دوماهنامه طبّ جنوب
پژوهشکده زیست-پزشکی خلیج فارس
دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر
سال بیست و دوم، شماره ۵، صفحه ۳۶۳ - ۳۴۷ (آذر و دی ۱۳۹۸)

Iran South Med J 2019; 22(5): 347-363

قضایای اخلاقی در بیولوژی سینتتیک

امیررضا بوالخیر (MD)[۱*]، ایرج نبی‌پور (MD)[۲ و ۳**]

[۱] مرکز تحقیقات گوش و حلق و بینی، بخش گوش وحلق و بینی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، ایران
[۲] مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی خلیج‌فارس، پژوهشکده علوم زیست پزشکی خلیج‌فارس، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران
[۳] عضو گروه آینده‌نگاری، نظریه‌پردازی و رصدکلان سلامت فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۴/۲۶- پذیرش مقاله: ۹۸/۶/۳۰)

چکیده

زمینه: بیولوژی سینتتیک یک گستره 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. با این ویژگی، در دانش بیولوژیک دانش‌هایی نهفته است که تدوین و "رهیافت اخلاقی" متمایزی را می‌طلبد.

مواد و روش‌ها: برای ترسیم چهارچوب مسائل اخلاقی گسسته بیولوژی سینتتیک از قالب اصول مدیریت دانش در طراحی قضایای آن استفاده گردید و این مسائل در چهار حوزه خلق دانش، ذخیره‌سازی دانش، انتشار دانش و به کارگیری دانش بیولوژی سینتتیک مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: در خلق ارگانیسم‌های مصنوعی این قضیه وجود دارد که آیا این ماشین‌های زنده نیز درخور دریافت توجه اخلاقی هستند؟ قضیه دیگر ذخیره‌سازی دانش به صورت آزاد در مورد دانش ساخت قطعات، ادوات و سامانه‌های بیولوژیک در قالب کتابخانه‌ها باز است؟ در همین گستره بحث عدالت و شکاف فناورانه نیز مطرح می‌باشد.در کاربرد بیولوژی سینتتیک نیز قضایای ایمنی زیستی و امنیت زیستی اهمیت دارند، زیرا این علم به صورت روزافزون با جامعه بیولوژیست‌های گاراژی روبرو است. در امنیت زیستی، ساخت ارگانیسم‌ها با کاربرد دوگانه نیز قضایای اخلاقی ویژه‌ای را در بحث تروریسم زیستی برمی‌انگیزد.

نتیجه‌گیری: پیچیدگی و گستردگی قضایای اخلاقی در کاربرد محصولات بیولوژی سینتتیک، نشانگر آن است که می‌بایست اصول اخلاقی متمایزی را با کمک خبرگان علم اخلاق، حقوق و آینده‌پژوهان علم در گفتمان با جامعه مدنی تدوین نمود.

واژگان کلیدی: بیولوژی سینتتیک، امنیت زیستی، ایمنی زیستی، اخلاق زیستی، بیوتروریسم

*بوشهر، مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی خلیج‌فارس، پژوهشکده علوم زیست پزشکی خلیج‌فارس، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران

Email: inabipour@gmail.com
***ORCID: 0000-0003-0877-2569**
****ORCID: 0000-0002-1785-0883**

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]

مقدمه

بیولوژی سینتتیک یک گسترهٔ دانشی نوین و پر امید است که به عنوان علم مرزشکن و بحرانی در هزارهٔ جدید خود را نشان داده است و آن را مهندسی اجزاء و سامانه‌های بیولوژیکی که در طبیعت نیستند و یا مهندسی مجدد عناصر بیولوژیک موجود، تعریف نموده‌اند. ریشهٔ این دانش در پژوهش‌های زیست فناوری و علوم زیستی نهفته است و در حدّ فصل مشترک بیولوژی، شیمی و فیزیک بوده و با گستره‌ای از عرصه‌های پژوهش و توسعهٔ فناوری‌ها نیز همپوشانی دارد. امّا ویژگی مهم آن، پیوند بیولوژی با رهیافت‌های مهندسی است. هر چند ما هم‌اکنون در هنگامهٔ آغازین این دانش هستیم، امّا در این مرحله از توسعه، پرسش‌ها و مسائل گوناگونی پیرامون اخلاق و فلسفهٔ بیولوژی سینتتیک برانگیخته شده‌اند که پاسخ‌گویی به آن‌ها، مشارکت میان رشته‌ای با حضور خبرگان علم اخلاق، حقوق و آینده پژوهان علم و فناوری را طلب می‌کند (۱).

در آینده‌ای نزدیک، دانشمندان می‌توانند ارگانیسم‌ها و سامانه‌های نوینی را به صورت کامل خلق کنند که پیش از این در جهان طبیعت موجود نبوده‌اند. پیشرفت‌هایی چنین مرزشکن، موجب برانگیخته شدن مجموعه‌ای پیچیده و بحث‌برانگیز خواهد شد. بسیاری از این پیشرفت‌ها به شیوه‌ای گوناگون به انسانیت کمک خواهند کرد ولی با خود نیز خطرات اجتناب‌ناپذیری که اغلب نیز موجب ترس و نگرانی‌های عموم خواهند شد، به ارمغان می‌آورند. چنین بیم و امیدهای برخاسته از بیولوژی سینتتیک، نیاز به اصول اخلاقی بسیار عالمانه را گوشزد می‌نمایند (۲).

تدوین چنین اصول اخلاقی‌ای توسط جامعهٔ دانشگاهی، حقوقی و نیز سیاست‌گذاران جامعه، به خوبی احساس شده است. امّا این پرسش مطرح است که اصول اخلاقی مربوط به بیولوژی سینتتیک آیا از اصول اخلاقی تدوین شده پیرامون فناوری‌های نوین و به ویژه مهندسی ژنتیک فراتر است و می‌بایست به صورت ویژه‌ای به آن نگریست (۳). به زبان دیگر، آیا چیزی در دانش بیولوژی سینتتیک نهفته است که تدوین «رهیافت اخلاقی» متمایزی را جایز شمرد؟

هدف اصلی این نوشتار پرداختن به زوایای عام و خاص بیولوژی سینتتیک از دیدگاه مسائل اخلاقی است که در نتیجهٔ پیشرفت این دانش حاصل آمده است و یا پدید خواهد آمد. در حقیقت، بررسی مسائل اخلاقی برخاسته از این پیشرفت‌ها نشان می‌دهند که دانش اخلاق در عرصهٔ بیولوژی سینتتیک هنوز بسیار جوان است (۴).

در بسیاری از نقاط جهان، به اخلاق در بیولوژی سینتتیک، از زوایای گوناگونی نگریسته‌اند (۲، ۷-۵).

حاکمیت عدم قطعیت‌ها در مسائل اخلاقی بیولوژی سینتتیک، به گسترش گفتمان میان دانشمندان گسترهٔ بیولوژی سینتتیک و جامعهٔ مدنی نیاز دارد. اگر این اهداف و چشم‌اندازهای مشترک تدوین شوند، می‌بایست از منظرهای اخلاقی و سیاسی نگریسته شوند (۷).

رهیافت این نوشتار برای ترسیم چهارچوب مسائل اخلاقی گسترهٔ بیولوژی سینتتیک بر اساس قالب مدیریت دانش طراحی گردیده است و این مسائل را در چهار حوزهٔ خلق دانش، ذخیره‌سازی دانش، انتشار دانش و به کارگیری دانش بیولوژی سینتتیک، به کنکاش می‌کشد.

خلق دانش در بیولوژی سینتتیک

سازوکار بیولوژی سینتتیک در خلق دانش گستره‌هایی گوناگونی را مانند سنتز DNA، مهندسی متابولیک، سنتز شیمیایی پروتوسل‌ها[1]، مدل‌سازی رایانه‌ای یا سنتز

[1] Protocells

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]

بازهای اسیدهای هسته‌ای جایگزین و خلق ژنوم کمینه شامل می‌شود. هر چند که از دیدگاه متدلوژی در خلق دانش میان بیولوژی سینتتیک با زیست فناوری و شیمی، همپوشانی‌هایی روی می‌دهد ولی بیولوژی سینتتیک، سودای خلق اشکال نوینی از حیات را نوید می‌دهد و از این دیدگاه، پرسش‌های اخلاقی فراوانی در رابطه با انسان‌ها و همچنین دیگر موجودات زنده با موضوع جایگاه اخلاقی محصولات بیولوژی سینتتیک (که ارگانیسم‌های مصنوعی[2] و یا ماشین‌های زنده[3] هستند) به وجود می‌آید (۸).

از این رو چنین به نظر می‌آید که یک شکاف ژرف میان درک ما میان «طبیعی» و «مصنوعی» یا میان «رشد یافته» و «ساخته شده» حاصل می‌گردد. پرداختن به این شکاف از آنجا اهمیت می‌یابد که چنانچه بیولوژی سینتتیک موفق به ساخت موجودی در طبیعت با ژنوم کمینه شود، آیا آن را باید مصنوعی دانست یا طبیعی؟ یا آن که اگر یک موجودی در طبیعت را با عناصر صناعی خلق نماید، آیا باید آن را مصنوعی دانست یا طبیعی؟ پژوهش بر روی «انتولوژی این اجسام در حال پدید»، در پژوهشگاه‌های مطرح جهان مانند مرکز پژوهش‌های مهندسی بیولوژی سینتتیک[4]، در حال انجام است و برای پرداختن به مسائل اخلاقی مربوطه، همکاری نزدیکی میان علمای اخلاق، انسان شناسی و بیولوژی در جریان می‌باشد (۱).

با تمام این تلاش‌ها، چالش‌های موجود در تعریف حیات، موجب برانگیخته شدن بحث‌های بسیار داغ پیرامون فلسفه و اخلاق گردیده است که هنوز ابعاد آن‌ها به خوبی مورد کاوش قرار نگرفته‌اند. چنین است که گروه خبرگان بلند مرتبهٔ اتحادیهٔ اروپا در گزارش خود در مورد بیولوژی سینتتیک عنوان نمود که "به نظر می‌رسد که دیدگاه خلق اشکال کاملاً نوین موجب برانگیخته شدن بحث‌هایی پیرامون مرزهای اخلاقی مناسب علم خواهد شد". این گروه دربارهٔ عدم وجود یک چهارچوب مفهومی برای اخلاق که زمینهٔ را برای چنین بحث‌هایی بتواند مهیا نماید، گوشزد نموده است و یا همچنین این گروه یادآوری کرده است که بحث‌های اخلاقی هنگامی زاینده خواهند بود که قدر معنای «حیات» را در فراتر از گفتمان عامه توسعه دهند (۱).

به زبان دیگر، فقدان مرز آشکار میان حیات طبیعی و مصنوعی، موجب گردیده است که موارد اخلاقی بر علیه پیش زمینهٔ دیدگاه‌های گوناگون گسترده در جامعه و منظرهای ضد و نقیض اهداف و مرزبندی‌های مشروع اخلاقی علم و فناوری، مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. کم کم این موضوع هویدا می‌شود که موجودات صناعی و یا ماشین‌های زنده خلق شده توسط انسان‌ها را نمی‌توان بر پایهٔ اصول مهندسی تفسیر نمود. زیرا بر عکس چیدمان قطعات در مهندسی مکانیک، واحدهای ساختاری در بیولوژی سینتتیک، به صورت ناگزیر، با یکدیگر برهم‌کنش از خود نشان می‌دهند و این برهم‌کنش‌ها ممکن است کم و بیش غیرقابل پیش بینی بوده و بر هویت و رفتار این ارگانیسم‌ها یا ماشین‌های زنده تأثیر گذارند (۱۰-۹). از سویی دیگر، از آنجا که ارگانیسم‌های صناعی با محیط زیست خود همچون ارگانیسم‌های طبیعی در برهم‌کنش قرار گرفته و تکامل می‌یابند، می‌بایست خود را با عدم قطعیت‌های مسیر تکاملی سازگار نمایند (۱۱).

هر چند که هنوز معنای حیات، حتی با وجود خلق ارگانیسم‌های زنده توسط بیولوژی سینتتیک آشکار

[2] Artificial Organisms
[3] Living Machines
[4] Synthetic Biology Engineering Research Center (SynBERC)

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]

نیست، باید این را به خاطر داشت که با خلق موجودات جدید از طریق بیولوژی سینتتیک، خصوصیات و ویژگی آن‌ها تعیین کنندهٔ وضعیت اخلاقی آن‌ها خواهد بود و نگرش به آن‌ها که آیا خلق شدهٔ طبیعی هستند یا ساختهٔ دست انسان، بر جایگاه اخلاقی آن‌ها اثری نخواهد داشت. امّا با این وجود، این پرسش بنیادین بر می‌خیزد که چنانچه بیولوژی سینتتیک بتواند موجودات نوین و احتمالاً پیچیده را خلق کند آنگاه ما با آن‌ها چگونه برخورد خواهیم کرد. زیرا چنانچه این ماشین‌های زنده بتوانند جایگاه اخلاقی ویژهٔ خود را داشته باشند، پسندیده نیست که با آن‌ها در خارج از وضعیت متعارف برخورد نمود. اگر بپذیریم که چگونگی رفتار اخلاقی با موجودات در فراتر از منشأ خالق آن‌ها باشد (مصنوعی یا طبیعی)، در آن صورت پژوهش‌ها و اندیشه‌های نوینی نیاز خواهد بود که بر اساس ویژگی‌های زنده بودن، به جایگاه اخلاقی آن‌ها بپردازد. این ویژگی‌ها می‌توانند شامل درک، حساسیت جسمانی، توانایی درک درد و توانایی پنداشت پیوست خود با گذشته و آینده باشند.

از این دیدگاه، تنها داشتن حیات بیولوژیکی شرط کافی نیست و منطقی است بپذیریم که شاید همهٔ موجودات زندهٔ خلق یافته با بیولوژی سینتتیک، در خور دریافت توجه اخلاقی نباشند (۳). البته هر چند این ویژگی‌ها در خور توجه هستند امّا به یاد داشته باشیم که ارگانیسم‌های مصنوعی همانند ماشین‌های ساخت دست بشر نیستند که بتوان کنترل کامل کلاسیک آن‌ها را در طول بقاء آن‌ها داشته باشیم و آن‌ها را بتوان آزادانه خاموش و روشن نمود. این ارگانیسم‌های مصنوعی حتماً پاره‌ای از ویژگی‌های ماشین‌ها را خواهند داشت ولی از سوی دیگر ویژگی نهایی اتوپوئتیک[5] آن‌ها که به معنای توانایی خود سازمان‌دهی و خود تولید مثل است و ویژگی کلاسیک ارگانیسم‌های زنده محسوب می‌شود را دارا خواهند بود. از این رو، چندان آشکار نیست که آیا باید این ارگانیسم‌های مصنوعی را زنده نامید یا خیر و در نتیجه وضعیت اخلاقی این ارگانیسم‌ها و مسئولیت‌پذیری خالق نسبت به آن‌ها، هنوز تعریف شده نیست (۱).

بنابراین چنین به نظر می‌آید که تعریف حیات برای چیدمان رفتار اخلاقی با این ارگانیسم‌ها بسیار ضروری است. هرچند تعریف حیات از زمان روشنگری تاکنون تغییر چندانی نداشته است، اخیراً با تولید سلول‌های حیات مانند[6] توسط گروه ونتر[7] (که آن‌ها را میکروارگانیسم‌های با ژنوم کمینه[8] نامید و بیولوژیست‌های سینتتیک از واژهٔ شاسی و در شیمی صناعی در انگلستان از واژهٔ چلس[9]) موجب شده است که ادوارد ماشری[10]، به عنوان فیلسوف علم در دانشگاه پیتزبورگ چنین بیان نماید که تعریف پابرجایی برای «حیات» امکان‌ناپذیر و ناکارآمد است زیرا بیولوژیست‌های سینتتیک پیرامون منشأ آفرینش و میزان پیچیدگی موجود خلق‌یافته، بیش از پیش، سردرگم هستند (۱۲). اگر هم گفتار ادوارد ماشری درست باشد و حیات بسیار پیچیده‌تر از آن است که بتوان به آن چنگ انداخت، امّا احتمالاً می‌توان آن را در چهارچوب علمی تعریف نمود؛ زیرا این تعریف در ترسیم چهارچوب‌های اخلاقی بسیار ضروری است. این تعاریف نه تنها در مورد ارگانیسم‌های مصنوعی بسیار

[5] Autopoietic
[6] Life-like Cells
[7] Venter
[8] Minimal Genome
[9] Chells
[10] Edouard Machery

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]

گیج کننده است بلکه در مورد ماشین‌های زنده نیز سردرگمی می‌آفرینند.

شاخهٔ زیست مهندسی بیولوژی سینتتیک این هدف را می‌جوید که بیولوژی را به یک رشتهٔ مهندسی تبدیل کند و این کار را با سنتز مهندسی ژنتیک انجام می‌دهد که اساس آن استانداردسازی قطعات در سطح DNA است که می‌توان به شکل مدول‌هایی ترکیب کرده و همچنین در مسیرهای متابولیک نیز چیدمان داد. با این زمینهٔ کاری، آن‌ها بر محصولات خود در رقابت‌های جهانی iGEM[11]، نام ماشین‌های مهندسی شدهٔ ژنتیکی[12] می‌نهند.

از واژهٔ ماشین در این عبارت به این دلیل استفاده شده است که یادآور مفهوم «طراحی و کنترل» توسط انسان باشد که از ویژگی‌های ماشین‌ها می‌باشد. با طراحی و ساخت این ماشین‌های زنده، این پرسش برمی‌خیزد که آیا امکان تبدیل ارگانیسم‌های زنده به ماشین نیز امکان‌پذیر است و آیا اصلاً تفاوت ماهیتی میان ارگانیسم‌های زنده و ماشین‌ها وجود دارد و در چنین صورتی آیا گذاشتن و یا برداشتن واژهٔ «زنده» از بار اخلاقی و جایگاه اخلاقی موجود فرو می‌کاهد یا به آن ارزش می‌آفریند؟ پاسخ به این پرسش بستگی به منش رفتار با طبیعت و موجودات زنده دارد و احتمالاً نمی‌توان به شکل کامل به آن پاسخ داد ولی باید دانست که در این زمینه، بیولوژی سینتتیک پرسش‌های بسیار جالبی را برمی‌انگیزد که اثربخشی بسیار بالایی را در سطح جامعه از خود نمایان می‌کند (۸).

ذخیره‌سازی دانش

از دیدگاه اصولی، بیولوژی سینتتیک شامل ساخت قطعات، ادوات و سامانه‌های بیولوژیک یا جابه‌جایی و بازطراحی سامانه‌های بیولوژیک طبیعی موجود برای بهینه نمودن جامع است. به شکل ساده‌انگارانه، بیولوژی سینتتیک اصول مهندسی را در بخش‌های بنیادین بیولوژی به کار می‌برد. از آنجا که قطعات به عنوان ابزار بنیادین در بیولوژی سینتتیک مهندسی می‌شوند، آن‌ها رکن مهمی را در توسعه و پیشرفت این دانش ایفا می‌نمایند. دفتر قطعات بیولوژیک استاندارد[13] انستیتو فناوری ماساچوست، مجموعه ای از قطعات ژنتیکی که در مونتاژ سامانه‌ها و ادوات در بیولوژی سینتتیک استفاده می‌شوند را ارائه می‌دهد. این دفتر در سال ۲۰۰۳ تأسیس شده است و حاوی چند هزار قطعه است و دریافت کنندگان خدمات شامل دانشمندان و تیم‌های دانشجویی شرکت کننده در رقابت‌های بین‌المللی می‌باشند. این دفتر از استاندارد BioBrick پیروی می‌کند که استانداردی برای قطعات ژنتیکی قابل تعویض با یکدیگر است. این دفتر که ذخیره‌ای از دانش بیولوژی سینتتیک را در خود نهفته دارد، قطعات ژنتیکی را به امید این که دریافت کنندگان در داده‌ها مشارکت کرده و در توسعهٔ این ذخیرهٔ دانشی کوشش کنند، ثبت و شناسنامه دار کرده و خدماتی را در گسترهٔ سنتز و مونتاژ قطعات، ادوات و سامانه‌ها ارائه می‌دهد (۱۳).

به تیم‌های دانشجویی در رقابت سالانهٔ iGEM یک کیت استاندارد از قطعات قابل تعویض با یکدیگر (به نام BioBricks) را در آغاز هر تابستان، از دفتر قطعات بیولوژیک (که شامل قطعات ژنتیکی مانند پروموتورها، ترمیناتورها، المان‌های گزارشگر و ستون‌های پلاسمیدی است) داده می‌شود. این تیم‌ها در

[11] international Genetically Engineered Machine
[12] Genetically Engineered Machines (GEM)
[13] Registry of Standard Biological Parts

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]

آزمایشگاه‌های محلی خود در طول فصل، بر روی این قطعات جدید ساخته شده توسط آن‌ها، کار می‌کنند و سامانه‌های زیستی‌ای را می‌سازند که بتوانند در سلول‌های زنده عمل نمایند (۱۴). در حقیقت هدف این رقابت‌های آزاد، طراحی و مونتاژ سامانه‌های ژنتیکی خلاقانه با ترکیب نمودن قطعات BioBrick موجود و خلق نمونه‌های نوین است (۱۵).

به زبان دیگر می‌توان اطلاعات پیرامون قطعات ساختاری بیولوژیک دربارهٔ توالی DNA، عملکرد و اعتبار آن‌ها را در منابع آزاد[۱۴] یا کتابخانه‌های قطعات[۱۵] همچون BioBrick، BIOFAB، SynBIS و OpenPlant یافت کرده و این قطعات ساختاری را به یکدیگر اتصال داد تا ارگانیسم‌های طراحی شده، شکل بیابند (۱۶). دسترسی آزاد به قطعات ساختاری در بیولوژی سینتتیک در قالب کتابخانه‌های آزاد، دکترین «ثبت اختراع (پتنت)» را در برابر «مدیریت و انتشار آزاد منابع ژنتیکی» به چالش می‌کشد (۱۷). به زبان دیگر، «مالکیت دانش و ثبت اختراع» در برابر «ذخیره‌سازی دانش به صورت آزاد»، قرار می‌گیرد. گروهی که در بیولوژی سینتتیک با پتنت‌سازی مخالفت می‌ورزند و از دیدگاه اخلاقی پیرو منابع آزاد در دانش بیولوژی سینتتیک می‌باشند، بر این باور هستند که پتنت نمودن این دانش، نوآوری را منع ساخته و موجب مونوپولی در این گستره توسط شرکت‌های تجاری گردیده (۱۸) و دسترس‌پذیری جامعهٔ دانشمندان و پژوهندگان را به اختراعات و اکتشافات مهم محدود می‌سازد و نگرانی‌های اخلاقی‌ای را پیرامون بخش‌های حیاتی مانند غذا و دارو، ایجاد می‌کند.

در حقیقت، دکترین «ثبت اختراع» که سابقهٔ آن را می‌توان در زیست‌فناوری سنتی جستجو نمود در برابر راهبرد «منبع آزاد» قرار می‌گیرد. پیروان دکترین ثبت اختراع بر این باور هستند که این راهبرد می‌تواند رشد اقتصادی این دانش را نوید دهد. در هر صورت، مقررات مالکیت فکری در بیولوژی سینتتیک به تجزیه و تحلیل گسترده‌تر و بحث‌های بیشتر، نه تنها از دیدگاه اقتصادی یا قانونی بلکه از منظرهای اخلاقی و اجتماعی، نیازمند است (۸).

افرادی همچون کریک ونتر با ساخت ژنوم‌های سینتتیک و گذاشتن آن‌ها در درون سلول، پتنت‌های بسیار گسترده‌ای را تدارک دیدند ولی در سوی دیگر، دفتر قطعات بیولوژیک استاندارد و BioBrick با راهبرد منبع آزاد قرار دارند.

تعدادی از اندیشمندان بر این اعتقاد پافشاری دارند که توسعهٔ دفاتر قطعات استاندارد و یا کتابخانه‌های آزاد، احتمالاً می‌توانند پدیداری بخش‌های رقابت‌پذیر در مقیاس کتابخانه‌های آزاد را تحریک نمایند؛ به گونه‌ای که به جای ثبت قطعات، این کتابخانه‌ها موفق به اخذ لیسانس شوند. در این رقابت، کتابخانه‌های آزادی که قطعات بیشتری را در معرض کاربران خود قرار می‌دهند و قطعات آن‌ها بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند، هزینه‌های قطعات را با کاربرد متوالی آن‌ها کاهش می‌دهند و این اثر اقتصادی همان است که در اقتصاد دانایی محور به اثر شبکه‌ای[۱۶] معروف است (۱۹).

در این میان، گروهی دیگر نیز قرار دارند که معتقدند بیولوژی سینتتیک می‌بایست از راهبرد پتنت‌سازی در ذخیره‌سازی دانش و مالکیت فکری و همچنین از راهبرد «منبع آزاد» استفاده کند (۱۹). حتی دکترین منبع

[14] Open sources
[15] Part Libraries
[16] Network Effect

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]

آزاد نیز از زوایای اخلاقی، آکنده از هنجارها و ضد هنجارها است و این زوایا مورد بحث قرار گرفته‌اند (۲۰). برای مثال، دسترسی آزاد به قطعات ساختاری بیولوژیک در رقابت‌های iGEM برای دانشجویان شاید اخلاقی باشد ولی هنگامی که آنان در پی کار حرفه‌ای و ساماندهی به شرکت‌های نوپا یا استارت‌آپ‌های خود جهت مقاصد اقتصادی و تجاری هستند، دسترسی آزاد ممکن است به یک ضد هنجار تبدیل شود (۲۰). در هر صورت، می‌بایست مراقبت‌های ویژه‌ای را در هنگامی که گروه دانشجویان، آماتورها، بیوهکرها[17] و کسانی که در بخش بیولوژی خودگردان[18]، از منابع آزاد بیولوژی سینتتیک استفاده می‌کنند انجام داد تا مطمئن شد که آن‌ها به صورت ایمن از این منابع دانشی بهره‌مند گردیده، آگاهی کافی را داشته و رعایت اصول و رهیافت‌های ایمنی زیستی را مطلع می‌باشند (۲۲-۲۱). این جامعهٔ بیولوژیست‌های خودگردان، بیوهکر و کسانی که بدون مراقبت‌های سخت‌گیرانه مقرراتی به طراحی و ساخت سامانه‌های زیستی به شیوه‌ای آزاد می‌پردازند (در حقیقت در مکان گاراژ به ساخت اشکال جدید حیات و سامانه‌های زیستی، اقدام می‌نمایند)، با خود یک نگرانی عمدهٔ اخلاقی را از دیدگاه ایمنی زیستی به ارمغان می‌آوردند (۲۳). زیرا بسیاری از بیوهکرها به انجام آزمایشات بیولوژیک ابتدایی در آزمایشگاه‌های شخصی خود نمی‌پردازند بلکه از شیوه‌های بیولوژی پیشرفته مانند DNA های پیچیده و مونتاژهای ژنتیکی که بر روی رشد و عملکرد ارگانیسم‌های گوناگون مؤثرند بهره می‌برند. پس این گونه به نظر می‌رسد که ما در یک تغییر پارادایمی هستیم که شامل یک رهیافت دموکراتیک در گسترهٔ سیاست تا بیوهکری بوده و فلسفهٔ منبع آزاد را مورد چالش جدی قرار می‌دهد و چنین است که پاره‌ای از اندیشمندان به این رهیافت رادیکال، در دسترسی آزاد به ذخیرهٔ دانش بیولوژی سینتتیک، به دیدهٔ شک می‌نگرند (۲۴).

امّا از سوی دیگر دانشمندان جوان، بیش از پیش در جستجوی منابع آزاد، دموکراتیزه، شفاف و مصرف کنندهٔ مدار، در هر سطح بوده و بر این اصرار می‌ورزند که در توسعهٔ بیولوژی سینتتیک، واقعیت‌های اقتصادی، ارقام و اعداد و سود و زیان مطرح نیستند و این فرهنگ ذخیره‌سازی آزادِ دانشِ بیولوژیِ سینتتیک است که خواهد درخشید (۲۵). از پیشگامان این خط فکری اخلاقی، آندره هسل (Andrew Hessel) با ارتشی از یاران[19] خود است که در سال ۲۰۰۹ سامان یافت. برنامه‌ریزی آن‌ها بر نرم‌افزارهای در دسترس و قطعات بیولوژیکی استوار است که می‌توان به شیوه‌های نوآورانه به گونه‌ای آن‌ها را ترکیب نمود تا راه برای درمان‌های فردگرایانهٔ سرطان‌ها هموار شود و این را باید بدون نیاز به سرمایه‌گذاری‌های هنگفت از مسیرهای خرید پتنت انجام داد. این گونه است که هسل خود را «کاتالیست برای منبع آزاد بیولوژی سینتتیک» نامیده است (۲۶).

با این وجود، فراموش نشود که در جبهه‌ای دیگر، افرادی وجود دارند که معتقدند سازه‌های ژنتیکی دست ساختهٔ انسانی که برای خلق واکسن‌ها، سوخت‌های زیستی و محصولات تغذیه‌ای استفاده می‌شوند، می‌بایست تحت رژیم مالکیت فکری قرار گیرند که این شیوه می‌تواند برای توسعهٔ علم و صنعت زیست فناوری بسیار حیاتی بوده و موجب رشد و توسعهٔ اقتصادی بیولوژی سینتتیک شود. با در نظر گرفتن

[17] Biohackers
[18] Do-it-yourself Biology
[19] The Pink Army Cooperative

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]

دیدگاه‌های اخلاقی هر دو جبهه، به نظر می‌رسد که شاید بهتر باشد از مطلق‌گرایی گریز نمود و راه میانه‌ای را جست (۲۶).

عدالت و شکاف فناورانه

بحث‌های کنونی دربارهٔ مفهوم عدالت از گفتمان فلسفی پیرامون ارتباط دولت و شهروندان برخاسته‌اند و دولت می‌بایست در حفاظت و توسعهٔ حقوق انسانی، نقش حیاتی خود را ایفا نموده و در عدالت در انتشار و نقادی آن کوشا باشد. از این رو، اصل عدالت، کلیدی به سوی اخلاق، در بیولوژی سینتتیک، محسوب می‌گردد (۷). البته نه تنها بیولوژی سینتتیک بلکه همهٔ فناوری‌ها و کاربردهای آن‌ها، به ارزیابی و بررسی در پیوند با عدالت نیاز دارند. بنابراین از بسیاری از جنبه‌ها، بحث موارد عدالت در بیولوژی سینتتیک، آینهٔ بحث‌های پیرامون مهندسی ژنتیک است که پیش از این برقرار بوده است. بحث عدالت، منظرهای گوناگونی را به چالش می‌کشد ولی ما در اینجا به منظر اجتماعی و جغرافیایی آن نظر می‌افکنیم. از دیدگاه اجتماعی، بحث عدالت در بیولوژی سینتتیک به این معنا است که دولت می‌بایست در تدوین قوانین انتشار خطرات و سودمندی‌های بیولوژی سینتتیک در پژوهش و کاربردهای آن کوشا بوده و دست‌اندرکاران درونی و بیرونی حکومت، فرایندهایی که بر انتشار عادلانه سودمندی‌ها و خطرات این فناوری در سطح جوامع مؤثرند را لحاظ دارند. این گزاره، این معنا را در خود نهفته دارد که خطرات پژوهش نباید ناعادلانه معطوف به افراد، زیرگروه‌ها و جمعیت‌های خاص باشد و از قطب‌گرایی این خطرات در سطح این بخش‌ها باید جلوگیری نمود. خطرات نه تنها در سطح جوامع بلکه در سطح محیط‌زیست نیز نمی‌بایست ناعادلانه توزیع گردد.

تولیدکنندگان کالاها و همهٔ کسانی که با بیولوژی سینتتیک، سوداگری می‌نمایند، باید تضمین کنندهٔ آن باشند که خطرات و سودمندی‌های بالقوه برای جوامع و محیط زیست به خوبی ارزیابی گردیده و به گونه ای مدیریت شوند که جدی‌ترین خطرات شامل اثرات طولانی مدت، به صورت ناعادلانه و غیرلزوم، فقط توسط پاره‌ای از افراد، زیرگروه‌ها و جمعیت‌ها تحمل نگردند. این تلاش‌ها همچنین باید تضمین کنند که پیشرفت‌های مهم که از این پژوهش‌ها حاصل می‌آیند به افراد و جمعیت‌هایی که بیشترین سود را از این پژوهش‌ها به دست می‌آورند، به صورت عادلانه دریافت شود (۲).

سازوکار «اشتراک در منافع»[20]، راهبردی است که همان‌گونه که شرودر (Schroeder)[21] توصیف کرده است می‌تواند در انتشار عادلانهٔ سودمندی‌های بیولوژی سینتتیک مؤثر واقع شود. اشتراک در منافع این گونه است که می‌بایست بخشی از سودآوری و مزیّت‌های حاصله از کاربرد منابع ژنتیکی انسانی، غیرانسانی، منابع کایمری[22] و دانش بومی را به ارائه‌دهندگان این منابع تخصیص داد تا بتوان عدالت در مبادله را حاکم کرد. در این فرایند تبادلی، توجه ویژه می‌بایست به کسانی داشت که دسترسی منطقی به محصولات و خدمات بهداشتی و پزشکی بیولوژی سینتتیک را فاقد می‌باشند (۳). این عدم رعایت اشتراک در منافع خود می‌تواند موجب بی‌عدالتی اجتماعی شود که مثال برجستهٔ آن را

[20] Benefit Sharing
[21] Schroeder
[22] Chimeric

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]

می‌توان دربارهٔ داروی ضد مالاریای آرتمیسینین[23] مشاهده نمود (۱۹).

پیش از ساخت سینتتیک، تولید این داروی ضد مالاریا از منبع طبیعی نادر، به واسطهٔ افراد ساکن در جوامع فقیر آسیای شرقی و بعضی از قسمت‌های آفریقا انجام می‌گرفت. این افراد به پرورش کرم چوب[24] برای تولید این دارو مشغول بودند. بیولوژی سینتتیک موفق گردید که با خلق یک سویه از مخمّر جهت تولید اسید آرتمیزینیک (پیش‌ساز مالاریا)، اقدام نموده و شیوه‌ای سودمند و کارآمد را برای مبارزه با بیماری مالاریا در پیش گیرد. امّا این روند موجب گردیده است که افراد در کشورهایی که مالاریا اندمیک است به دارویی وابسته شوند که دیگر مونوپولی آن در دست کشورهای توسعه یافته بوده و کشاورزان کرم چوب نیز شغل خود را از دست دهند (۱). در اینجا است که جغرافیای فقر و غنا و مفهوم اشتراک منافع و عدالت در انتشار سودمندی‌های بیولوژی سینتتیک، خود را نشان می‌دهد. بی شک با توسعه‌های در پیش راه بیولوژی سینتتیک، ما شاهد آن خواهیم بود که محصولات این فناوری جایگزین محصولات طبیعی شوند که پیش از این توسط جوامع محلی و به صورت عمده فقیر تولید می‌شده‌اند و این موضوع می‌تواند ابعاد عدالت جویانهٔ منافع اقتصادی را به چالش کشد (۳).

نکتهٔ دیگر در خصوص عدالت آن است که چنانچه تولید محصولات و فراورده‌های بیولوژی سینتتیک در کشورهای کم توسعه یافته‌تر و در حال توسعه انجام شود. این کشورها نیز می‌بایست به صورت عادلانه همان کدهای اخلاقی مربوط به بیولوژی سینتتیک را همانند آنچه در کشورهای توسعه یافته رعایت می‌شوند را رعایت نمایند (۷). از منظر اقتصادی نیز این گونه نقد گردیده است که این ترس وجود دارد که با توسعهٔ بیولوژی سینتتیک و کاربرد آن، شکاف فناورانه میان کشورهای صنعتی و در حال توسعه افزایش یابد. البته این موضوع خاص بیولوژی سینتتیک نبوده و فناوری‌های نوین دیگر را نیز شامل می‌شود. نسخهٔ راه‌حل نیز یکسان است و می‌بایست کشورهای در حال توسعه را برای انتقال فناوری و حمایت از آن‌ها در بهره‌برداری از محصولات و افزایش ظرفیت قوّهٔ خبرگی آن‌ها در زمینهٔ بیولوژی سینتتیک، مدّنظر قرار داد. با این راهبرد می‌توان عدالت را در پهنهٔ خلق و کاربرد این فناوری برقرار نمود (۶).

این موضوع از این لحاظ اهمیت می‌یابد که دریابیم محصولات بیولوژی سینتتیک مانند داروها و شیوه‌های درمانی، محصولات پالایندگی محیط زیست و منابع تجدیدپذیر و ارزان برای انرژی که می‌توانند بسیاری از مسائل کشورهای در حال توسعه را در زمینهٔ سلامت و بیماری، محیط زیست و انرژی حل نمایند، عمدتاً در کشورهای توسعه یافته تولید می‌شوند و به دلیل بالا بودن هزینه‌های پژوهش و توسعه و نبود زیرساخت‌های فناورانه برای توسعهٔ بیولوژی سینتتیک در این کشورها، کشورهای در حال توسعه، همیشه به کشورهای توسعه یافته، وابسته خواهند بود و این موجب شکاف فناورانه‌ای خواهد شد که پیش از این پیرامون فناوری‌های دیجیتالی و نانو شاهد آن بوده‌ایم و به شکاف دیجیتالی یا شکاف نانویی معروف است. جامعهٔ بیولوژی سینتتیک چنانچه به پیشگیری از رخداد شکاف بیولوژی سینتتیک متعهد باشد، می‌تواند با در نظر گرفتن کدهای اخلاقی در گسترهٔ عدالت، در زدودن این شکاف پیش رونده، اهتمام ورزد (۸).

بهره‌برداری از دانش

[23] Artemisinin
[24] Artemisia annua

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]

در بهره‌برداری از دانش بیولوژی سینتتیک، دو مقولهٔ ایمنی زیستی[۲۵] و امنیت زیستی[۲۶]، بسیار حائز اهمیت می‌باشند. ایمنی زیستی شامل سیاست‌ها و اقداماتی است که به گونه‌ای طراحی شده‌اند تا کارکنان و محیط‌زیست را از کاربردهای ناجور غیرعمدی، یا رها شدن عوامل و مواد آزمایشگاهی خطرناک به صورت تصادفی، محافظت نمایند؛ در حالی که امنیت زیستی، معمولاً با کنترل مواد و اطلاعات بیولوژیک حساس و بحرانی توأم است که از دست‌یابی غیرمسئولانه، کاربردهای ناجور و رهاسازی عمدی آن‌ها پیشگیری می‌نماید. هر چند که در تئوری، تفاوتی بنیادین میان این دو است ولی در عمل، ایمنی زیستی با امنیت زیستی، همپوشانی می‌یابد و با پیشرفت‌های بیولوژی سینتتیک، دولت‌ها مجبور خواهند بود که به صورت ژرف، به هر دو نیز بپردازند (۱۵).

در حالی که در ایمنی زیستی پرداختن به شیوه‌های نوین در ارزیابی خطر، ایجاد سامانه‌های ایمنی سینتتیک و نظام‌مندی دسترسی آماتورها به بیولوژی سینتتیک مهم هستند، در امنیت زیستی، مسائل آموزشی، آگاه‌رسانی، حاکمیت و مراقبت و راه‌حل‌های فنی، مدّنظر قرار می‌گیرند (۲۷).

گروهی از پژوهشگران این نظر را دارند که به کارگیری بازهایی[۲۷] که در طبیعت یافت نمی‌شوند و یا کاربرد ستون پپتیدی به جای قند- فسفات موجب خواهد شد که خطرات بیولوژی سینتتیک، نسبت به مهندسی ژنتیک کاهش یابد؛ امّا گروهی دیگر بر این باورند که مسائل بنیادین و تحول برانگیز بیولوژی سینتتیک، آن قدر برجسته هستند که خطرات ایمنی زیستی آن‌ها از مهندسی ژنتیک بسیار بالاتر است (۱).

عمدهٔ ترس مردم، جامعهٔ فناوری زیستی و سیاست‌گذاران از آنجا بر می‌خیزد که بیولوژی سینتتیک با به کارگیری فناوری‌های گوناگون، این توان را به صورت بالقوه دارد که ارگانیسم‌های کاملاً جدیدی را طراحی و خلق نماید که می‌توانند خطرناک باشند. از سوی دیگر، توالی‌یابی ژن و سنتز آن، ارزان‌تر و ساده‌تر می‌شود و به آسانی از طریق آنلاین، در دسترس عامه قرار می‌گیرد؛ برای مثال ۳۲۱۵ جفت باز ژنوم ویروس هپاتیت B را می‌توان با کمتر از صد یورو سنتز نمود. از طرفی دیگر، هکرهای زیستی[۲۸] می‌توانند اطلاعات زیستی را آزادانه از طریق وب‌سایت‌ها، بلاگ‌های شخصی و ویدیوهای یوتیوب[۲۹]، تبادل و به اشتراک گذارند (۲۸). مجموعهٔ این رویدادها موجب شده است که در کاربرد دانش بیولوژی سینتتیک، ایمنی زیستی و امنیت زیستی، اهمیت یابند.

ایمنی زیستی

همان‌گونه که اشاره شد، ایمنی زیستی به شیوهٔ بازداری و دیگر اقداماتی می‌پردازد که کار کردن ایمن یا کاربرد عوامل بیولوژیک بالقوه خطرناک را تضمین می‌کنند. منطق اخلاقی کلیدی در ایمنی زیستی، حفاظت از زیان و ضرر است و از این رو بسیار مهم است که این اقدامات، تضمین نمایند که محصولات بیولوژی سینتتیک برای جمعیت‌های انسانی یا محیط زیست، خطرآفرین نمی‌باشند. البته این نکته را باید در نظر

[25] Biosafety
[26] Biosecurity
[27] Bases
[28] Biohackers
[29] YouTube

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]

گرفت که هر چیزی که در بیولوژی سینتتیک تولید می‌شود، ملاحظات ایمنی زیستی را ندارد و بعضی از محصولات خوش‌خیم بوده و توانمندی ایجاد عفونت و آلودگی را ندارند. از این رو، در مباحث اخلاقی ایمنی زیستی، یافت اولویت‌های اخلاقی، خلق منابع و تعیین شرایط بسیار مهم می‌باشند (۳).

یکی از مسائل مهم، رهاسازی میکروارگانیسم‌های سینتتیک به محیط زیست است که این ارگانیسم‌ها می‌توانند فرایندهای انتقال ژنی افقی را آغاز کرده و بر توازن و تعادل بیوتیک اثر گذارند و یا در فراتر از عملکرد خود، تکامل یافته و اثرات ناخواسته‌ای را بر محیط زیست و دیگر جانداران ایجاد کنند. از این رو می‌بایست به محصولات بیولوژی سینتتیک از دید اخلاقی نگریست که آیا این محصولات، نتایج زیان‌بار برای اکولوژی و سلامت انسان را دارا می‌باشند؟ (۷)

از آنجا که ارگانیسم‌های مشتق یافته از بیولوژی سینتتیک ممکن است صفاتی داشته باشند که به صورت انتخابی بر علیه عوامل بیوتیک و غیربیوتیک مزیّت داشته باشند، این احتمال وجود دارد که این ارگانیسم‌ها در طبیعت پابرجا مانده و نسبت به محیط زیست نفوذی شوند. بنابراین احتمال پابرجایی و نتایج حضور آن‌ها در محیط زیست می‌بایست بخشی از ارزیابی خطر در ارگانیسم‌های مشتق یافته از بیولوژی سینتتیک یا محصولات قرار گیرند. افزون بر این، مواد ژنتیکی (مدارها، عناصر ژنتیکی و ژنوم‌ها) ممکن است از طریق هیبرید شدن با گونه‌های وحشی تطابق‌پذیر جنسی فرار کرده و در طبیعت پابرجا شوند. اثرات این جریان ژنی عمودی و همچنین جریان ژنی افقی، تا حدّ بسیار زیادی به مناسبت داشتن ارگانیسم‌ها بستگی دارد (۲۹).

پرسش اخلاقی در این زمینه بر این تمرکز دارد که چندان آشکار نیست هنگامی که یک میکروارگانیسم با هدف و منظور (مانند پاکسازی مناطق آلوده و تجزیهٔ آلوده کننده‌ها) وارد محیط زیست می‌کنیم تا چه حدّ حق داریم که طبیعت را در معرض چنین خطری قرار دهیم؟ و آیا ما حق تداخل، با ترکیب نمودن اکوسیستم به چنین شیوه‌ای را داریم؟ از سوی دیگر، وارد کردن چنین میکروارگانیسم‌هایی نه تنها مواد آلوده کننده را برای زیست انسان بلکه برای محیط زیست و دیگر زیستمندان می‌زدایند و ممکن است مفید واقع شوند و از این رو بحث پیرامون سود و زیان برای طبیعت و جامعه را باید با سنجه‌های دقیق مورد ارزیابی قرار داد (۸). در هر صورت، ارزیابی خطر و پایش رهاسازی میکروارگانیسم‌ها در طبیعت، بسیار ضروری است و مقررات و قوانین ویژه‌ای را می‌طلبد (۲).

در شرایطی که خطر تکثیر میکروارگانیسم سینتتیک در محیط طبیعی وجود دارد، یافت محدودسازی قابل اعتماد و سازوکارهای کنترل، بسیار مورد نیاز است که طراحی شوند. برای مثال «ژن‌های خودکشی»[۳۰] یا دیگر اشکال «تکانه‌های خود تخریبی» را می‌توان در نظر گرفت تا بتوانند همچون خط و مرزی در طول زندگی این میکروارگانیسم‌ها، عمل نمایند. شیوهٔ جایگزین آن است که ارگانیسم‌های مهندسی شده را به گونه‌ای ساخت که وابسته به اجزاء تغذیه‌ای باشند که در محیط آزمایشگاه بیرونی یافت نمی‌شوند (مانند اسیدهای آمینهٔ جدید). بدین سان می‌توان از رشد و تکثیر آن‌ها، در صورت رهاسازی در محیط جلوگیری کرد (۲).

استفاده از اسیدهای آمینهٔ سینتتیک و اجزاء سینتتیک در ساختار DNA این ارگانیسم‌ها، موجب خواهد شد که این ارگانیسم‌ها نتوانند در محیط زیستی که فاقد این

[30] Suicide Genes

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]

اجزاء هستند، تکثیر شوند. از راهبردهای دیگر نیز می‌توان به کاربرد قطعات زیستی جهت پایش اندازهٔ جمعیت این میکروارگانیسم‌ها اشاره نمود.

این قطعات را می‌توان به مکانیسم «خود تخریبی» پیوست داد. به این صورت که هنگامی تراکم جمعیت از حدّی گذر می‌کند، فعال شوند. چنین به نظر می‌رسد که مهندسی سامانه‌های زیستی جهت کاستن توانایی زیست آن‌ها در خارج از آزمایشگاه، خود به شیوه‌ای رایج درآید.

در هر صورت، می‌بایست میکروارگانیسم‌های سینتتیک را خطرناک قلمداد کرده و با آن‌ها با مراقبت ویژه رفتار نمود، مگر آن که خلاف آن ثابت شود. بر اساس راهنمای بنیاد سلامت آمریکا (NIH) در زمینهٔ میکروارگانیسم‌های مهندسی شده ژنتیکی، مطالعه بر روی هر قطعهٔ زیستی حاوی DNA باید در شرایط فیزیکی با درجهٔ بسیار بالای مراقبتی انجام پذیرد (۱۹). بسیاری از پژوهشگران عرصهٔ بیولوژی سینتتیک این گونه نظر داده‌اند که چهارچوب ایمنی زیستی‌ای که طیّ سه دههٔ گذشته برای فناوری DNA بیولوژی سینتتیک به کار رفته و ایمن بودن خود را اثبات نمود، می‌تواند به عنوان پایه برای طراحی چهارچوب ایمنی زیستی بیولوژی سینتتیک نیز به کار رود (۱۹). امّا همان‌گونه که اشاره شد، گروهی دیگر معتقد هستند این احتمال وجود دارد که پژوهش‌های بیولوژی سینتتیک و محصولات آن (شامل ارگانیسم‌ها و ملکول‌ها) که از این فناوری مشتق شده‌اند، دارای خطرات بالاتری از نمونه‌های ارگانیسم‌های تراریخته باشند؛ زیرا در بیولوژی سینتتیک، از عناصر ژنتیکی منابع گوناگون (حتی از طراحی‌های کاملاً نوین) استفاده می‌شود. با وجود این دیدگاه‌های مخالف، نگرانی‌ها پیرامون ارزیابی خطر و مدیریت بیولوژی سینتتیک، بر پایهٔ ارگانیسم‌های تراریختهٔ سنتی، استوار است؛ زیرا در هر دو مورد، از DNA نوترکیب و فناوری‌های مهندسی ژنتیک، استفاده می‌شود (۲۹). امّا این راهبرد خالی از چالش نیست؛ زیرا در بیولوژی سینتتیک با قطعات زیستی[31] سروکار داریم و این قطعات، ادوات و سامانه‌ها، نگرانی‌های ویژه‌ای را بر می‌انگیزند؛ زیرا می‌توانند رفتارهای نوپدیدی را از خود، در زمانی که در مدار قرار می‌گیرند، نشان دهند و در ترکیب با واحدهای عملکردی و در برهم‌کنش با یکدیگر، رفتارهایی را از خود بروز نمایند که ما هنوز شناخت کافی از آن‌ها را نداریم. همچنین شاسی‌های مورد استفاده در بیولوژی سینتتیک، ممکن است در طبیعت پابرجا بمانند و از این رو ایمنی زیستی در برخورد با بیولوژی سینتتیک و قطعات زیستی (شامل شاسی‌ها)، ممکن است قوانین و مقرراتی را فراتر از آن چیزی که در مهندسی ژنتیک و فناوری ارگانیسم‌های تراریخته شاهد بوده‌ایم را طلب نماید (۲۳).

مسائل برخاسته از ایمنی زیستی در بیولوژی سینتتیک، محدود به رخداد غیرعمدی حوادث نمی‌شود بلکه این مسائل می‌توانند برانگیخته از نداشتن آموزش و تربیت کافی و مناسب در رفتار با قطعات زیستی و محصولات بیولوژی سینتتیک باشد زیرا به دلیل باز بودن منابع دانش بیولوژی سینتتیک و دسترس‌پذیری آسان به این اطلاعات، ممکن است افراد آماتور و کسانی که بیولوژی را در اتمسفر بیرون از مجامع آکادمیک آزمون می‌کنند و معروف به جامعهٔ بیولوژیست‌های گاراژی[32] هستند، از طریق اینترنت، این اطلاعات را دریافت کرده و خود به طراحی و ساخت قطعات زیستی و ماشین‌های زیستی بپردازند و

[31] Bio
[32] Garage Biology

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]

از این رو نگرانی‌های عمیقی را در این عرصه ایجاد کنند. بنابراین، آموزش‌های ایمنی زیستی نه تنها برای این گروه بلکه برای دیگر کاربران و پژوهشگران غیربیولوژیست مانند مهندسان کامپیوتر، شیمی‌دانان، فیزیک‌دانان و مهندسان، بسیار ضروری می‌باشد (۱۵).

امنیت زیستی

امنیت زیستی به پیشگیری از استفادهٔ ناجور مانند از دست دادن، سرقت، انحراف یا رهاسازی عمدی پاتوژن‌ها، توکسین‌ها و دیگر مواد زیستی نظر دارد (۲۷). البته امنیت زیستی می‌تواند معنای برقراری هر دو نوع حفاظت را برای تضمین ایمنی زیستی و پیشگیری از کاربردهای نابکارانه را در بر داشته باشد. برای مثال، با سنتز ارزان DNA و توالی‌های ویروس در دسترس، این امکان وجود دارد که ویروس‌های آسیب‌زا را از طریق سفارش دادن پستی قطعات DNAای، سنتز نمود. پرسش‌های اخلاقی مربوط به امنیت زیستی شامل در نظر گرفتن چگونگی سبک و سنگین کردن سودمندی‌ها در برابر کاربردهای زیان بار بالقوهٔ آن است. این موضوع زیر عنوان «کاربرد دوگانه»[۳۳] مطرح می‌شود. به این معنا که یک پژوهش واحد می‌تواند برای اهداف خوب و هم بد به کار آید. به زبان دیگر، پژوهش و دستاوردهای آن می‌تواند برای اهداف زیان‌بخش ویژه‌ای به کار آید که نتایج آن بالقوه فاجعه‌آمیز خواهد بود. البته مسائل کاربرد دوگانه منحصر به بیولوژی سینتتیک نمی‌باشد ولی این شاخه از دانش، یک نمونه الگوی خوب برای نشان دادن موارد اخلاقی کاربرد دوگانه است (۳ و ۳۰). در همین راستا، موضوع «اخلاق دانش»[۳۴] طرح گردیده است؛ به این معنا که آیا ما مجاز هستیم که بعضی از انواع (که بالقوه بسیار می‌توانند زیان‌بخش باشند) را خلق و انتشار دهیم در حالی که بسیاری سودمندی‌ها را هم در خود نهفته داشته باشند. پرداختن به این پرسش می‌تواند بسیاری از مسائل کاربرد دوگانه را حل نماید (۳). امّا پژوهش‌های اخلاقی به صورت ژرف پیرامون مسئله «کاربرد دوگانه» بیولوژی سینتتیک بسیار محدود است و جامعهٔ آکادمیک و حاکمیتی می‌بایست به تجزیه و تحلیل موارد اخلاقی کاربرد دوگانهٔ فناوری‌های نو، به ویژه بیولوژی سینتتیک، به شکل عالمانه ای، ورود نماید (۱ و ۳۰).

این موضوع از این لحاظ اهمیت می‌یابد که کاربرد دوگانهٔ بیولوژی سینتتیک و محصولات آن با فعالیت تروریسم زیستی[۳۵]، در پیوند قرار می‌گیرد و موارد کاربردی این فناوری می‌تواند برای اهداف تروریستی و نظامی نیز به کار آید. زیرا در بیولوژی سینتتیک امکان ساخت ویروس‌ها و باکتری‌های خطرناک با امکانات ساده وجود دارد و از این رو امکان کاربرد نابکارانهٔ این فناوری فزونی می‌یابد. در سال ۲۰۰۲، پژوهشگران در یک آزمایشگاه در آمریکا، ویروس فلج اطفال را از توالی‌های DNA در دسترس تجاری، مونتاژ کردند. در سال ۲۰۰۵ نیز گروه دیگری در آمریکا ویروس منقرض شدهٔ آنفولانزای اسپانیایی را سنتز کردند. طرح این ویروس‌ها به چاپ رسید و در دسترس همگان قرار گرفت. این مثال‌ها نشان می‌دهند که ترس از کاربردهای نابکارانه در بیولوژی سینتتیک واقعی هستند و با افزایش تجاری‌سازی توالی‌های DNA و توسعهٔ این فناوری و برداشتن موانع فنی و مالی، امکان طراحی حملات

[33] Dual Use
[34] Ethics of Knowledge
[35] Bioterrorism

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]

تروریستی و کاربردهای دوگانه در بیولوژی سینتتیک، فزونی خواهد یافت (۶).

این در ماهیّت بیولوژی سینتتیک نهفته است که می توان به صورت تئوریک، طراحی DNA را از یک کامپیوتر در هر مکانی، بدون نظارت مقررات سازمانی، انجام داد (۲۲). نکتهٔ اساسی در این مورد آن است که نظارت و مراقبتی بر توالی DNA سفارش شده بر خریدار و خود توالی که جهت ساخت چه میکروارگانیسمی سفارش داده شده است، وجود ندارد. در گزارش جالب خبرنگار گاردین در سال ۲۰۰۶ آمده است که او توالی DNA ویروس آبله را سفارش داد و در خانهٔ خود آن را دریافت نمود و این حرکت نشان داد که مقررات خاصی بر تأمین توالی DNA حاکم نیست. در مقالهٔ نیوساینتیست پیرامون تأمین کنندگان توالی DNA، به این حقیقت اشاره شده که از ۱۲ شرکت پاسخ دهنده، فقط پنج شرکت گفتند که هر توالی دریافتی را مورد غربالگری قرار می دهند. چهار شرکت نیز بیان کردند که بعضی از توالی ها را غربالگری می کنند و سه شرکت باقیمانده نیز هیچ برنامهٔ غربالگری را رعایت نمی کردند. این دو گزارش نشان می دهند که چنانچه خریدار و توالی DNA مورد بازرسی قرار نگیرند، شرکت تأمین کنندهٔ توالی DNA، می تواند به راحتی مواد را جهت اقدامات تروریستی زیستی، در اختیار قرار دهد (۱۹).

بیولوژیست های سینتتیک باید مسئولیت تضمین این که کار آن ها حرکات بیوتروریستی را آسان نمی کند را بر عهده گیرند و یک کمیتهٔ مشاورهٔ اخلاقی نیز می بایست توسعه یابد. این مشاوره ها می بایست به آسانی در دسترس بوده و اصول محرمانه بودن را رعایت نمایند.

در هر صورت، اصول اخلاقی بیولوژی سینتتیک، کاملاً آشکار نبوده و با ادامهٔ بحث و جدل ها، تکامل این اصول ادامه خواهد داشت. از این رو توسعهٔ یک وب گاه اخلاقی جهت شفاف سازی تهدیدات زیستی بیولوژی سینتتیک، به گونه ای که اعضاء بتواند رخدادهای بالقوه و تهدیدات ایمنی زیستی را گزارش نمایند، می بایست بنیان گذاشته شود. تولید محتوای حرفه ای مانند استانداردهای رسمی، کدهای اخلاقی، گروه مشاوره ای و یک جامعهٔ تخصصی در این مورد، بسیار منطقی می باشد. همچنین بیولوژیست های سینتتیک ممکن است بتوانند راه حل هایی را برای مسائل اخلاقی در سطح طراحی ارائه دهند. بارکدهایی که تولید کنندهٔ ارگانیسم سینتتیک را مورد شناسایی قرار می دهند را می توان برقرار و مورد جستجو قرار داد (۱۹).

البته باید این را در نظر داشت که همهٔ اقدامات جهت کنترل کاربردهای بالقوهٔ نابکارانهٔ بیولوژی سینتتیک، از جمله خود حاکمیتی و مقررات قانونی، به شکل بنیادین به هوشیاری و آگاهی پژوهشگران و سیاست گذاران بستگی دارد. عدم آگاهی و نداشتن شواهد کافی پیرامون تهدیدات بالقوهٔ بیولوژی سینتتیک در عرصهٔ امنیت زیستی و در جامعهٔ علمی این شاخه از دانش، به صورت یک معضل خودنمایی می کند و برای غلبه بر این چالش، می بایست به صورت یک اولویت مورد توجه قرار داد؛ زیرا فقدان آگاهی پیرامون این خطرات امنیتی، می تواند اثرات مخرب غیرقابل پیش بینی ای را از خود نشان دهد (۱۹).

امروزه، بحثی جدی وجود دارد که آیا جامعهٔ آکادمیک می بایست نتایج پژوهش های خود را که می تواند در طراحی و ساخت پاتوژن های بیماری زا مورد استفاده قرار گیرند را به چاپ برساند یا خیر؟ گروهی معتقدند که با عدم چاپ این موارد و عدم آگاهی رسانی به جامعهٔ علمی، آن ها برای رویارویی با خطرات تروریسم زیستی و حفاظت بیولوژیک ناتوان می شوند زیرا ممکن است به این اطلاعات، تروریست های زیستی، از طریقی، دسترسی داشته باشند و برای منافع سودجویانهٔ خود

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]

استفاده نمایند و این در حالی باشد که جامعهٔ علمی به دلیل عدم دسترسی و نداشتن آمادگی از قبل، نتواند با این خطرات بالقوه رویارویی کند (۷). از دیدگاه علمی و اخلاقی، همهٔ شرکت‌هایی که می‌توانند توالی‌های طولانی DNA را سنتز نمایند، می‌بایست تمام توالی‌ها را برای توکسیسیتی یا عفونت‌زایی (در پیش از فرایند سفارش)، بررسی کنند. این موضوع به این اشاره دارد که بانک داده‌های توالی‌های DNA توکسیک و عفونت‌زا[۳۶] می‌بایست در دسترس باشد. می‌بایست این شرکت‌ها توانایی پیگیری توالی‌های خطرناک احتمالی را در پیش از سنتز داشته باشند. نرم‌افزاری تحت عنوان Black Watch با هدف پیگیری سنتز توالی DNAهایی که می‌توانند خطرناک باشند، به صورت آزاد، در دسترس می‌باشد. این نرم‌افزار و یا نرم‌افزارهای مشابه که در آمریکا طراحی شده‌اند، می‌توانند میلیون‌ها سفارش در ماه را در سراسر جهان، رصد کنند (۷).

نتیجه‌گیری

پیچیدگی و گستردگی قضایای اخلاقی در کاربرد محصولات بیولوژی سینتتیک، نشانگر آن است که می‌بایست اصول اخلاقی متمایزی را با کمک خبرگان علم اخلاق، حقوق و آینده‌پژوهان علم در گفتمان با جامعه مدنی تدوین نمود.

این مقاله تحت حمایت هیچ سازمان یا مؤسسه‌ای نمی‌باشد.

تضاد منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

References:

1.Biology, S. T. E. O. S. 27 Oct. Synthetics: The Ethics of Synthetic Biology. Centre for Ethics and Technology. (Accessed August, 2010, at https://www.stopogm.net/sites/stopogm.net/files/webfm/plataforma/synthetics322.pdf)
2.Issues U. S. P. C. F. T. S. O. B. New Directions: The Ethics of Synthetic Biology and Emerging Technologies. Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues, 2010 May.
3.Newson AJ. Synthetic Biology: Ethics, Exeptionalism and Expectations. Macquarie Law J 2015; 15: 45.
4.Douglas T, Savulescu J. Synthetic Biology and the Ethics of Knowledge. J Med Ethics 2010; 36(11): 687-93.
5.Stemerding D, Rerimassie V, Srinivas R, et al. Ethics Debates on Synthetic Biology in Three Regions. 2014, 1-49.
6.F. E. C. O. N. H. B. Synthetic biology - Ethical Considerations. Federal Ethics Committee on Non-Human Biotechnology. ECNH, 2010.
7.Nielson L. Ethics of Synthetic Biology. Ethics of Synthetic Biology by the European Group on Ethics in Science and New Technologies to the European Commission. Opinion No 25, European Commission, 2010, 1-109.
8.Deplazes A, Ganguli-Mitra A, Biller-Andorno N. The Ethics of Synthetic Biology: Outlining the Agenda. In: Schmidt M, Kelle A, Ganguli-Mitra A, Vriend H, editors. Synthetic Biology: The Technoscience and its Societal Consequences. Netherlands: Springer, 2010, 65-79.
9.Rogers W. Ethical Issues in Synthetic Biology:

[36] Database Directive

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]
[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]

A Commentary. Macquarie Law J 2015; 15: 39.
10.Bensaude Vincent B. Between the Possible and the Actual: Philosophical Perspectives on the Design of Synthetic Organisms. Futures 2013; 48: 23-31.
11.Boldt J. Synthetic Biology: Origin, Scope, and Ethics. Minding Nat J 2010; 3(1): 20-6.
12.Machery E. Why I stopped worrying about the definition of life…and why you should as well. Synthese 2012; 185(1): 145-64.
13.Registry of Standard Biological Parts. Registry of Standard Biological Parts - Wikipedia, The Free Encyclopedia. (Accessed April 8, 2018, at https://en.wikipedia.org/w/index.php?title= Registry _of_Standard_Biological_Parts&oldid=769710148)
14.International Genetically Engineered Machine. International Genetically Engineered Machine - Wikipedia, The Free Encyclopedia. (Accessed April 8, 2018, at https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=International_Genetically_Engineered_Machine&oldid=820088507)
15.OECD. Emerging Policy Issues in Synthetic Biology. Paris: OECD, 2014.
16.Parliament HO, P. O. O. S. A. Regulation of Synthetic Biology. Edward Elgar, 2014.
17.Bubela T, Hagen G, Einsiedel E. Synthetic Biology Confronts Publics and Policy Makers: Challenges for Communication, Regulation and Commercialization. Trends Biotechnol 2012; 30(3): 132-7.
18.Stemerding D, Rerimassie V. Ethics Debates on Synthetic Biology in the eu. 2013, 1-24.
19.Martin P, Balmer A. Synthetic biology: social and ethical challenges. Biotechnology and Biological Sciences Research Council, 2008.
20.Mercer D. iDentity and Governance in Synthetic Biology: Norms and Counter Norms in the International Genetically Engineered Machine (iGEM) Competition. Macquarie Law J 2015; 15: 83-103.
21.Schmidt M, Ganguli-Mitra A, Torgersen H, et al. A Priority Paper for the Societal and Ethical Aspects of Synthetic Biology. Syst Synth Biol 2009; 3(1-4): 3-7.
22.Mooallem J. Do-It-Yourself Genetic Engineering. New York Times, 2010, 10.
23.Schmidt M. Diffusion of Synthetic Biology: A Challenge to Biosafety. Syst Synth Biol 2008; 2(1-2): 1-6.
24.Dhyanastha K. How Synthetic Biology can Benefit from Open Source. Suyati. (Accessed December 10, 2015, at https://suyati.com/blog/how-synthetic-biology-can-benefit-from-open-source/)
25.Bentham HJ. An Open Source Future for Synthetic Biology. (Accessed september 9, 2014, at https://ieet.org/index.php/IEET2/ more/bentham20140909)
26.Nelson B. Synthetic Biology: Cultural Divide. Nature 2014; 509(7499): 152-4.
27.European Science Commission DG Sanco, Brussels. Synthetic Biology Workshop: From Science to Governance. 2010 March, 18-19.
28.Willemarck N, Pauwels K, Breyer D, et al. Synthetic Biology: Latest Developments, Biosafety Considerations and Regulatory Challenges. Biosafety and Biotechnology, 2013.
29.Wei W, Pei L, Xu J, et al. Biosafety Considerations of Synthetic Biology: Lessons Learned from. Curr Synthetic Sys Biol 2014; 2(3): 1-3.
30.Kelle A. 4. Synthetic Biology as a Field of Dual-Use Bioethical Concern. On the Dual Uses of Science and Ethics. 2013, 45-63.

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]

Iran South Med J 2019; 22(5): 347-363

Review Article

Ethical Debates on Synthetic Biology

***AR. Bolkheir** (MD)[1*], **I. Nabipour** (MD)[2,3**]*

[1] *Otolaryngology Research Center, Department of Otoloaryngology, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran*
[2] *The Persian Gulf Marine Biotechnology Research Center, The Persian Gulf Biomedical Sciences Research Institute, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran*
[3] *Future Studies Group, The Academy of Medical Sciences of the I.R. Iran*

(Received 17 Jul, 2019 Accepted 21 Sep, 2019)

Abstract

Background: As an emerging interdisciplinary area of science with a multitude of potential facilities and applications, synthetic biology integrates different disciplines with one another ranging from basic science to engineering. This interdisciplinary branch therefore encompasses sciences that require specific development and ethical approaches.

Materials and Methods: Science management principles were used to design the framework of discrete ethical issues of synthetic biology in terms of the creation, storage, distribution and application of synthetic biology.

Results: There is a debate over whether or not the artificial organisms created as living machines deserve ethical considerations. The free storage of knowledge as open libraries about manufacturing the parts, devices and biological systems is another issue. In this respect, technological gap and justice could also be debated. Biosafety and biosecurity are also important in applying synthetic biology, as this science is increasingly facing the community of garage biologists. In biosecurity, creating organisms with dual applications raises ethical issues regarding bioterrorism.

Conclusion: The complexity and broad scope of ethical issues regarding the application of synthetic biology products require that distinct ethical principles be developed in collaboration with experts in ethics and law and futurists in discourse with the civil community.

Keywords: Synthetic biology, biosecurity, biosafety, biological ethics, bioterrorism

©Iran South Med J.All right sreserved

Cite this article as: Bolkheir AR Nabipour, I. Ethical Debates on Synthetic Biology.Iran South Med J 2019;22(5):347-363

Copyright © 2019 Bolkheir, et al 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. Email: inabipour@gmail.com
*ORCID: 0000-0003-0877-2569
**ORCID: 0000-0002-1785-0883

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

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2025-12-19]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.347]