ میلیون دلار در سرمایه‌گذاری پرخطر برای ابتیاع ۴۰۰ میلیون جفت‌باز DNA و جستجو جهت طراحی جدید و خلق مسیرهای تولید زیستی، دریافت نموده است. جیسون کلی، از بنیان‌گذاران این استارت‌آپ چنین بیان نموده است که با طراحی بهتر بیولوژی، ما به گونه‌ای از آن استفاده خواهیم کرد که هر چیزی را بسازیم و بخش‌هایی را متحول خواهیم کرد که صنعت فناورانهٔ سنتی حتی نتوانسته است به آن دستیابی داشته باشد (۱۸).

با توجه به گستردگی کاربردهای بیولوژی سینتتیک، سرمایه‌گذاران بخش‌های گوناگون اقتصادی در این عرصه حضور یافته‌اند تا بر روی بخش‌های کشاورزی، پزشکی، انرژی، مواد شیمیایی و فناوری اطلاعات سرمایه‌گذاری کنند. برای مثال، اگزون موبیل (Exxon Mobil) اخیراً ۳۰۰ میلیون دلار در تولید سوخت زیستی آلگی در مشارکت با سینتتیک ژنومیک (Synthetic Genomic) سرمایه‌گذاری کرده است (۱۵). ایالات متحدهٔ آمریکا، پیشتازترین کشور در توسعهٔ بیولوژی سینتتیک است که از بیش از ۱۵ سال پیش، سرمایه‌گذاری راهبردی را در بخش‌های دولتی بر روی این علم استراتژیک به انجام رسانده است و هم‌اکنون مراکز پژوهشی بی‌شماری را در عرصهٔ بیولوژی سینتتیک راه‌اندازی نموده است که پیشرفت‌های چشمگیری را در توسعهٔ ابزاری و کاربردهای علمی بیولوژی سینتتیک در عرصه‌های انرژی زیستی، تولید زیستی تا زیست پزشکی را شامل می‌شود.

ایالات متحدهٔ آمریکا، برای نگهداشت رهبری خود در این علم بحرانی، چندین نقشهٔ راه را برای فراهم آوردن دیدگاه استراتژیک و ارائهٔ پیشنهادهای عملکردی، تدوین کرده است (۱۹). در انگلستان نیز تعدادی از مراکز پژوهشی بیولوژی سینتتیک، مراکز سنتز DNA،[4] مرکز آموزش دکتری و مرکز نوآوری و دانش[5]، بنیان گذاری شده اند؛ تا کنون این کشور دو نقشهٔ راه را طّی سال های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۶ تدوین کرده است (۲۰).

[3] Critical Platform Technology
[4] DNA Synthesis Foundries
[5] Innovation Knowledge Center

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

شورای مشورتی علوم آکادمیک اروپا (EASAC)[6] که شامل آکادمی‌های ملّی علوم کشورهای عضو اتحادیه اروپا است، گزارشی را "پیرامون بیولوژی سینتتیک جهت یافت فرصت‌های علمی و حاکمیت خوب" منتشر نمود (۸). شرکای شبکه منطقه پژوهشی اروپا جهت توسعه و هماهنگی بیولوژی سینتتیک (ERASynBio) نیز چشم‌انداز استراتژیک خود را در سال ۲۰۱۴ انتشار داد (۲۱).

در بسیاری از کشورهای اروپایی، زیرساخت‌ها و مقررات به کارگیری بیولوژی سینتتیک فراهم شده است که می‌توان از دانمارک، فنلاند، فرانسه و انگلستان نام برد؛ هر چند که در ژاپن، چین، استرالیا و هندوستان نیز اقدامات بسیار گسترده‌ای آغاز شده‌اند. (۴ و ۲۲).

جالب اینجا است که در هندوستان، متفکران راهبردی آن، بیولوژی سینتتیک را راهی برای بیرون رفت آن کشور از معضلات پیش روی این کشور مانند بحران غذا، مواد مغذی، داروها، واکسن‌ها و آب سالم، مطرح کرده‌اند (۲۳) و به نظر می‌رسد که اکوسیستم موجود در این کشور، بسیار مساعد برای پذیرا شدن از بیولوژی سینتتیک باشد (۲۴). این تلاش‌ها که در تمام کشورهای پیشرفته و در حال توسعه در حال انجام است، نشان می‌دهد که در آینده ممکن است دیگر رهبری بیولوژی سینتتیک، در دستان ایالات متحدهٔ آمریکا نباشد (۲۵). در کشور عزیز ما نیز به نظر می‌رسد که اکوسیستم مناسبی را برای چیدمان بیولوژی سینتتیک فراهم آمده است که در اینجا با توجه به زیرساخت‌های موجود در ایران و نیز تجربیات، راهبردها، چشم‌اندازها و نقشه راه‌های دیگر کشورها، تلاش می‌شود که نمایی از نقشه راه توسعه علم بیولوژی سینتتیک در ایران، ارائه شود.

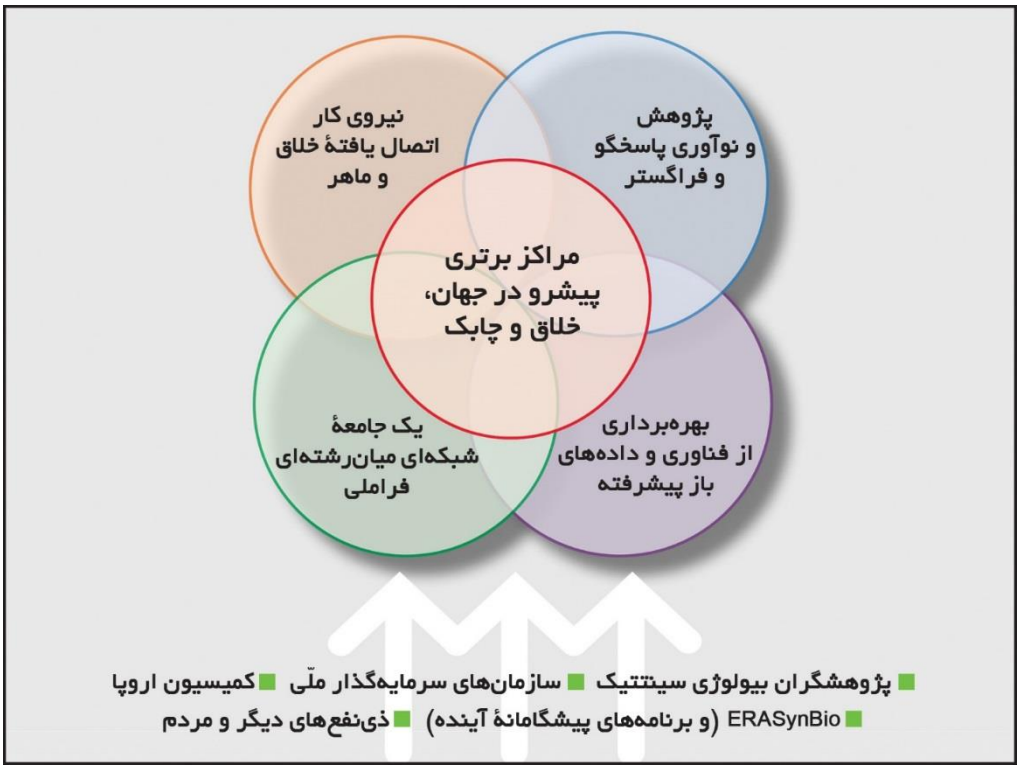
نقشه راه جهت توسعهٔ بیولوژی سینتتیک در ایران

بیولوژی سینتتیک در چشم‌انداز خود رشد اقتصادی خارق‌العاده همراه با خلق مشاغل فراوان را دارد که این کار را با احیاء صنایع و فناوری‌های موجود و رشد بخش‌های جدید نوآورانه انجام می‌دهد. این چشم‌انداز برخاسته از درک این موضوع است که این علم تحول برانگیز، راه‌های نوآورانه‌ای را برای چالش‌های ستبرگ اجتماعی ارائه می‌دهد. این به معنای این خواهد بود که بازارهای رقابت‌پذیر بسیار هیجان‌انگیزی در سطح ملّی و جهانی برای بیولوژی سینتتیک وجود دارند و کشورهایی می‌توانند این گوی را بربایند که شاه‌راه‌هایی را برای مسیر توسعه این دانش گشایش نموده باشند. زیست فناوری صنعتی و انرژی زیستی، پزشکی، انرژی و کشاورزی و علم مواد، از عرصه‌هایی هستند که این تأثیر را می‌پذیرند (۲۶).

در نتیجه، برای تدوین نقشه راه بیولوژی سینتتیک در سطح ملّی نیاز به مشارکت ذی‌نفع‌ها از بخش‌های گوناگون خواهیم بود که چهارچوب‌هایی را همچون نقشه علمی کشور و سیاست‌گذاری در سطح کلان از سوی رهبران جامعه در سطح بسیار بالا را می‌طلبد. در این پیش نقشه راه، تلاش گردیده که راهبردهای کلان جهت توسعه بیولوژی سینتتیک در گسترهٔ زیست پزشکی، ترسیم شود.

[6] European Academies Science Advisory Council (EASAC)

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]



شکل۴) نمایی از چشم‌انداز ERASynBio برای بیولوژی سینتتیک

۱/ راهبرد اول: بنیان‌گذاری مراکز تعالی پژوهش برای بیولوژی سینتتیک

در مدل انتخابی این راهبرد، شایسته آن بود که می‌توانستیم یک پژوهشکدهٔ ملّی را برای بیولوژی سینتتیک بنیان می‌گذاشتیم تا ضمن ارائه زیرساخت‌های پژوهشی مشترک، مکان فیزیکی واحدی را برای ساماندهی و هماهنگی همکاری‌ها در سطح کشور فراهم آورد. این پژوهشکده می‌توانست تخصیص بودجه جهت انجام پروژه‌های بیولوژی سینتتیک را در سطح ملّی به انجام رسانده و افراد نخبه را برای توسعه این دانش، فرا بخواند. مشابه چنین مرکز ملّی را می‌توان در ایالات متحدهٔ آمریکا به نام Synberc[۷] مشاهده نمود (۱۵) که در سال ۲۰۰۶ بنیان یافت تا برنامه کلان پژوهشی را برای بیولوژی سینتتیک، به واسطه توسعه فناوری‌های پایه، همگرا کردن پژوهش‌های آکادمیک و صنعتی و نیز آموزش پژوهش‌گران برجسته در این عرصه را پیگیری نماید. مدل Synberc، یک مدل مؤثر برای هم راستا قرار دادن فعالیت‌های زیست فناوری با نیازهای جامعهٔ عمومی از طریق گفتمان پژوهش و آموزش است. در حقیقت، دو ویژگی منحصر به فرد Synberc آن است که به عنوان یک مرکز "مجازی"، پژوهش‌های مشترک و زیرساخت آموزشی را هدایت

[7] Synthetic Biology Engineering Research Center (Synberc)

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

می‌نماید (۱۹). چنین مدلی را می‌توان برای کشورهایی که زیرساخت‌های گسترده و انتشار یافته‌ای برای زیست فناری دارا می‌باشند را اتخاذ نمود.

در ایران، وجود زیرساخت‌های متنوع و تقریباً گسترده و انتشاریافته‌ای برای زیست فناوری وجود دارند مانند انجمن بیوتکنولوژی جمهوری اسلامی ایران، پژوهشگاه ملّی مهندسی ژنتیک و زیست‌فناوری، ستاد توسعهٔ زیست فناوری معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری. این زیر ساخت موجب می‌شود که اتخاذ چنین مدلی برای ایجاد ارتباطات میان مرکزی و هماهنگ نمودن فعالیت‌ها جهت ایجاد هم‌افزایی، بهینه کردن تخصیص منابع و نیز کاهش دوباره کاری و هم‌پوشانی در فعالیت‌ها مؤثر واقع شود. در حقیقت، مدل پیشنهای می‌تواند ستاد توسعه زیست فناوری معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری باشد که نقش هماهنگ کننده و اجرای سیاست را در سطح ملّی ایفا نماید. اتخاذ چنین مدلی می‌تواند از زیرساخت‌های موجود بهره‌برداری بهینه نموده و از بنیان‌گذاری پژوهشکده‌ای دیگر که اختصاص به بیولوژی سینتتیک دارد (در زمانی که این علم دوران نوزادی خود را طی می‌کند) جلوگیری نماید. چنین راهبردی حتی برای کشورهای پیشرفته از سوی OECD پیشنهاد شده است که این سازمان این راهبرد را کم هزینه‌تر و ایمن‌تر برای تجهیز کردن تسهیلات موجود جهت توسعه بیولوژی سینتتیک اعلام نموده است (۴).

بر اساس چنین سیاستی می‌توان در ستاد توسعه زیست فناوری معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری، مرکز تعالی بیولوژی سینتتیک را به عنوان طاق‌نمای توسعه این علم برپا نمود. بازوی سطح دوم، بنیان گذاشتن مراکز تعالی بیولوژی سینتتیک در پژوهشگاه ملّی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری و دانشگاه‌های مطرح در ده قطب آمایشی کشور می‌باشد. به زبان دیگر، از دیدگاه توپوگرافی سرزمینی، هر قطب، نقش ویژه‌ای (که در بخش دیگر به آن اشاره خواهیم کرد) را با بنیان گذاشتن مرکز تعالی بیولوژی سینتتیک در درون ساختار موجود جهت توسعه بیولوژی سینتتیک به عهده خواهد گرفت. بی‌شک، انجمن بیوتکنولوژی و نهادهای فناوری‌های وابسته به بیولوژی سینتتیک مانند ستاد توسعه علوم و فناوری‌های سلول‌های بنیادی نیز در این شبکهٔ سیاستی، مشارکت خواهند داشت.

اتخاذ چنین راهبردی، یعنی بنیان گذاشت مراکز تعالی بیولوژی سینتتیک در قلب ساختارهای موجود زیست فناوری، موجب خواهد شد که این مراکز تعالی از امکانات، تجهیزات و دانش موجود برای بیولوژی ملکولی، ژنومیک و در آینده‌ای نزدیک پروتئومیک و فناوری‌های امیکسِ آینده، بهره‌مند شوند. در حقیقت، مجاورت این مراکز تعالی با زیرساخت‌های تاروپودی زیست فناوری مانند مرکز ژنومیک، در رشد و بالندگی مراکز تعالی بیولوژی سنتتیک، نقش بی‌همتایی را از خود نشان خواهند داد. از دیدگاه تأمین منابع نیز همان گونه که بنیاد ملّی علم آمریکا ۸۷ درصد از بودجهٔ Synberc را تا سال ۲۰۱۶ به عهده گرفت (۱۹)، صندوق حمایت از پژوهش‌گران کشور (بنیاد ملّی علم ایران) نیز می‌تواند ضمن تخصیص گرانت برای پژوهش‌های بنیادی در بیولوژی سینتتیک از کرسی‌های پژوهشی در زمینهٔ بیولوژی سینتتیک نیز حمایت نماید.

راهبرد دوم: رهیافت میان رشته‌ای

نظریه‌پردازان معاصر مانند کلین و نیوول، رهیافت میان رشته‌ای را چنین توصیف کرده‌اند؛ "مطالعات میان رشته‌ای به صورت یک فرایند پاسخ به پرسش، حل مسئله و پرداختن به موضوعی است که در ماهیت چنان

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

گسترده و یا پیچیده می‌باشد که نمی‌توان به اندازهٔ کافی با یک رشته یا تخصص به آن پرداخت" (۲۷). از میان علوم نوین، بیولوژی سینتتیک، بیشترین ماهیت میان رشته‌ای را دارد زیرا برای تبلور این رشتهٔ نوین نیاز است که دانشمندان و مهندسان از رشته‌های گوناگون، همچون زیست‌شناسی، علوم مهندسی، شیمی، علوم محیط زیست، فیزیک‌دانان، دانشمندان علوم رایانه‌ای و فناوری اطلاعات و ارتباطات، با یکدیگر برهم کنش نزدیک داشته باشند؛ حتی دانشمندان علوم اجتماعی، نمایندگان صنایع، اقتصاددانان و سیاست‌گذاران نیز برای اینکه دست‌آوردهای بیولوژی سینتتیک بتوانند به سوی جامعه و دنیای اقتصاد راه بیابند و نیازهای جامعه را پاسخگو باشند، مورد نیاز هستند (۲۰).

در بسیاری از کشورها، این رهیافت میان رشته‌ای، جهت بنیان‌گذاری بیولوژی سینتتیک و توسعه آن، اتخاذ شده است. برای مثال، مرکز بیولوژی سینتتیک و نوآوری در کالج سلطنتی انگلستان (SynBI) به عنوان یک مرکز میان رشته‌ای در سال ۲۰۰۹ تأسیس شد که همراه خود مراکز دیگری را در انگلستان رشد داد. چنین مراکزی موجب افزایش ظرفیت پژوهشی و تنوع در بدنهٔ خبرگان، تحریک نوآوری و تسهیل برهم کنش میان صنعت و ذی‌نفع‌های کلیدی گردید (۲۰). از آنجا که ساختار تحقیقاتی در کشور ما به گونه‌ای است که برهم‌کنش میان دانشگاه‌های علوم پزشکی و وزارت علوم و تحقیقات، بسیار ناچیز است، بایستی در رهیافت میان رشته‌ای به گونه‌ای عمل نمود که در مراکز تعالی بیولوژی سینتتیک، امکان حضور مهندسان و دیگر دانشمندان علوم غیر زیست پزشکی نیز فراهم شود.

بنابراین، تشکیل کارگروه‌های مشترک و هسته‌های پژوهشی میان رشته‌ای در این مراکز تعالی، بسیار حیاتی می‌باشد زیرا چنانچه چنین تدبیری انجام نشود، امکان پیدایش، رشد و تکامل بیولوژی سینتتیک وجود ندارد. از سوی دیگر، از نقاط قوت ساختار علمی پژوهشی کشور، وجود پارک‌های علم و فناوری و مراکز رشد است که هم‌جواری و برهم‌کنش دانشمندان علوم زیست پزشکی و علوم مهندسی را امکان‌پذیر نموده‌اند و در همین مکان‌ها است که خبرگان علوم اجتماعی و اقتصادی نیز می‌توانند در عرصهٔ توسعه بیولوژی سینتتیک، وارد عمل شوند.

راهبرد سوم: مأموریت‌گرایی هوشمندانه بر پایهٔ برنامهٔ آمایش سرزمین و شبکه‌سازی

بر اساس نقشهٔ علمی کشور، باید اولویت‌های کلیدی پژوهشی و آموزشی و توسعه‌ای را برای هر کلان منطقه (ده کلان منطقهٔ آمایشی)، تعریف نمود تا دانشگاه‌های مستقر در هر کلان منطقه نیز بر اساس ویژگی و دارایی‌هایی منحصر به فرد خود، مزیت‌های رقابتی دانشگاهی خود را برجسته نموده و ذی‌نفع‌های منطقه‌ای و منابع را حول چشم‌انداز برخاسته از تعالی‌گرایی آیندهٔ این مناطق سوق دهند و این همان معنای مأموریت گرایی (تخصص‌گرایی) هوشمندانه (RIS3) برنامه‌های جامع آمایش یکپارچه تحول اقتصادی بر پایهٔ مکان است (۲۸).

ترجمان این گفتار در عرصهٔ بیولوژی سینتتیک بدین گونه است که می‌بایست مراکز تعالی بیولوژی سینتتیک و دانشگاه‌های مادر در کلان مناطق آمایشی را در دو گسترهٔ توسعهٔ فناوری‌های سکویی[8] و همچنین کاربردهای بیولوژی سینتتیک درگیر نمود و بر اساس توانمندی‌ها و پیش‌زمینه‌های زیست فناوری و علوم زیست پزشکی و نیز علوم مهندسی پشتیبان در این دو

[8] Platform Technologies

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

عرصه، تقسیم‌بندی نمود. در عرصهٔ توسعه فناوری‌ها نیز مأموریت‌های ویژه‌ای برای هر کلان منطقه و مراکز تعالی بیولوژی سینتتیک در گسترهٔ فناوری‌های سکویی تعیین می‌شود؛ مانند سامانه‌های اطلاعاتی، استانداردسازی، پروتکل‌های ساخت قسمت‌ها، ادوات و شاسی‌ها و نیز هم‌آوری (Assembly) ملکول DNA. در عرصهٔ کاربردها نیز می‌توان بخش‌های حس‌گرهای زیستی، محاسبهٔ زیستی، تولید محصولات درمانی، درمان‌های بر پایهٔ سلول، سوخت‌های زیستی، مواد زیستی و فناوری سنتز ژنوم (به ویژه در مخمرها)، تقسیم‌بندی نمود.

برای مثال، در NIH که پژوهش بیولوژی سینتتیک با کاربردهای زیست پزشکی و سلامت را مورد حمایت قرار می‌دهد، در زیر چتر ۲۷ انیستیتو جداگانهٔ NIH، گرانت‌های پژوهشی ویژه‌ای نیز برای مراکزی در MIT، دانشکدهٔ پزشکی دانشگاه جان هاپکینز و دانشگاه استنفورد، جهت توسعه بیولوژی سینتتیک تخصیص داده است. امّا هر کدامیک از این مراکز، کارها و پروژه‌ها و مأموریت‌های ویژه خود را دنبال می‌کنند. به عنوان نمونه، مرکز بیولوژی سینتتیک MIT، از مدارهای سینتتیک بر پایهٔ RNA جهت حس کردن و نابودی سلول‌های سرطانی، برنامه‌ریزی تمایز سلول‌های بنیادی جهت تولید سلول‌های بتا تولید کنندهٔ انسولین جهت افراد دیابتی و رهیافت‌های مهندسی برای هدف قرار دادن باکتری‌های مقاوم به آنتی بیوتیک، برنامه‌ریزی کرده است.

همچنین NIH، اخیراً ۲۰ میلیون دلار بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ به دانشگاه راکفلر و دانشگاه استانفورد جهت برنامهٔ "ژنوم تا محصولات طبیعی" اختصاص داده است که هدف آن کشف و تولید محصولات طبیعی بر پایهٔ ژنوم است که می‌توانند موانع فنی را زدوده و شکاف‌های دانشی را برای ترجمان اطلاعات ژنتیکی به اطلاعات شیمیایی پر کنند (۱۹). در هر صورت، بیولوژی سینتتیک بدون توسعه طراحی رایانه‌ای، سنتز و توالی‌یابی DNA، پروتوتیپ‌سازی سریع، مدل‌سازی، مهندسی سامانه‌ها و بیولوژی سیستمی، امکان‌ناپذیر است. با توجه به گستردگی و پیچیدگی این دانش، نیاز است که مناطق آمایشی در هر بخش، به صورت هوشمندانه، تخصص یافته و با ایجاد شبکهٔ ملّی بیولوژی سینتتیک، امکان بهره‌برداری آزاد و دستیابی سریع به اطلاعات و دانش تخصصی این علم برای پژوهشگران و خبرگان، فراهم آورد.

در همین شبکه است که مرکز ذخیرهٔ ملّی جهت دستیابی سریع به قطعات، ادوات و مدارهای بیولوژیک جهت طراحی و مهندسی ارگانیسم‌ها، تحقق می‌یابد. به صورت ایده‌آل، این قطعات ژنتیکی می‌بایست قابل تبادل بوده و برای تولید هر گونه از محصولات با ارزش افزوده یا بازبرنامه‌نویسی سلولی یا ویرایش آن‌ها، به کار آید. چنانچه این شبکه پویا به صورت روزآمد راه توسعه را بپیماید می‌تواند هم‌چون ارگانیسمی زنده عمل نماید که با جامعهٔ بیولوژی سینتتیک پیرامونی در منطقه و در عرصهٔ بین‌المللی، فعالیت کرده و به رقابت برخیزد.

راهبرد چهارم: آموزش نیروی انسانی برای فراهم آوردن تودهٔ بحرانی نیروی کار در عرصهٔ بیولوژی سینتتیک

توجه به توسعه نیروی انسانی ماهر، پرانرژی و مسئولیت‌پذیر با دیدگاه‌های نوآورانه که بتواند از مرزهای رشته‌ای گذر نماید و در گفتمان میان رشته‌ای مشارکت جوید، از اولویت‌های هر نقشهٔ راه توسعه بیولوژی سینتتیک می‌باشد. تربیت نیروی انسانی برای این توسعه، مقاطع کارشناسی ارشد، دکتری و پسادکتری

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

را می‌طلبد تا بتوان از میان آن‌ها، بیولوژیست‌های سینتتیک نسل آینده و رهبران این عرصه را خلق کرد. در اتحادیهٔ اروپا، بیش از ۵۰ پژوهشکده و انیستیتو شامل کالج سلطنتی انگلستان، آموزش‌های در حد پایهٔ کارشناسی ارشد را ارائه می‌دهند.

در نقشهٔ راه توسعه بیولوژی سینتتیک ایران نیز می‌بایست در مراکز تعالی این دانش و نیز در دانشگاه‌های قطب در مناطق آمایشی ده‌گانه، آموزش میان رشته ای بیولوژی سینتتیک و بیولوژی سیستمی را تدوین کرد و برنامهٔ آموزشی را بر اساس مأموریت هر کلان منطقه طراحی نمود. بی‌شک در مراکز تحقیقاتی زیست فناوری و مراکز تعالی بیولوژی سینتتیک نیز می‌توان به پذیرش دانشجویان مقاطع دکتری و پسادکتری اقدام نمود تا بتوان تودهٔ بحرانی از نیروی انسانی برای پیشبرد اهداف بیولوژی سینتتیک فراهم نمود. همچنین می‌توان آموزش بیولوژی سینتتیک را برای دانشجویان به گونه‌ای طرح‌ریزی نمود که این دانشجویان ضمن بهره‌برداری از مفاد درس‌نامه‌ای به صورت عملی در تولید سلول‌های یوکاریوتیپ با ژنوم کاملاً سینتتیک نیز مشارکت نمایند. از سوی دیگر، طراحی برنامه‌های نوآورانه در جوار تدوین کتب جامع، ضروری می‌باشد (مانند طراحی منابع تحت وب که به صورت دوره‌های آنلاین باز گسترده (MOOCS)[9] در اختیار دانشجویان قرار می‌گیرد).

در دورهٔ آموزشی مقطع کارشناسی، آموزش اصول میان رشته‌ای و در دورهٔ تحصیلات تکمیلی، کار میان رشته‌ای با مشارکت خبرگان آزمایشگاه تر (Wet-Lab) بیولوژی، طراحی مهندسی و مدل سازی و خبرگان در گستره‌های اخلاقی، قانونی و جنبه‌های اجتماعی عرصهٔ بیولوژی سینتتیک، ضروری می‌باشد (۲۰). در دورهٔ آموزشی، بر روی مهندسی زیستی، مهندسی شیمی، بیوفیزیک، بیولوژی سیستم‌ها، سامانه‌های فیزیولوژیک، فناوری‌های تصویربرداری پیشرفته و آموزش ابزارهای محاسباتی و آنالیز داده‌ها، تأکید ویژه می‌بایست گذاشت.

راهبرد پنجم: مردمی کردن دانش بیولوژی سینتتیک

آموزش و یادگیری، آگاه سازی و درگیر نمودن جامعه، پیرامون اینکه چگونه دانش بیولوژی سینتتیک می‌تواند بزرگ‌ترین سودمندی‌ها را برای جامعه خلق نماید، در پذیرش این دانش بسیار حیاتی است؛ زیرا این دانش تحول برانگیز، بسیار گران و پر هزینه است و مردمی کردن آن به صورت شفاف و به شیوه‌ای دموکراتیک، می‌تواند در رشد و شکوفایی آن در مراحل اولیهٔ تکاملی، بسیار مؤثر باشد (۱۹). از سوی دیگر، این مردمی کردن بیولوژی سینتتیک می‌تواند از نگرانی‌های جامعه پیرامون بیوتروریسم، ایمنی زیستی، آسیب به محیط زیست و دیگر نگرانی‌ها پیرامون مسائل اخلاقی و مذهبی نیز بکاهد (۴).

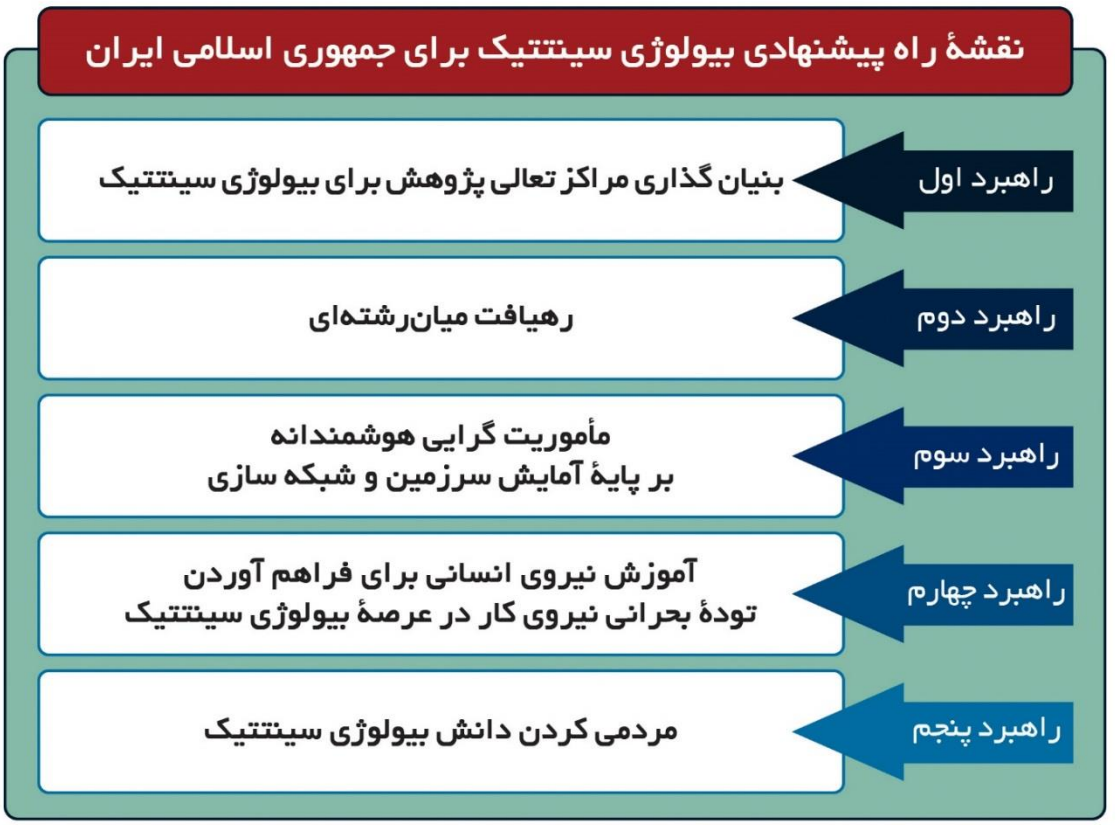
در کشورهای پیشرفته، آموزش بیولوژی سینتتیک را از مدارس سطح متوسطه آغاز کرده‌اند (۸ و ۲۱). برنامهٔ غنی‌سازی دبیرستان توسط MIT، برنامهٔ آموزشی خود را از فرایند کلون سازی ژن از آغاز تا انتها شامل کاربرد PCR، هم‌آوری قطعات DNA، انتقال DNA به سویه‌ای از باکتری میزبان و بیان کنترل شده توسط سامانه‌های بیان ژن، تنظیم کرده است (۲۱). از سوی دیگر، در سطح جهانی، دانشجویان و دانش‌آموزان و کارآفرینان در فعالیت‌های رقابتی همچون iGEM [10] شرکت کرده و توانمندی‌های خود را نشان می‌دهند؛ این برنامهٔ رقابتی MIT که در سال ۲۰۰۳ آغاز شد، در تولد اصول بیولوژی

[9] Massive Open Online Courses
[10] International Genetically Engineered Machine

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

سینتتیک و مردمی کردن این دانش، نقش به‌سزایی را داشته است. در این برنامه، دانشجویان، کارآفرینان و دانش‌آموزان دبیرستانی، در طراحی و هم‌آوری سامانه‌های ژنتیکی خلاق با ترکیب کردن قطعات BioBrick موجود و خلق نمونه‌های جدید، اقدام می‌کنند (۸).

خوشبختانه در کشور عزیزمان، ما تجربهٔ برنامه‌های سامان یافته‌ای را در سطح مدارس در مقاطع مختلف برای توسعه دانش‌های سلول‌های بنیادی و نانوفناوری داشته‌ایم که همسان این برنامه را می‌توان برای بیولوژی سینتتیک تدارک دید. همچنین با درگیر نمودن سیاست‌گذاران، نمایندگان بخش‌های گوناگون صنعت و مردم، چشم‌انداز بیولوژی سینتتیک جهت رشد و توسعه و شکوفایی جامعه را روشن نمود.



شکل۵) نقشهٔ راه پیشنهادی بیولوژی سینتتیک برای جمهوری اسلامی ایران

چالش‌های نقشه راه توسعه بیولوژی سینتتیک

برای تدوین این نقشه راه، ما به فشار دوجانبه از "بالا به پایین" از سوی بالاترین نهادهای تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری در عرصهٔ توسعهٔ دانش و فناوری (مانند درج مفاد توسعهٔ بیولوژی سینتتیک در نقشهٔ علمی کشور و در سیاست‌های ابلاغی مقام معظم رهبری در توسعهٔ علم و فناوری) و همچنین از "پایین به بالا" از سوی نهادهای انجمن‌های علمی کشور، نمایندگان صنایع و مردم، نیاز داریم. هرچند که راهبردهای پیشنهادی برای نقشه راه توسعه بیولوژی سینتتیک، ظهور و رشدونمو این دانش را هدف قرار داده است امّا با تکامل این علم در کشور، می‌توان نقشه راه تکمیلی دوم را با هدف تجاری‌سازی و رقابت در صحنهٔ منطقه‌ای و بین‌المللی نگارش نمود. چنین رویکردی نیز در نقشهٔ راه انگلستان

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

مشاهده می‌شود. در نقشه راه بیولوژی سینتتیک انگلستان در سال ۲۰۱۲ پایه‌سازی چهارچوب توسعه دانش بیولوژی سینتتیک را هدف قرار داده بود، اما در نقشه راه سال ۲۰۱۶، به سوی جنبه‌های ترجمانی این علم و صنعتی‌سازی آن میل نمود و با عنوان "طراحی زیستی برای اقتصاد زیستی"، نشان داد که فصل برداشت از باغ شکوفایی بیولوژی سینتتیک در صحنهٔ کار برای این کشور فرا رسیده است. هم اکنون بیش از ۵۰ استارت‌آپ، شرکت‌های کوچک و متوسط (SMES) و شرکت‌های بزرگ در بیولوژی سینتتیک درگیر شده‌اند و سرمایه‌گذاری به سوی این دانش، با شتاب، در جریان است (۲۱).

بنابراین، بحث‌های مربوط به تجاری‌سازی، مالکیت فکری و ترجمان دانش به سوی کاربرد را هر چند که جامعهٔ علمی کشور ما دیگر چندان با آن‌ها بیگانه نمی‌باشد را می‌توان به شکل جزیی‌تر در تکمیل نقشه راه، در سال‌های نه چندان دور در آینده، لحاظ نمود. از سوی دیگر، جهت بحث‌های اخلاق زیستی، تنظیم مقررات برای رشد و شکوفایی بیولوژی سینتتیک و مسائل مربوط به ایمنی زیستی و امنیت زیستی که از چالش‌های عمده می‌باشند را می‌توان از ذخیرهٔ تجربیات پیشین پیرامون توسعه دانش زیست فناوری و سلول‌های بنیادی که در کشور موجود می‌باشند، استفاده نمود. این مسائل، چالش‌های عمدهٔ مربوط به بیولوژی سینتتیک را به عرصهٔ عمل می‌کشانند امّا به یاد داشته باشیم که در نقشه راه بیولوژی سینتتیک کشورهای دیگر نیز به این مسائل، به خوبی پرداخته نشده است (۱۹). امّا کریگ ونتر در گزارش ۲۰۱۴ خود عنوان کرده است، سامانهٔ مقرراتی موجود (در کشور آمریکا) برای محصولات مهندسی شدهٔ ژنتیکی، به خوبی می‌توانند از پس ارگانیسم‌های مهندسی شدهٔ بیولوژی سینتتیک که در راه هستند، برآید (۲۹).

تضاد منافع

هیچ‌گونه تضاد منافع توسط نویسنده بیان نشده است.

References:

1.Synthetic Biology: scope, applications and implications. 2009. Royal Academy of Engineering. (Accessed 29 Oct 2017 at http://www.raeng.org.uk/publications/reports/synthetic-biology-report).
2. Brüller W, Gansberger M, Hochegger R, et al. Synthetic Biology. 2014. (Accessed 29 Oct 2017 at https://www.bmgf.gv.at/cms/home/attachments/2/6/8/CH1052/CMS1422371020012/synthetic_biology_02122014_final.pdf).
3.Benner SA, Sismour AM. Synthetic biology. Nat Rev Genet. 2005;6:533-43.
4.Emerging Policy Issues in Synthetic Biology.2014. Organization For Economic Co-Operation & Development (OECD).
5.Philosophy of Systems and Synthetic Biology. 2017. Metaphysics Research Lab, Stanford University. (Accessed 29 Oct 2017 at https://plato.stanford.edu/entries/systems-synthetic-biology/).
6.Ding Y, Wu F, Tan C. Synthetic Biology: A Bridge between Artificial and Natural Cells. Life (Basel). 2014; 4(4): 1092-116.
7.Holdrege C. When Engineers Take Hold of Life: Synthetic Biology. 2014. (Accessed 29 Oct 2017 at http://natureinstitute.org/pub/ic/ic32/synbio.pdf).
8.Synthetic Biology: An Introduction. 2011. European Academies Science Advisory Council. (Accessed 29 Oct 2017 at http://www.easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Synthetic%20Biology%20An%20Introduction%20Feb%202011.pdf).
9.Peccoud J, Isalan M. The PLOS ONE synthetic biology collection: six years and counting. PloS one. 2012;7 (8):e43231.
10.Kis Z, Pereira HS, Homma T, et al. Mammalian synthetic biology: emerging medical applications. J R Soc Interface. 2015; 12(106): 1-18.
11.Courbet A, Renard E, Molina F. Bringing next-generation diagnostics to the clinic

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

through synthetic biology. EMBO Mol Med. 2016; 8(9): 987-91.
12.May M. Synthetic biology's clinical applications. 2015. (Accessed 29 Oct 2017 at http://www.sciencemag.org/custom-publishing/technology-features/synthetic-biology-s-clinical-applications).
13.Evans A, Ratcliffe E. Rising influence of synthetic biology in regenerative medicine. Engineering Biology. 2017; 1(1): 24-29.
14.Cachat E, Davies JA. Application of Synthetic Biology to Regenerative Medicine. J Bioeng Biomed Sci. 2011; S2: 003. (Accessed 29 Oct 2017 at https://www.omicsonline.org/application-of-synthetic-biology-to-regenerative-medicine-2155-9538.S2-003.pdf).
15.Think synthetic biology. 2016. Ontario Genomics. (Accessed 29 Oct 2017 at http://www.ontariogenomics.ca/syntheticbiology/Ontario_Synthetic_Biology_Report_2016.pdf).
16.Eight great technologies. 2013. UK Department for Business, Innovation and Skills. www.gov.uk. (Accessed 29 Oct 2017 at https://www.gov.uk/government/speeches/eight-great-technologies).
17.National Bioeconomy Blueprint. 2012. Office of Science and Technology Policy: whitehouse.gov. (Accessed 29 Oct 2017 at https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/national_bioeconomy_blueprint_exec_sum_april_2012.pdf).
18.Rejeski D, Fellow G, Center W. Synthetic Biology in the United States: A Brief History of an Emerging Innovation System. 2016. (Accessed 29 Oct 2017 at http://platformvaluenow.org/wp-content/uploads/2017/06/SyntheticBiologyCaseStudy_Rejeski.pdf).
19.Si T, Zhao H. A brief overview of synthetic biology research programs and roadmap studies in the United States. Synth Syst Biotechnol. 2016; 1(4): 258-64.
20.Clarke LJ, Kitney RI. Synthetic biology in the UK - An outline of plans and progress. Synth Syst Biotechnol. 2016; 1(4): 243-57.
21.Next steps for European synthetic biology: a strategic vision from ERASynBio. 2014. (Accessed 29 Oct 2017 at http://www.evolva.com/wp-content/uploads/2016/01/EU-Synbio-Vision.pdf).
22.Workshop on Synthetic Biology. 2015. European Commission. (Accessed 29 Oct 2017 at https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/scientific_committees/emerging/docs/ev_20151210_booklet_en.pdf).
23.Singh V, Jain R ,Dhar PK. Challenges and Opportunities for Synthetic Biology in India. Curr Synthetic Sys Biol. 2014; 2(3): e112.
24.Singh D, Dhar PK. Exploring the Future of Synthetic Biology in India and its Probable Pathways from Infancy to Maturity. Curr Synthetic Sys Biol. 2013; 1(1): 106.
25.Gronvall GK. US Competitiveness in Synthetic Biology. Health Secur. 2015; 13(6): 378-89.
26.Hayden E. Tech investors bet on synthetic biology. Nature. 2015; 527: 19. (Accessed 29 Oct 2017 at https://www.nature.com/polopoly_fs/1.18715!/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/527019a.pdf?origin=ppub).
27.Nabipour I, Assadi M. Infrastructures for systems medicine in Iran's health roadmap. Iran South Med J 2014, 17(5): 974-92
28.Nabipour I, Mosleh A, Assadi M. Role of the future creative universities in the triple helix of science and technology corridors. Iran South Med J 2015, 17(6): 1068-89.
29.Carter SR. Synthetic Biology and the U.S. Biotechnology Regulatory System Challenges and Options. 2014. J. Craig Venter Institute. (Accessed 29 Oct 2017 at http://www.jcvi.org/cms/fileadmin/site/research/projects/synthetic-biology-and-the-us-regulatory-system/full-report.pdf).

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

Review Article

A Roadmap Draft for the Development of Synthetic Biology in the I.R. Iran

I. Nabipour (MD)[1,2*]

[1] *The Persian Gulf Marine Biotechnology Research Center, The Persian Gulf Biomedical Sciences Research Institute, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran*

[2] *Future Studies Group, The Academy of Medical Sciences of the I.R. Iran*

(Received 4 Oct 2017 Accepted 24 Oct 2017)

Abstract

Background: According to the Royal Academy of Engineering (2009), "synthetic biology aims to design and engineer biologically-based parts, novel devices, and systems as well as redesigning existing, natural biological systems". It has been predicted that synthetic biology would be one of twelve destructive and creative technologies in the future and would transform the life, business, and economic world.

Methods: By considering critical infrastructures in biological sciences, biomedical research centers, biotechnological infrastructures, national innovation system, national scientific roadmap and centers for doctoral training in the I.R. Iran and recent experiences for the progress of synthetic biology in different countries, a conceptual framework for the development of synthetic biology in the I.R. Iran was designed.

Results: Five strategies may be considered to develop synthetic biology in the I.R. Iran. 1. The establishment of centers of excellence for research in synthetic biology; 2. Support of multidisciplinary cores for biomedical technologies in universities; 3. Networking and building a national Smart Specialization Platform for synthetic biology; 4. Education and training in synthetic biology to provide the critical national workforce mass; 5. Public engagement with synthetic biology.

Conclusion: Together these five strategies provide an important foundation for the establishment of essential infrastructures and expert workforce for the development of synthetic biology in the I.R. Iran. By conducting a practical roadmap, Iran would be a leading nation in synthetic biology in the west part of Asia in the future.

Key words: Synthetic biology, Biological systems, Roadmap, Interdisciplinary, Smart Specialization

©Iran South Med J. All rights reserved.

Cite this article as: Nabipour I, A Roadmap Draft for the Development of Synthetic Biology in I.R. Iran. Iran South Med J 2017; 20(5): 501-518

Copyright © 2017 Nabipour. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

[*] *Address for correspondence:* The Persian Gulf Marine Biotechnology Research Center, The Persian Gulf Biomedical Sciences Research Institute, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran. E.mail: Inabipour@gmail.com

Website: http://bpums.ac.ir
Journal Address: http://ismj.bpums.ac.ir

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]