Modares Journal of Biotechnology. 2018;9(1):153-164

Assessing Future Biotechnology Innovation Pathways in Regards to its Convergence with the Other Emerging Technologies

ARTICLE INFO

Article Type
Systematic Review

Authors
Ahmadian A.A.[1] *MSc*,
Ghazinoory S.S. [2] *PhD*,
Saghafi F.* *PhD*,
Ghazinoori S.S.[3] *PhD*,
Mohammadi M.[4] *PhD*

How to cite this article
Ahmadian A A, Ghazinoory S S, Saghafi F, Ghazinoori S S, Mohammadi M. Assessing Future Biotechnology Innovation Pathways in Regards to its Convergence with the Other Emerging Technologies. Modares Journal of Biotechnology. 2018;9(1):153-164.

*Industrial Management Department, Management Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran
[1]Public Administration Department, Management Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran
[2]IT Management Department, Management & Economics Faculty, Tarbiat Modares Unuversity, Tehran, Iran
[3]Industrial Management Department, Management & Accounting Faculty, Allame Tabatabaei University, Tehran, Iran
[4]Industrial Management Department, Management Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran

Correspondence
Address: Industrial Management Department, Management Faculty, University of Tehran, Nasr Bridge, Jalale Ale Ahmad Highway, North Kargar Street, Tehran, Iran
Phone: +98 (21) 61117769
Fax: -
fsaghafi@ut.ac.ir

Article History
Received: February 13, 2018
Accepted: February 19, 2018
ePublished: March 20, 2018

ABSTRACT

Aims Emerging sciences and technologies have huge potential in the field of innovation; therefore, they should be protected against large uncertainties caused by unknown. The aim of this study was to evaluate biotechnology forecasting innovation pathways based on its convergence with other technologies.

Information & Methods In this systematic review, by the future-oriented assessment of biotechnology innovation pathways, future biotechnology strategies were developed at the national level. All potential applications of the future innovation pathways of this technology were identified in the combination and convergence with nanotechnologies, information, and cognitive science and technology. The strength and weakness of the effects and barriers in all areas of biotechnology were considered in terms of the short-, mid-, and long-term; in the same timeframe, the barriers to these technologies were identified in the field of combined dual technologies and ultimately for biotechnology itself, and future strategies for biotechnology were proposed based on 4 strategies, including ignorance, investment, exploitation, and opportunism.

Findings In the field of biotechnology- information technology- in the mid-term, the greatest impact was on improving the quality of human life, improving social outcomes, and increasing the level of innovation, and in the field of biotechnology- nanotechnology and biotechnology- cognitive science on improving the quality of human life, increasing security and defending power, and improving the positive social consequences.

Conclusion The highest number of applications is the mid-term. The "exploitation" strategy should be used in biotechnology- cognitive science and biotechnology- nanotechnology, respectively. The "investment" strategy should be the most widely used in the common areas of biology with information technology. In the common areas of biotechnology with nanotechnology and cognitive sciences, the most application is the "opportunism" strategy.

Keywords Biotechnology; Innovation pathways; Future-oriented Assessment; Converging Technologies

CITATION LINKS

[1] Techno-entrepreneurship in biotechnology ... [2] The impact of market forces on the sustainability of the biotechnology ... [3] Innovation and entrepreneurship in biotechnology, an international ... [4] Technical entrepreneurship in high technology small ... [5] Converging technologies for improving human performance: Nanotechnology ... [6] Status and prospect on converging technology ... [7] Wilson and the unification of ... [8] Socio cultural impacts of the fourth wave of scientific ... [9] The age of synthesis: From cognitive science to converging technologies ... [10] The influence of future-oriented technology analysis ... [11] New horizons and challenges for future-oriented technology ... [12] The role of future-oriented technology analysis in ... [13] Forecasting Innovation Pathways (FIP) for new and emerging science and ... [14] Tecnology assessment, strategic policy ... [15] Technology assessment as guidance to governmental ... [16] Integrating future-oriented technology analysis and risk assessment ... [17] Convergence of knowledge, technology and ... [18] Designing the future: NBIC technologies and human performance ... [19] Integrative technology for the twenty-first ... [20] The global technology revolution 2020, in-depth analyses: Bio/nano/materials/information ... [21] Vision for converging technologies and future ... [22] Collaborating on convergent technologies: Education and ... [23] Signal-transducing proteins for ... [24] Converging technologies for enhancing human performance ... [25] Using actor-network theory to identify the ... [26] Converging technologies for enhancing human performance ... [27] Path to bio-nano-information ... [28] The case for ... [29] Science and technology integration for ... [30] Progress in governance of converging ... [31] The emergence and policy implications of converging new ... [32] Possibilities for global governance of ...

Copyright© 2018, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

www.SID.ir

ارزیابی آینده مسیرهای نوآوری زیست‌فناوری براساس همگرایی آن با سایر فناوری‌ها

عباسعلی احمدیان MSc
گروه مدیریت دولتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
سیدسپهر قاضی‌نوری PhD
گروه مدیریت فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
فاطمه ثقفی* PhD
گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
سیدسروش قاضی‌نوری PhD
گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران
مهدی محمدی PhD
گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده
اهداف: علوم و فناوری‌های نوظهور و جدید، پتانسیل عظیمی در حوزه نوآوری دارند. بنابراین باید در برابر عدم قطعیت‌های بزرگی که به‌وسیله مجهولات ایجاد می‌شوند، حفاظت شوند. هدف پژوهش حاضر ارزیابی آینده مسیرهای نوآوری زیست‌فناوری براساس همگرایی آن با سایر فناوری‌ها بود.
اطلاعات و روش‌ها: در این پژوهش مروری سیستماتیک با ارزیابی آینده‌نگرانه مسیرهای نوآوری زیست‌فناوری، راهبردهای آینده این فناوری در سطح ملی تعیین شد. تمام کاربردهای بالقوه نشان‌دهنده مسیرهای نوآوری آینده این فناوری، در ترکیب و همگرایی با فناوری‌های نانو، اطلاعات و علوم و فناوری‌های شناختی مشخص شد. میزان شدت و ضعف اثرات و موانع در تمام بخش‌های فناوری زیستی در سه دوره زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت و نمودار اثرات- موانع فناوری‌های زیستی به‌صورت دوتایی ترکیبی و برای خود زیست‌فناوری، تعیین و در قالب راهبردهای چشم‌پوشی، سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و فرصت‌طلبی پیشنهاد شد.
یافته‌ها: در حوزه زیست‌فناوری- فناوری اطلاعات در میان‌مدت بیشترین تاثیر به‌ترتیب روی شاخص‌های بهبود کیفیت مطلوب زندگی انسانی، بهبود پیامدهای مثبت اجتماعی و افزایش رتبه نوآوری و در حوزه زیست‌فناوری- فناوری نانو و زیست‌فناوری- علوم شناختی روی شاخص‌های بهبود کیفیت مطلوب زندگی انسانی، افزایش قدرت امنیتی و دفاعی و بهبود پیامدهای مثبت اجتماعی بود.
نتیجه‌گیری: بیشترین تعداد کاربرد شامل بازه زمانی میان‌مدت است. راهبرد "بهره‌برداری" به‌ترتیب باید در حوزه‌های زیست‌فناوری- علوم شناختی و زیست‌فناوری- فناوری نانو استفاده شود. از راهبرد "سرمایه‌گذاری" باید بیشترین استفاده در حوزه‌های زیستی مشترک با فناوری اطلاعات صورت پذیرد. در حوزه‌های مشترک زیست‌فناوری با فناوری نانو و علوم شناختی نیز بیشترین استفاده از راهبرد "فرصت‌طلبی" است.
کلیدواژه‌ها: زیست‌فناوری، مسیرهای نوآوری، ارزیابی آینده‌نگرانه، فناوری‌های همگرا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۳۰
*نویسنده مسئول: fsaghafi@ut.ac.ir

مقدمه

زیست‌فناوری، مولود تلفیق علوم زیستی (بیوشیمی، ژنتیک، زیست‌شناسی و میکروب‌شناسی) و دانسته‌های پزشکی، کشاورزی و فنی- مهندسی است که مبتنی بر استفاده از موجودات زنده یا محصولات آنها برای تولید مواد، فرآورده‌ها، خدمات‌رسانی و رفع نیازمندی‌های بشر یا محیط زیست او است. همچنین طبق تعریف دیگری، زیست‌فناوری را می‌توان مجموعه‌ای از روش‌ها و فنون دانست که در آن از ارگانیزم‌های موجود زنده یا قسمتی از آنها برای تولید، تغییر فرآورده‌ها، بهینه‌سازی گیاهان و حیوانات و تولید میکروارگانیزم‌های جدید استفاده می‌شود. آنچه موجب شده تا زیست‌فناوری مورد توجه دولت‌ها و دخالت آنها در توسعه آن قرار گیرد، ویژگی‌های خاص این فناوری بوده که مهم‌ترین آنها به‌شرح زیر است[1]:

۱- زمان متوسط تا بلندمدت برای توسعه محصول؛ بدین معنی که فرآیند شناسایی هدف تا راه‌اندازی و عرضه به بازار ممکن است تا ۱۶ سال به طول بیانجامد.
۲- نیازمندی به سرمایه زیاد؛ در تقابل با فناوری اطلاعات که به ۳-۲میلیون دلار برای دستیابی به نرم‌افزار طراحی‌شده و توسعه‌یافته و ۶ تا ۱۲ ماه زمان برای عرضه آن به بازار نیاز است. در زیست‌فناوری، یک داروی معمولی با هزینه‌ای حدوداً ۱۵میلیون دلار، ۱۵ سال به طول می‌انجامد تا به بازار عرضه شود.
۳- نتایج غیرمترقبه تحقیقات زیست‌فناوری
۴- ضرورت قوانین تنظیم‌کننده فراوان
۵- نیازمندی به مهارت‌های گسترده و دانش تکنیکی
۶- یکی از پُرتحقیقات‌ترین صنایع دنیابودن[2]
۷- لزوم رعایت قوانین اخلاقی در بسیاری از موارد مانند آزمایش‌های انسانی و حیوانی[3]
۸- اهمیت بالای حفظ مالکیت فکری برای موفقیت
۹- پیوندهای محکم و اتحاد راهبردی با دانشگاه‌ها، موسسات و سایر شرکت‌های زیستی
۱۰- افزایش نیاز به سرمایه و منابع در طول حیات شرکت یا سازمان[4]

جایگاه فعلی بیوتکنولوژی در ایران با توجه به گذشت دو دهه از تولد آن و انتظاری که از آن وجود داشته، نشان‌دهنده کمبودهایی در عرصه‌های مختلف رشد به‌خصوص مهندسی علوم زیستی است. نظر به نزدیک‌بودن پایه‌های علمی این فناوری به مرزهای دانش و همچنین نیاز به استفاده از آن در عرصه‌های مختلف و با توجه به پتانسیل‌های بالقوه آن، لزوم انجام تحقیقات با ویژگی‌های خاص در این فناوری محرز است[3]. اما برای این که تعیین شود دولت در چه زمینه‌هایی بهتر است از این فناوری حمایت نماید، نیاز به ارزیابی و آینده‌نگاری دارد تا از آن بتوان راهبردهای آینده زیست‌فناوری را استخراج نمود. زمینه‌های اصلی آینده زیست‌فناوری، حرکت به سمت همگرایی با چندین فناوری دیگر است که به آنها فناوری‌های همگرا گفته می‌شود. فناوری‌های همگرا اولین بار در دسامبر سال ۲۰۰۱ در نشستی در خصوص تجمیع فناوری به‌صورت مشترک توسط وزارت تجارت (DOC) و بنیاد ملی علوم آمریکا (NSF) مطرح شد که منظور از آن چهار فناوری زیست‌فناوری، نانوفناوری، فناوری اطلاعات و علوم شناختی بوده است[5]. رابطه تکاملی بین چهار فناوری بدین صورت توضیح داده می‌شود که اگر کارآزمودگان علوم شناختی بیاندیشند و کارشناسان نانوفناوری این اندیشه‌ها را بسازند، با هدایت و نظارت فناوری اطلاعات، اندیشه‌ها در حوزه زیست‌فناوری به کار گرفته می‌شوند[6]. فناوری‌های همگرا به مجموعه چهار فناوری شامل اطلاعات، زیستی، شناختی و نانو گفته می‌شود که قادرند در هم‌افزایی و یکپارچگی با هم به نیازهایی از آدمی پاسخ گویند که تاکنون فناوری‌های دیگر قادر به آن نبوده‌اند. این قابلیت بی‌بدیل فناوری‌های همگرا، نتیجه ویژگی‌های ممتاز این فناوری‌ها و قابلیت همگرایی آنها است[7]. در همگرایی اجزای هر یک از این فناوری‌ها شامل سلول‌ها در بیوتکنولوژی، اتم‌ها در نانوفناوری، بیت‌ها در فناوری اطلاعات و نرون‌ها در فناوری شناختی یکپارچه

Archive of SID
www.SID.ir

می‌شوند. فناوری‌های همگرا ویژگی‌های بارزی دارند. ویژگی اول این است که این فناوری‌ها به‌شدت مکمل یکدیگرند و فناوری‌های همگرا اشتراک مواد است. تجمیع فناوری بر پایه مقیاس نانو بوده و این فناوری، بیولوژی و خصوصاً سیستم عصبی را به‌عنوان هدف در نظر گرفته و فناوری اطلاعات، ابزار آشکارسازی و افزایش هوشمندی آن است[8]. ویژگی دیگر فناوری‌ها این است که پیشران توسعه اجتماع بشری هستند و به‌طور فعالانه، نه‌تنها فناوری‌های پیشرفته جدید و صنایع جدید را برای تغییر ساختار صنعت و توسعه اجتماعی- اقتصادی تولید می‌کند، بلکه راه زندگی و شناخت را تغییر می‌دهد و دور جدیدی از انقلاب علمی و فناوری را راه می‌اندازد[6]. *پایا* معتقد بوده است که تاثیر فناوری‌های همگرا چنان فراگیر و بنیادین خواهد بود که دسته‌ای از متفکران و پژوهشگران به آن موج چهارم تمدن بشری می‌گویند و چشم‌انداز تحولاتی که از رهگذر فناوری‌های همگرا تحقق خواهد یافت بسیار شگرف و بنیادین خواهد بود[8]. *کای* معتقد بوده که فناوری‌های همگرا از پتانسیل ایجاد تغییری اساسی در بشریت برخوردار است[9]. فناوری‌های همگرا در حال حاضر به‌سرعت در حال رشد است و کشورهای مختلف در حال برنامه‌ریزی و استفاده از مزایای این فناوری‌ها و تمهیداتی برای مواجهه با ریسک‌های احتمالی این فناوری‌ها هستند. لذا لازم است این موضوع در ایران نیز مورد توجه قرار گیرد.

ارزیابی آینده‌نگرانه فناوری (FTA) به‌عنوان یک نگرش در حال رشد فزاینده مطرح بوده و در بسیاری از کشورها برای نشان‌دادن بسیاری از چالش‌هایی که امروزه در حال ظهور است، استفاده می‌شود. دولت به هدایتگری برنامه‌های آینده‌نگاری نیاز دارد که بر مشتری مشخص متمرکز و موفق شود. علاوه بر آن بین برنامه آینده‌نگاری (عناوین فناوری‌های کلیدی و فرآیند) و ارزیابی که حاصل آن دستورات سیاستی دولت خواهد بود، ارتباط مشخصی وجود داشته باشد[10]. *اسکاپولو* معتقد بوده که سه جزء اصلی این ارزیابی شامل بافتار، محتوی و فرآیند است. بافتار، عامل تعیین‌کننده در شکل‌دهی محتوی و فرآیند است. بافتار از شکل روندها تاثیر می‌پذیرد و با بررسی روندها مشخص می‌شود که تفاوت‌های تمرکز کشورها در مراحل مختلف توسعه اقتصادی خود در چه بوده است. کشورهایی با سطح اقتصادی پایین‌تر بیشتر بر ابعاد اجتماعی- اقتصادی و کشورهایی که توسعه‌یافته‌تر هستند، بیشتر بر ابعاد فنی- اقتصادی تمرکز می‌کنند[11]. محتوی به‌طور فزاینده‌ای با کشش بازار مرتبط بوده است و بیشتر روی این تاکید دارد که چگونه فناوری باید استفاده شود تا پاسخگوی نیازهای آینده باشد. موضوع دیرینه نیاز به مشارکت تصمیم‌سازان نیز مجدداً تاکید می‌شود. عامل فرآیند نیز بر اهمیت مدیریت فرآیند برای آینده‌نگاری و نیاز به پذیرش یک نگرش نظام‌مند در تجمیع بافتار، محتوی و فرآیند تاکید می‌کند[11]. از نظر *شاپر- رینکل* ارزیابی‌های آینده‌نگرانه فناوری، یک اصطلاح جامع برای مجموعه وسیعی از فعالیت‌هایی است که تصمیم‌سازی و اقدام هماهنگ را خصوصاً در علم، فناوری و سیاست‌گزاری نوآوری تسهیل می‌نماید[12]. از طرفی زیست‌فناوری را به‌راحتی نمی‌توان با روش ارزیابی آینده‌نگرانه متداول ارزیابی نمود، چرا که فناوری‌های جدید و نوظهور با عدم قطعیت‌ها، افق‌ها و بعضی مواقع نگرانی‌هایی محصور شده که مهم‌ترین دلایل آن به‌شرح زیر است:

۱- این فناوری هم جدید است و هم به‌سرعت رشد می‌کند.

۲- بازه کاربردها و بازارها از ناموجود تا نسبتاً پیشرفته است.

۳- دانش در بسته‌های مجزایی از تحقیق و توسعه ظهور می‌کند که معمولاً هم جامعه آن مشخص نیست.

۴- اهداف و افق‌های گوناگونی بسط و توسعه یافته است.

۵- جایگاه ذاتی بسیاری از فناوری‌های جدید بدان معنی است که مسیرهای گوناگون کاربردهای مختلف، ممکن است.

بنابراین لازم است که در ارزیابی آن از کاربردهای بالقوه‌اش استفاده شود که این امر مسیرهای نوآوری آتی را نشان خواهد داد[13].

رابینسون در حوزه فناوری‌های نوین و نوظهور مدلی را در خصوص ارزیابی فناوری ارایه داده است که شاید مرتبط‌ترین مدل به حوزه زیست‌فناوری باشد. در این کار ابتدا ویژگی علوم و فناوری‌های جدید بررسی و براساس آن مدلی ارایه شده است. *رابینسون* یک چهارچوب برای تحلیل علوم و فناوری نوظهور پیشنهاد کرده است که برای تعیین مسیرهای نوآوری مشابه کمک می‌نماید. وی یک چهارچوب چندمرحله‌ای بر پایه تجارب قبلی ارزیابی آینده‌نگرانه پیشنهاد می‌دهد که می‌تواند برای حمایت تصمیم‌سازی استفاده شود[13]. در این روش ارزیابی براساس پاسخ به سئوالات زیر انجام شده است:

۱- چگونه بهترین کنترل را روی وضعیت توسعه علوم و فناوری‌های جدید داشته باشیم؟

۲- چه چیدمان داده و تحلیل‌هایی برای ارزیابی زمینه‌های نوظهور فناوری مورد نیاز است؟

۳- چگونه می‌توان بهترین ارزیابی و تحلیل توضیح‌داده‌شده بالا را انتخاب کرد؟

۴- چگونه ارزیابی‌ها به‌صورت موجز درآورده و گزارش‌ها برای استفاده تصمیم‌سازان تولید شود.

این سئوالات منجر به مدلی شده که شامل چهار مرحله فهم، تعیین مشخصات و ارتباط، تصویر، ارزیابی و گزارش است[13]. با بررسی مدل‌های قبلی ارزیابی فناوری و ارزیابی آینده‌نگرانه فناوری مانند مدل‌های *قاضی‌نوری*[14]، *کوتس*[15]، *کویویستو*[16] و *رابینسون*[13] که در زمینه فناوری‌های نوین و نوظهور ارایه شده است، مشخص می‌شود که هر روش به قسمتی خاص در ارزیابی در حوزه فناوری‌های جدید تاکید می‌نماید. در واقع چهارچوب همه این روش‌ها یکسان است. اما روش *کویویستو* بر درنظرگرفتن موانع و ریسک‌ها تاکید دارد که باید مد نظر قرار گیرد. همچنین روش *رابینسون* به‌دلیل ویژگی آینده‌گرابودن، مسیرهای نوآوری آینده را بررسی نموده است که باید در مدل لحاظ شود.

فناوری‌های نوین که زیست‌فناوری نیز یکی از آنها بوده، دارای دینامیک بافتاری است. ماهیت دینامیک فناوری‌های همگرا ناشی از نوآوری‌ها و تغییرات سریع آن بوده و روندها روی بافتار آنها تاثیرگذار است. به عبارت دیگر سطح بلوغ این فناوری‌ها و دینامیک‌های بافتاری آن به‌گونه‌ای است که می‌تواند روی روندها اثر بگذارد و روندها نیز مسیرهای نوآوری بالقوه فناوری را متاثر می‌سازند. از این رو باید در ارزیابی از سیستم‌هایی استفاده شود که نشان‌دهنده روابط فنی- اجتماعی فناوری باشد. بدین منظور در حوزه فنی از کاربردهای بالقوه و مسیرهای نوآوری این فناوری‌ها استفاده می‌شود و در حوزه بررسی اجتماعی نیز باید دینامیک‌های بافتاری تاثیرات اجتماعی و موانع و چالش‌ها در نظر گرفته شود. درنظرگرفتن همزمان این دو قسمت فنی (کاربردها و مسیرهای نوآوری) و حوزه اجتماعی (تاثیرات اجتماعی، موانع و چالش‌ها) یک سیستم روابط فنی- اجتماعی شکل می‌دهد که با توجه به دینامیک این فناوری برای ارزیابی لازم و راهگشا خواهد بود. در

Archive of SID

www.SID.ir

نهایت تاثیرات اجتماعی، موانع و چالش‌های این فناوری‌ها، دورنمای مسیرهای نوآوری و کاربردهای بالقوه در قالب تقویت یا تشدید تاثیرات اجتماعی و موانع استخراج می‌شود.

نخستین چیزی که باید پیش از شروع ارزیابی فناوری مشخص شود، فناوری مورد مطالعه و سپس قلمروی ارزیابی است. آیا صرفاً باید بر یک فناوری متمرکز شد یا باید به خوشه بزرگی از فناوری‌ها که اهداف مرتبطی را محقق می‌سازند توجه کرد؟ اگر ارزیابی در قلمروی محدودی انجام شود، بعید است بتوان نتایج آن را تعمیم داد و اگر در قلمروی گسترده‌ای انجام شود، امکان اجرای آن بسیار دشوار است. از طرف دیگر وقتی در مورد قلمروی ارزیابی صحبت می‌شود، باید افق زمانی نیز مشخص شود. افق زمانی بلندمدت با عدم قطعیت‌های زیادی همراه بوده است و افق زمانی کوتاه‌مدت نیز چه‌بسا برای تشخیص جنبه‌های واقعاً مهم یک مساله کافی نباشد. پس اولین سئوال این است که موضوع، قلمرو و افق زمانی ارزیابی چیست؟ با توجه به تعریف فناوری زیستی و فناوری‌های همگرا از تعریف مجدد آنها در این قسمت اجتناب می‌شود. طرف‌های ذی‌نفع این مساله تمام بازیگران حوزه سیاست‌گزاری علم و فناوری ایران شامل شورای عالی انقلاب فرهنگی، معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری، شورای عتف و مجمع تشخیص مصلحت نظام است. البته در دید جامع، ذی‌نفعان اصلی این ارزیابی، مردم هستند که نتایج حاصل از به‌کارگیری فناوری‌های مناسب در تمام ابعاد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی آنها تاثیرگذار خواهد بود. براساس مطالب ذکرشده، هدف پژوهش حاضر ارزیابی آینده مسیرهای نوآوری زیست‌فناوری براساس همگرایی آن با سایر فناوری‌ها بود.

اطلاعات و روش‌ها

در پژوهش مروری سیستماتیک حاضر ابتدا چهارچوبی برای ارزیابی فناوری‌های زیستی، استخراج و براساس آن و در راستای ارزیابی مسیرهای نوآوری آن در آینده، خروجی هر یک از مراحل چهارچوب تعیین شد. این مطالعه در بُعد گستره مکانی، در ابتدا وضعیت جهانی را بررسی کرد و سپس با استفاده از مسیرهای نوآوری فناوری‌های زیستی براساس فناوری‌های همگرا و کاربردهای بالقوه آنها، چهارچوبی در راستای بررسی وضعیت داخل ایجاد کرد و به ارایه راهکارهای سیاستی در کشور پرداخت. حوزه‌های تاثیر این ارزیابی شامل حوزه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی بود. افق زمانی مساله ارزیابی فناوری‌های همگرا در سه بازه زمانی کوتاه‌مدت (۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹)، میان‌مدت (۱۴۰۰ تا ۱۴۰۴) و بلندمدت (بعد از ۱۴۰۴) بود و مشخص شد که هر افق زمانی با چه موانعی مواجه بوده است و بر چه شاخص‌های اجتماعی تاثیر مثبت می‌گذارد.

با درنظرگرفتن ویژگی‌های فناوری‌های همگرا (در قالب سیستم فنی- اجتماعی) مدلی ترکیبی به دست آمد که در قالب فرآیند زیر اجرا شد:

۱- تعریف مساله

۲- فهم ویژگی‌های فناوری و استخراج ریسک‌ها و موانع (توصیف فناوری، تعیین مشخصات طبیعت فناوری و تعیین موانع و چالش‌های فناوری)

۳- سنتز و مدل‌سازی وضعیت جامعه و پیش‌بینی آینده آن (بررسی مسیرهای نوآوری، تعیین کاربردهای بالقوه و توصیف وضعیت کاربردها و پیش‌بینی آینده آن)

۴- تحلیل اثرات و موانع (شناسایی، تحلیل و برآورد اثرات)

۵- تبدیل به نتایج قابل فهم (مدل‌های قابل تحلیل و تصویر و ارزیابی دورنمای مسیرهای نوآوری)

۶- تحلیل سیاست‌ها و ارایه راهبرد

فهم ویژگی‌های فناوری و استخراج ریسک‌ها و موانع: مرحله اول، فهم ویژگی‌های فناوری و استخراج ریسک‌ها و موانع آن بود. روش گردآوری داده‌ها در این مرحله ابتدا مرور ادبیات و مبانی نظری بود که سپس با مصاحبه تکمیل شد. پس از تدوین ویژگی‌های طبیعی زیست‌فناوری و چالش‌های آن، به‌منظور بررسی روایی آن، با ۵ نفر از متخصصانی که حداقل در یک حوزه علاوه بر زیست‌فناوری، تخصص و تولیدات علمی داشتند، مصاحبه‌های عمیق و با ساختار و سئوالات مشخص انجام شد. طی مصاحبه با متخصصان تلاش شد تا ویژگی‌ها و چالش‌های مستخرج، بررسی و مشخص شود که آیا آنها کامل بوده است یا می‌توان مواردی به آنها اضافه نمود. در مرحله تعیین مشخصات طبیعت فناوری با استفاده از ویژگی‌ها و تاثیرات این فناوری‌ها، هشت ویژگی و تاثیر آنها نهایی شدند که در مرحله فهم ویژگی‌های این فناوری در چهارچوب ارزیابی منجر به توصیف زیست‌فناوری شد (جدول ۱). همچنین در همین مرحله موانع و چالش‌های فناوری نیز استخراج شد (جدول ۲).

جدول ۱) مشخصات طبیعی زیست‌فناوری

ردیف	نام ویژگی	منابع
۱	بهبود کیفیت مطلوب زندگی انسانی	[5-7, 17-20, 21-24]
۲	بهبود و پیامدهای مثبت اجتماعی	[5, 6, 12, 22, 25]
۳	رشد اقتصادی ملموس	[5, 14, 26, 22]
۴	افزایش قدرت امنیتی و دفاعی	[6, 12, 27-29]
۵	پیشرفت پُرسرعت علمی	[14, 17, 22, 30]
۶	دستیابی به توسعه پایدار	[20, 22]
۷	افزایش رتبه نوآوری کشور	[17-19]
۸	شناسایی بهتر محیط زیست	[31, 32]

جدول ۲) موانع عمومی زیست‌فناوری

ردیف	چالش	منابع
۱	عدم وجود فرهنگ استفاده از این فناوری	[7, 26, 23]
۲	محدودیت منابع مالی	[5, 16]
۳	عدم وجود قوانین مناسب برای به‌کارگیری فناوری	[5, 6, 12, 26, 27]
۴	درنظرگرفتن افکار عمومی و همه ذی‌نفعان در طراحی و توسعه این فناوری‌ها	[5, 6, 16, 28-30]
۵	درک اجتماعی و مقبولیت فناوری‌های همگرا	[30-32]
۶	تجاری‌سازی فناوری‌های همگرا	[7, 18]
۷	تاکید بیش از حد بر استفاده گسترده از عنوان فناوری همگرا	[25, 27]

مدل‌سازی وضعیت جامعه و پیش‌بینی آینده آن: این مرحله شامل بررسی مسیرهای نوآوری، تعیین کاربردهای بالقوه و توصیف وضعیت کاربردها و پیش‌بینی آینده آن بود. در راستای گام اول، کاربردهای بالقوه این فناوری که مسیرهای آتی نوآوری این فناوری بود، استخراج شد. با توجه به این که براساس نظریه فناوری‌های همگرا، زیست‌فناوری در حال حرکت به سمت تجمیع با سه فناوری نانو، فناوری اطلاعات و علوم و فناوری‌های شناختی است، بنابراین تمام کاربردهای بالقوه‌ای که نشان‌دهنده مسیرهای نوآوری آینده این فناوری باشد، در ترکیب با این سه فناوری نمایان خواهد

www.SID.ir
Archive of SID

شد. ویژگی این فناوری‌ها این است که به‌طور فعالانه توسعه اجتماع بشری را به پیش می‌راند که نه‌تنها فناوری‌های پیشرفته جدید و صنایع جدید برای ساختار صنعت و اجتماعی- اقتصادی تولید می‌کند، بلکه راه زندگی و شناخت را تغییر می‌دهد و دور جدیدی از انقلاب علمی و فناوری را به راه می‌اندازد[6]. همچنین ترکیب این فناوری‌ها دارای دو خصوصیت یکپارچگی و هم‌افزایی است. یکپارچگی به این معنی است که فناوری‌های همگرا در اهداف، مواد ساخت و کاربردها یکی می‌شوند. خصوصیت دیگر این ترکیب، هم‌افزایی میان آنهاست، بدین معنی که با یکی‌شدن این فناوری‌ها می‌توان به قابلیت‌ها و کاربردهایی دست یافت که پیش از این ممکن نبوده است. با توجه به ویژگی‌ها، مسیرهای آینده زیست‌فناوری در ترکیب این سه فناوری است. بر این اساس کاربردهای بالقوه از ترکیبات دوتایی زیست‌فناوری با سه فناوری دیگر استخراج شد. در این مرحله اطلاعات کاربردهای بالقوه و مسیرهای نوآوری به‌صورت میدانی و کتابخانه‌ای، گردآوری و به‌منظور بررسی روایی آن، با ۵ نفر از متخصصانی که حداقل در یک حوزه علاوه بر زیست‌فناوری، تخصص و تولیدات علمی داشتند، مصاحبه‌هایی با سئوالات مشخص انجام شد.

در مرحله دوم به‌منظور توصیف وضعیت کاربردها و پیش‌بینی آینده آنها، این کاربردهای بالقوه و مسیرهای نوآوری با نظر خبرگان از دیدگاه اهمیت به‌عنوان فناوری‌های آینده ایران بررسی شد. جامعه آماری این مرحله پژوهش، تمامی متخصصان زیست‌فناوری، نانوفناوری، فناوری اطلاعات و علوم و فناوری‌های شناختی تعریف شد. این افراد تمام اعضای انجمن زیست‌فناوری، انجمن ژنتیک، متخصصان نانوفناوری مرتبط با ستاد توسعه نانو، متخصصان، فارغ‌التحصیلان و دانشجویان پژوهشکده علوم شناختی و هیات علمی پژوهشکده فناوری اطلاعات را شامل می‌شد که تا زمان انجام این پژوهش، تعداد آنها بیش از ۵۰۰ نفر بود. از آنجا که در توسعه شاخص‌های ترکیبی، هر چه تعداد نمونه بیشتر باشد بهتر است، لذا بدون انجام نمونه‌گیری تلاش شد تا پرسش‌نامه مربوطه برای کلیه متخصصان دردسترس ارسال شود و در نهایت نیز اطلاعات از طریق پرسش‌نامه جمع‌آوری شد.

نظرات خبرگان براساس آزمون T تک‌نمونه‌ای با نرم‌افزار SPSS 22 ارزیابی شد که خروجی این آزمون نشان داد کدام فناوری‌ها در جامعه آینده در ایران از دید خبرگان تایید شدند.

تحلیل اثرات و موانع: در گام بعدی ارزیابی آینده‌نگرانه فناوری به این سئوال پرداخته شد که توسعه و به‌کارگیری زیست‌فناوری ممکن است چه اثرات مثبت (اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی) و چه خطرات یا پیامدهای نامطلوبی را به‌دنبال داشته باشد؟ تشخیص این پیامدهای مثبت و موانع نامطلوب بسیار بااهمیت است. موانع فناوری نیز همچون مزایای آن بسیار بحث‌برانگیز است. به هر حال باید به تمامی پیامدهای جانبی فناوری و هچنین تاثیراتی که ممکن است زنجیره‌ای از رویدادهای غیرقابل پیش‌بینی و پُرمخاطره را فعال سازند، توجه کرد. پیامدهای فناوری را باید هم به‌صورت کمّی و هم کیفی ارزیابی نمود. به‌طور کلی پیامدهای قابل اندازه‌گیری را می‌توان با روش‌های کمّی بررسی کرد، ولی در مورد پیامدهای غیرقابل اندازه‌گیری، تحلیل‌های کیفی مناسب‌تر است. پس سئوال اصلی در این گام، ارزیابی آینده‌نگرانه آن است که فناوری چه اثرات مثبت و چه موانعی در بر دارد؟

در این مرحله شناسایی، تحلیل و برآورد اثرات زیست‌فناوری از دیدگاه تاثیرات و موانع به‌طور جداگانه بررسی شد. در این حوزه مشخص شد که تمام کاربردهای بالقوه (۳۹ مورد)، حوزه دوتایی از ترکیب فناوری (سه حوزه) و در نهایت زیست‌فناوری هر کدام در سه دوره زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت چگونه روی شاخص‌های جامعه تاثیر گذاشته است و چه میزان از موانع تاثیر پذیرفته و متوقف شدند.

تبدیل به نتایج قابل فهم، نمودار اثرات- موانع: در این مرحله از ارزیابی دورنمای مسیرهای نوآوری که حاصل نسبت اثرات مثبت به موانع به‌صورت کمّی و کیفی روی کاربردهای بالقوه بود، در نمودار اثرات- موانع نمایش داده شد. تمام کاربردهای بالقوه در قالب حوزه دوتایی ترکیب زیست‌فناوری با سه فناوری دیگر، حوزه تجمیع‌یافته زیست‌فناوری در دو دوره زمانی میان‌مدت و بلندمدت روی نمودار اثرات- موانع که نشان‌دهنده میزان شدت اثر روی اجتماع و میزان تاثیرپذیری از موانع بود، نشان داده شد. نتایج زیربنای پیشنهاد راهبرد بر مبنای مهم‌ترین حوزه‌های اثرگذاری موانع زیست‌فناوری بود (نمودارهای ۴-۱). با توجه به نمودار اثرات- موانع و دخالت دو عامل اثرات مثبت این فناوری‌های همگرا و موانع بر سر راه آنها، نمودار براساس اثرات زیاد و کم و همچنین موانع زیاد و کم به چهار ناحیه، تقسیم و برای هر ناحیه راهبردی پیشنهاد داده شد. این چهار راهبرد شامل چشم‌پوشی، سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و فرصت‌طلبی به‌شرح زیر بودند:

۱- راهبرد چشم‌پوشی: این راهبرد به شاخه‌هایی اختصاص می‌یابد که اثرات بالایی نداشته و در عین حال ایران نیز در این زمینه‌ها با موانع بسیاری مواجه است. چشم‌پوشی بدان معنی است که کشور گرایش تجاری‌سازی و استفاده در این شاخه از فناوری‌های همگرا را نداشته و از سرمایه‌گذاری و اختصاص بودجه در این حوزه چشم‌پوشی نماید.

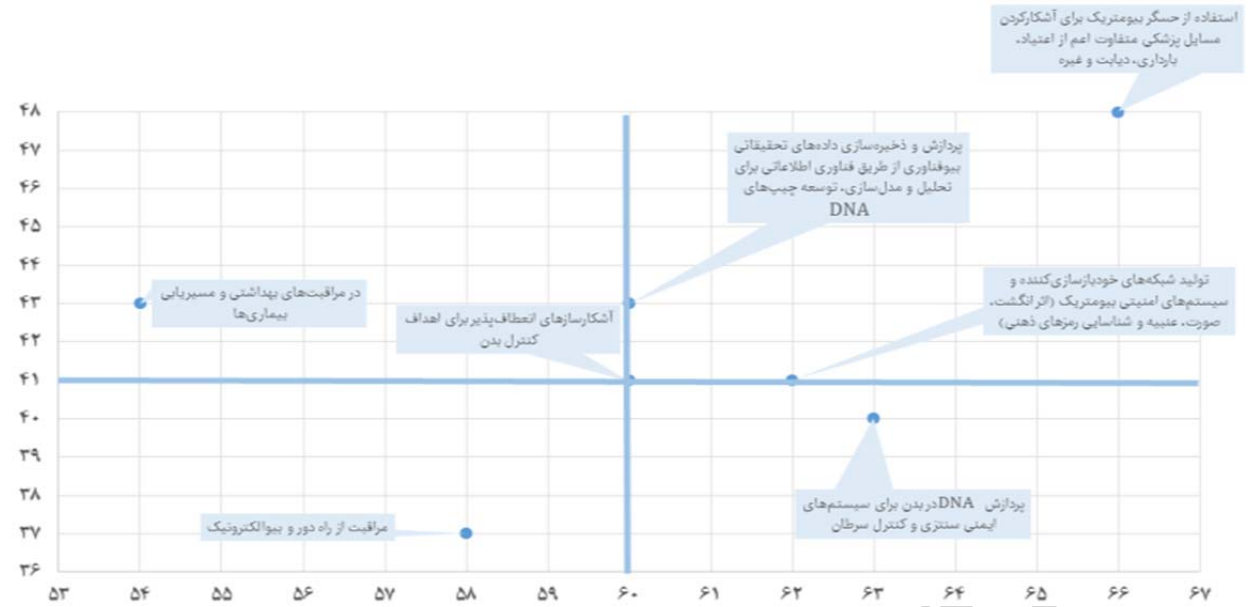
۲- راهبرد سرمایه‌گذاری: در شاخه‌هایی از فناوری‌های همگرا که موانع زیادی برای کشور داشته، اما از اثرات زیادی نیز برخوردار است، راهبرد کلی سرمایه‌گذاری در این حوزه است. بدین معنی که به این فناوری‌ها بودجه اختصاص یابد و سرمایه‌گذاری شود و از این طریق امکان وقوع پیشرفت‌های آتی را در صورت نیاز حفظ نمایند.

۳- راهبرد بهره‌برداری: این راهبرد به شاخه‌هایی از فناوری‌های همگرا تخصیص می‌یابد که اثرات زیادی برای کشور داشته، اما از موانع کمی برخوردار است. این شاخه‌ها در حقیقت اهرم‌های اصلی توسعه کشور در زمینه فناوری‌های همگرا بوده و توجه به آنها ضروری است. به عبارت دیگر کشور باید توان خود را در این شاخه‌ها حفظ نماید تا به اهداف بلندمدت خود دست یابد. البته با توجه به تحولات فناوری‌های همگرا در کشور باید با استفاده از قابلیت‌های بالای کشور در این شاخه‌ها، خود را با پیشرفت‌های روز دنیا هماهنگ کرد و حتی‌الامکان در عرصه‌هایی گوی سبقت را از دیگر کشورها برباید.

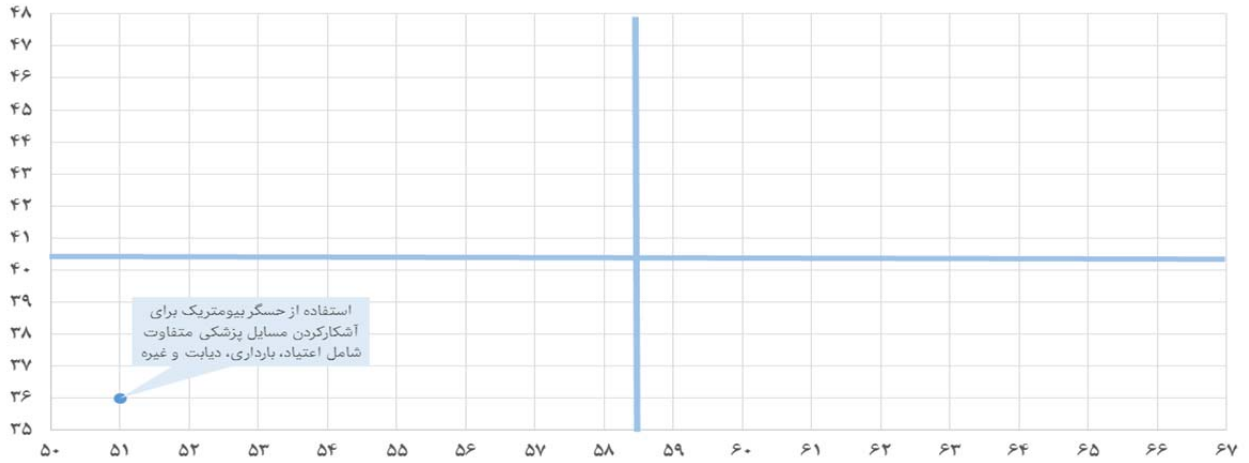
۴- راهبرد فرصت‌طلبی: زمانی که اثرات فناوری‌های همگرا کم بوده، اما موانع بر سر راه آنها نیز کم باشد، باید از راهبرد فرصت‌طلبی استفاده شود. در این راهبرد بدون نیاز به سرمایه‌گذاری بالا و اختصاص بودجه کلان، پژوهشگران و متخصصان این حوزه‌ها از طریق پیگیری مقالات و اطلاعات علمی و تجاری جهان، خود را با دانش روز دنیا هماهنگ کرده و در صورت مشاهده فرصت مناسب برای کشور در آن حوزه ورود نمایند.

Archive of SID

www.SID.ir



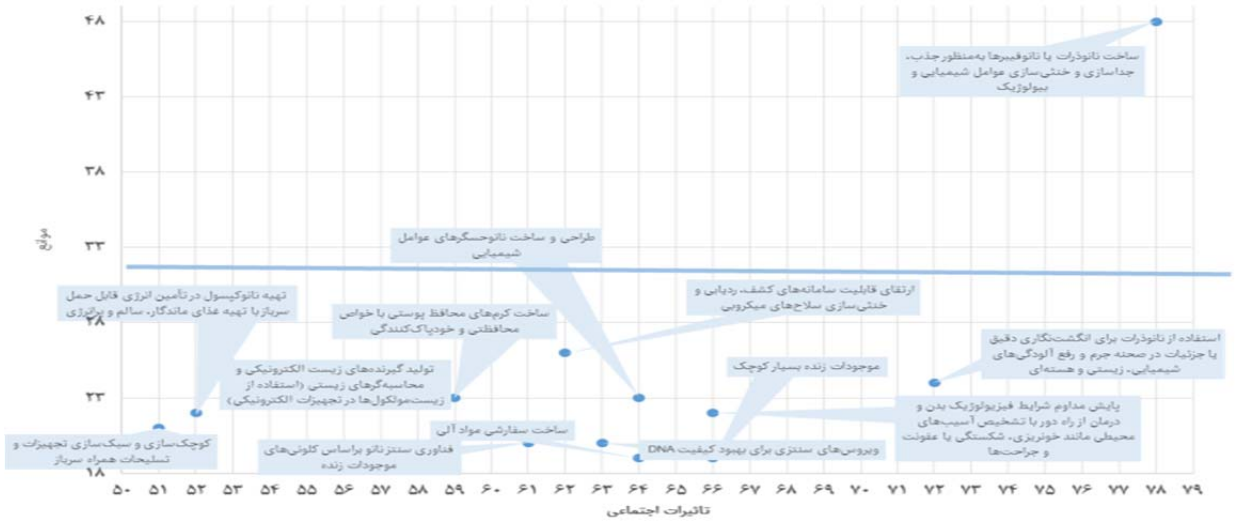
نمودار ۱) نمودار تاثیرات- موانع در حوزه زیست‌فناوری- فناوری اطلاعات (BI) در میان‌مدت



نمودار ۲) نمودار تاثیرات- موانع در حوزه زیست‌فناوری- فناوری اطلاعات (BI) در بلندمدت

نمودار ۳) نمودار تاثیرات- موانع حوزه زیست‌فناوری- علوم شناختی (BC) در میان‌مدت

www.SID.ir



نمودار ۴) نمودار تاثیرات- موانع حوزه زیست‌فناوری- فناوری نانو (NB) در میان‌مدت

یافته‌ها

با توجه به ماهیت فناوری‌های همگرا، مدلی اختصاصی برای ارزیابی آینده‌نگرانه فناوری زیستی ارایه و با سایر روش‌ها مقایسه شد (جدول ۳).

در کاربردهای بالقوه و مسیرهای نوآوری با نظر خبرگان، کاربردهای بالقوه‌ای که تایید نشدند، حذف شدند و فناوری‌های تاییدشده به‌عنوان وضعیت پیش‌بینی این فناوری در آینده بودند. همچنین در نظرخواهی در خصوص زمان تحقق‌پذیری هر کدام از فناوری‌های زیستی تاییدشده از خبرگان، هیچ یک از فناوری‌ها در بازه زمانی کوتاه‌مدت قرار نگرفتند. در حوزه فناوری زیستی- فناوری اطلاعات، تنها کاربرد بالقوه "کنترل میزان هیجان" در بازه بلندمدت قرار گرفت. سایر کاربردهای بالقوه تماماً در بازه زمانی میان‌مدت واقع شدند.

جدول ۳) مقایسه روش ارزیابی آینده‌نگرانه و ارایه مدل در مطالعات مختلف (تعریف مساله در مرحله ۲ در همه موارد یکسان است)

قاضی‌نوری[14]	*کوتس* (ارزیابی فناوری‌های نوین)[15]	*کوویستو* (ارزیابی فناوری‌های آینده‌گرا همراه با ریسک‌ها) [16]	*رابینسون* (ارزیابی فناوری‌های آینده‌گرا)[13]		مدل استخراج‌شده در پژوهش حاضر	
توصیف و پیش‌بینی تکنولوژی	- توصیف فناوری - بافتار نهادی	فهم ویژگی‌های فناوری و استخراج ریسک‌ها و موانع	فهم ویژگی‌های فناوری نوین و سیستم عرضه فناوری آن	توصیف فناوری	فهم ویژگی‌های فناوری و استخراج ریسک‌ها و موانع	توصیف فناوری
	- پیش‌بینی فناوری - فناوری‌های پشتیبان - فناوری‌های رقیب			تعیین مشخصات طبیعت فناوری		تعیین مشخصات طبیعت فناوری
	سیستم‌های بدیل			مدل‌کردن سیستم عرضه تکنولوژیکی		تعیین موانع و چالش‌های فناوری
توصیف وضعیت جامعه و پیش‌بینی آینده آن	- حالات جامعه - توصیف گران - داده‌های پایه - پیش‌بینی - روندها و رویدادها	-	تعیین مشخصات نیروهای بافتاری و سازمانی کلیدی		توصیف وضعیت جامعه و پیش‌بینی آینده آن	بررسی مسیرهای نوآوری و تعیین کاربردهای بالقوه
شناسایی، تحلیل و برآورد اثرات	شناسایی شرکای موثر و سایر ذی‌نفعان	سنتز و مدل‌سازی وضعیت جامعه و پیش‌بینی آینده آن	تعیین مشخصات فعالیت‌های تحقیق و توسعه و ارتباط به کاربردهای بالقوه	تعیین کاربردهای بالقوه		توصیف وضعیت کاربردها و پیش‌بینی آینده آن
					تحلیل اثرات و موانع	شناسایی، تحلیل و برآورد اثرات
	شناسایی تاثیرات بالقوه	تحلیل اثرات و موانع		تعیین مشخصات بازیگران و فعالیت‌های نوآوری	-	-
				تعیین مشخصات تحقیق و توسعه	-	-
	غربال‌کردن و ارزیابی تاثیرات بالقوه	تبدیل به نتایج قابل فهم (مدل‌های قابل تحلیل)	تصویر و ارزیابی دورنمای مسیرهای نوآوری	ترسیم مسیرهای بدیل نوآوری	تبدیل به نتایج قابل فهم (مدل‌های قابل تحلیل)	تصویر و ارزیابی دورنمای مسیرهای نوآوری
				کشف اجزای نوآوری		
	شناسایی تصمیم‌سازان مرتبط			ارزیابی فناوری		
تحلیل سیاست‌ها	تحلیل سیاست	تحلیل سیاست	گزارش: خروجی‌های سودمند برای پشتیبانی تصمیمات	گزارش روی مسیرهای نوآوری	تحلیل سیاست و ارایه راهبرد	
-	نتیجه‌گیری و پیشنهادات	-		روشن‌سازی سیاست‌های ممکن و گزینه‌های اقدام مدیریتی	-	-

www.SID.ir

نتایج حاصل از اثرات و موانع: در حوزه زیست‌فناوری- فناوری اطلاعات در میان‌مدت بیشترین تاثیر به‌ترتیب روی سه شاخص بهبود کیفیت مطلوب زندگی انسانی، بهبود پیامدهای مثبت اجتماعی و افزایش رتبه نوآوری بود. در حالی که برای همین فناوری شاخص‌ها در بلندمدت، دو شاخص اول جابه‌جا شدند و شاخص سوم، دستیابی به توسعه پایدار بود.

در حوزه زیست‌فناوری- فناوری نانو و زیست‌فناوری- علوم شناختی در میان‌مدت بیشترین تاثیر به‌ترتیب روی سه شاخص بهبود کیفیت مطلوب زندگی انسانی، افزایش قدرت امنیتی و دفاعی و بهبود پیامدهای مثبت اجتماعی بود، با این تفاوت که در حوزه زیست‌فناوری- فناوری نانو در جایگاه دوم و سوم، دو شاخص دیگر دستیابی به توسعه پایدار و افزایش رتبه نوآوری نیز به آنها اضافه شد.

در هر دو حوزه زیست‌فناوری- فناوری اطلاعات و زیست‌فناوری- علوم شناختی در میان‌مدت بیشترین اثرپذیری به‌ترتیب از سه شاخص محدودیت منابع مالی، عدم وجود قوانین مناسب برای به‌کارگیری فناوری‌ها و عدم وجود فرهنگ استفاده از این فناوری‌ها بود، در حالی که در حوزه زیست‌فناوری- فناوری نانو همین سه شاخص با ترتیب عدم وجود قوانین مناسب برای به‌کارگیری فناوری‌ها، عدم وجود فرهنگ استفاده از این فناوری‌ها و محدودیت منابع مالی بود. پاسخ‌دهندگان با توجه به این که ستاد توسعه فناوری نانو چندین سال است که تاسیس شده است، امیدوار به بودجه‌های تحقیقاتی این ستاد بودند و محدودیت منابع مالی را اصلی‌ترین مانع نمی‌دانستند. همچنین این تفاوت نشان داد که سه ستاد دیگر توسعه زیست‌فناوری، ستاد توسعه علوم و فناوری‌های شناختی و ستاد فناوری اطلاعات، ارتباطات و فناوری مجازی نتوانستند جامعه متخصصان کشور را مجاب نمایند که از لحاظ بودجه‌های علمی و تجاری‌سازی، قابلیت تامین نیازهای کشور را داشته باشند و همچنان دغدغه اصلی نخبگان این حوزه، تامین بودجه بود.

همچنین در حوزه زیست‌فناوری- فناوری اطلاعات در بلندمدت بیشترین اثرپذیری به‌ترتیب از سه شاخص عدم وجود فرهنگ استفاده از این فناوری‌ها، محدودیت منابع مالی و عدم وجود قوانین مناسب برای به‌کارگیری فناوری‌ها بود و پاسخ‌دهندگان معتقد بودند که مانع عدم وجود فرهنگ استفاده از این فناوری‌ها در بلندمدت نیز حل نخواهد شد و با توجه به این که فرهنگ برای تغییر نیاز به زمان بسیار طولانی دارد، عادی به نظر می‌رسد.

با بررسی نتایج حاصل از میزان اثرپذیری شاخص‌های اجتماعی از مسیرهای نوآوری زیست‌فناوری، نتایج قابل ملاحظه‌ای برای سیاست‌گزاری مشخص شد. در این حوزه در میان‌مدت بیشترین تاثیر به‌ترتیب روی سه شاخص بهبود کیفیت مطلوب زندگی انسانی (۲۴/۰%)، بهبود پیامدهای مثبت اجتماعی (۱۴/۰%) و در جایگاه سوم افزایش قدرت امنیتی و دفاعی (۱۳/۰%) و افزایش رتبه نوآوری (۱۳/۰%) بود. دستیابی به توسعه پایدار (۱۰/۰%)، پیشرفت پُرسرعت علمی (۱۰/۰%)، شناسایی بهتر محیط زیست (۸/۰%) و رشد اقتصادی ملموس (۸/۰%) در رتبه‌های بعدی قرار داشتند.

همچنین میزان اثرپذیری شاخص‌های اجتماعی از مسیرهای نوآوری زیست‌فناوری در بلندمدت نیز با توجه به این که تنها حوزه دارای کاربردهای بالقوه در بلندمدت از سوی پاسخ‌دهندگان، حوزه زیست‌فناوری- فناوری اطلاعات بود، بنابراین نتایج میزان اثرپذیری شاخص‌های اجتماعی از مسیرهای نوآوری زیست‌فناوری مانند حوزه زیست‌فناوری- فناوری اطلاعات بود. بدین صورت که بهبود پیامدهای مثبت اجتماعی (۳۳/۰%)، بهبود کیفیت مطلوب زندگی انسانی (۲۵/۰%)، دستیابی به توسعه پایدار (۱۶/۰%)، پیشرفت پُرسرعت علمی (۶/۰%)، افزایش قدرت امنیتی و دفاعی (۶/۰%)، افزایش نوآوری رتبه کشور (۶/۰%)، رشد اقتصادی ملموس (۴/۰%) و شناسایی بهتر محیط زیست (۴/۰%) قرار داشتند.

در حوزه موانع دستیابی به فناوری‌های حوزه زیست‌فناوری در میان‌مدت بیشترین تاثیر به‌ترتیب روی سه شاخص محدودیت منابع مالی (۲۲/۰%)، عدم وجود فرهنگ مناسب برای به‌کارگیری فناوری‌ها (۲۱/۰%) و عدم وجود قوانین برای استفاده از این فناوری‌ها (۱۸/۰%) بود. هر سه مانع ناشی از عدم وجود سیاست‌های مناسب از سوی ستاد توسعه زیست‌فناوری بود. تجاری‌سازی فناوری‌های فناوری (۱۴/۰%)، درنظرگرفتن افکار عمومی و همه ذی‌نفعان در طراحی و توسعه این فناوری‌ها (۱۰/۰%)، تاکید بیش از حد بر استفاده گسترده از عنوان فناوری همگرا (۸/۰%) و درک اجتماعی و مقبولیت فناوری‌های همگرا (۷/۰%) در رتبه‌های بعدی قرار داشتند.

در بلندمدت نیز به‌ترتیب عوامل عدم وجود فرهنگ مناسب برای به‌کارگیری فناوری‌ها (۲۸/۰%)، محدودیت منابع مالی (۲۲/۰%)، تجاری‌سازی فناوری‌های فناوری (۱۷/۰%)، عدم وجود قوانین برای استفاده از این فناوری‌ها (۱۴/۰%)، درنظرگرفتن افکار عمومی و همه ذی‌نفعان در طراحی و توسعه این فناوری‌ها (۱۱/۰%)، درک اجتماعی و مقبولیت فناوری‌های همگرا (۸/۰%) و تاکید بیش از حد بر استفاده گسترده از عنوان فناوری همگرا (۰/۰%) قرار داشتند.

راهبردهای متناسب با فناوری‌های زیستی مختلف: براساس دو عامل اثرات و موانع، راهبردهای پیشنهادی برای سه حوزه شامل راهبرد چشم‌پوشی (۱۶/۰%)، سرمایه‌گذاری (۱۰/۰%)، بهره‌برداری (۱۶/۰%) و فرصت‌طلبی (۵۸/۰%) بودند (نمودار ۵).

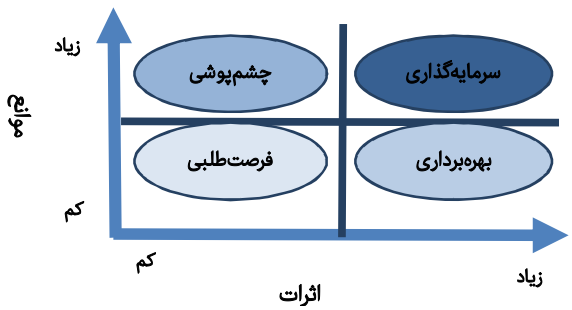
در حوزه زیست‌فناوری- فناوری اطلاعات، در میان‌مدت برای ۷ مسیر نوآوری، راهبردهای پیشنهادی در قالب سه راهبرد سرمایه‌گذاری، فرصت‌طلبی و چشم‌پوشی ارایه شد که استفاده‌کنندگان این حوزه می‌توانند در مسیرهای نوآوری آتی از این راهبردها بهره گیرند و ستادهای مربوطه (ستاد توسعه زیست‌فناوری و ستاد فناوری اطلاعات) با استفاده از این راهبردها برنامه‌های آینده خود را تدوین نمایند. به‌عنوان مثال در دو مسیر نوآوری استفاده از حسگر بیومتریک برای آشکارکردن مسایل پزشکی متفاوتی اعم از اعتیاد، بارداری، دیابت و پردازش DNA در بدن برای سیستم‌های ایمنی سنتزی و کنترل سرطان راهبرد سرمایه‌گذاری پیشنهاد می‌شود. همچنین در تحلیل راهبردهای استخراج‌شده مشخص شد که هیچ مسیر نوآوری در زمره راهبرد بهره‌برداری قرار نمی‌گیرد. این بدان معنی است که پاسخ‌دهندگان هیچ کاربردی از این حوزه را که هم‌اکنون آماده بهره‌برداری باشد، متصور نبودند. از طرفی بیشترین میزان مسیر نوآوری که شامل راهبرد چشم‌پوشی بود، در این حوزه قرار گرفت. خروجی این دو راهبرد در این حوزه نشان‌دهنده این نکته بود که سیاست‌گزاران حوزه زیست‌فناوری و فناوری اطلاعات به کاربردها و مسیرهای نوآوری مشترک آتی نپرداختند که حاصل آن ناامیدی خبرگان این حوزه از بهره‌برداری از این حوزه و چشم‌پوشی از بسیاری از کاربردهای آن است.

در حوزه زیست‌فناوری- فناوری نانو در میان‌مدت برای ۱۶ مسیر

Archive of SID
www.SID.ir

نوآوری، راهبردهای پیشنهادی در قالب سه راهبرد بهره‌برداری، سرمایه‌گذاری و فرصت‌طلبی ارایه شد که استفاده‌کنندگان این حوزه می‌توانند در مسیرهای نوآوری آتی از این راهبردها بهره گیرند و ستادهای مربوطه (ستاد توسعه زیست‌فناوری و ستاد فناوری نانو) با استفاده از این راهبردها، برنامه‌های آینده خود را تدوین نمایند. به‌عنوان مثال در دو مسیر نوآوری استفاده از نانوذرات برای انگشت‌نگاری دقیق و با جزئیات در صحنه جرم و استفاده از نانوامولسیون‌ها برای جذب و رفع آلودگی‌های شیمیایی، زیستی، هسته‌ای راهبرد بهره‌برداری پیشنهاد شد. همچنین در مسیر نوآوری ساخت نانوذرات یا نانوفیبرها به‌منظور جذب، جداسازی و خنثی‌سازی عوامل شیمیایی و بیولوژیک راهبرد سرمایه‌گذاری پیشنهاد شد. در ۱۳ مسیر دیگر نیز با توجه به تحلیل‌های انجام‌شده راهبرد فرصت‌طلبی مناسب بود. هیچ مسیر نوآوری در این حوزه در راهبرد چشم‌پوشی قرار نگرفت. بدین معنی که پاسخ‌دهندگان از هیچ کاربردی در این حوزه صرف نظر نکردند و تمامی مسیرها را مثمر ثمر می‌دانستند. از طرفی بیشترین میزان مسیر نوآوری که شامل راهبرد فرصت‌طلبی بود، در این حوزه قرار داشت (۸۱% مسیرها). همچنین پس از این راهبرد، بیشترین راهبرد در حوزه بهره‌برداری بود. خروجی این سه راهبرد در این حوزه نشان‌دهنده این نکته بود که سیاست‌گزاران حوزه زیست‌فناوری و فناوری نانو به‌گونه‌ای عمل نمودند که خبرگان حوزه بسیار به این حوزه امیدوار هستند و مسیرهای نوآوری آن را نویدبخش می‌دانند.

در حوزه زیست‌فناوری- علوم شناختی در میان‌مدت برای ۱۵ مسیر نوآوری راهبردهای پیشنهادی در قالب هر چهار راهبرد بهره‌برداری، سرمایه‌گذاری، فرصت‌طلبی و چشم‌پوشی ارایه شد که استفاده‌کنندگان این حوزه می‌توانند در مسیرهای نوآوری آتی از این راهبردها بهره گیرند و ستادهای مربوطه (ستاد توسعه زیست‌فناوری و ستاد علوم و فناوری‌های شناختی) می‌توانند با استفاده از این راهبردها برنامه‌های آینده خود را تدوین نمایند. در ۴ مسیر نوآوری راهبرد بهره‌برداری، در ۲ مسیر راهبرد چشم‌پوشی، در یک مسیر راهبرد سرمایه‌گذاری و در ۸ مسیر راهبرد فرصت‌طلبی پیشنهاد شد. در ۱۳ مسیر دیگر نیز با توجه به تحلیل‌های انجام‌شده، راهبرد فرصت‌طلبی مناسب به نظر رسید. ۴ مسیر نوآوری در حوزه زیست فناوری- علوم شناختی در راهبرد بهره‌برداری قرار گرفت که بیشترین میزان بین سه زیرحوزه زیست‌فناوری بود. این بدان معنی است که پاسخ‌دهندگان به کاربردهای این حوزه در زمینه استفاده و خلق ثروت امید دارند و این حوزه را شایسته بیشترین اثر در حرکت اهرم‌های اصلی توسعه کشور می‌دانند. همچنین بیشترین میزان مسیر نوآوری در راهبرد فرصت‌طلبی پس از حوزه زیست‌فناوری- فناوری نانو متعلق به این حوزه بود. خروجی راهبردها نشان داد بهادادن به این حوزه می‌تواند در سال‌های آتی بسیار به رشد زیست‌فناوری کمک نماید.



نمودار ۵) راهبردهای پیشنهادی نسبت به میزان اثرات و موانع

بحث

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی آینده مسیرهای نوآوری زیست‌فناوری براساس همگرایی آن با سایر فناوری‌ها انجام شد. در حوزه زیست‌فناوری- فناوری اطلاعات، پاسخ‌دهندگان در میان‌مدت بیشترین انتظارشان از مسیرهای نوآوری در این حوزه خلق ثروت و بهبود کیفیت مطلوب زندگی و تولید نوآوری بود، اما در بلندمدت بهبود پیامدهای مثبت اجتماعی و دستیابی به توسعه پایدار را انتظار دارند که با توجه به این که تغییر پیامدهای اجتماعی و توسعه پایدار هر دو زمان‌بر بوده و در بلندمدت رخ می‌دهد، طبیعی است.

در خصوص این که شاخص اول در هر دو حوزه زیست‌فناوری- فناوری نانو و زیست‌فناوری- علوم شناختی مانند حوزه زیست‌فناوری- فناوری اطلاعات، بهبود کیفیت مطلوب زندگی انسانی بود، نشان‌دهنده این نکته است که پاسخ‌دهندگان در میان‌مدت بیشترین انتظارشان از مسیرهای نوآوری در این دو حوزه نیز خلق ثروت و بهبود کیفیت مطلوب زندگی بود. اما دلیل این که چرا در حوزه زیست‌فناوری- فناوری نانو در جایگاه دوم و سوم، دو شاخص دیگر دستیابی به توسعه پایدار و افزایش رتبه نوآوری نیز اضافه شد، می‌تواند نشان‌دهنده این نکته باشد که پاسخ‌دهندگان با توجه به این که ستاد توسعه فناوری نانو چندین سال است که تاسیس شده است، امیدوار هستند که مواردی مانند دستیابی به توسعه پایدار که باید در بلندمدت رخ دهد، در میان‌مدت اتفاق افتد. همچنین با توجه به بودجه‌های تحقیقاتی این ستاد که موجب افزایش رتبه کشور در دنیا شده است، پاسخ‌دهندگان افزایش رتبه نوآوری کشور را در میان‌مدت پیش‌بینی نموده‌اند.

در خصوص میزان اثرپذیری شاخص‌های اجتماعی، شاخص اول مانند زیرحوزه‌های فناوری زیستی، بهبود کیفیت مطلوب زندگی انسانی بود و نشان‌دهنده این نکته است که پاسخ‌دهندگان در میان‌مدت بیشترین انتظارشان از مسیرهای نوآوری در این حوزه نیز خلق ثروت و بهبود کیفیت مطلوب زندگی است. اما دلیل افزایش رتبه نوآوری در این حوزه می‌تواند اطمینان پاسخ‌دهندگان به شرکت‌های قدرتمند خصوصی و تولید اندک علم در کشور در حوزه دانشگاهی ایجادشده باشد. همچنین اعتقاد پاسخ‌دهندگان به افزایش قدرت امنیتی و دفاعی می‌تواند از دو جنبه عنوان شده باشد. اول این که وزارت دفاع کشور در زمینه زیست‌فناوری قدرتمند عمل نموده و دوم اعتقاد به این که مسیرهای نوآوری در زیست‌فناوری در دنیا با دقت پیگیری می‌شود که هر دو بخش واقعی به نظر می‌رسند.

در حوزه محدودیت منابع مالی، جامعه متخصصان زیست‌فناوری کشور همچنان دغدغه اصلی‌شان تامین بودجه بود که نشان‌دهنده عدم حمایت مالی مناسب از سوی ستاد و عدم هدایت سایر بودجه‌های کشور در این مسیر بود. در حوزه عدم وجود قوانین مناسب برای به‌کارگیری فناوری‌ها نیز باید ستاد طی این سال‌ها (این ستاد از سال ۱۳۸۳ تاسیس شده است) قوانین مناسب را شناسایی، تدوین و برای توصیه با مجلس شورای اسلامی رایزنی نماید. حال آن که برای ساده‌ترین قوانین مانند ثبت اختراع در حوزه سویه‌های زیستی که پایه توسعه این فناوری بوده، هیچ اقدامی انجام نشده است. در زمینه عدم وجود فرهنگ استفاده از این فناوری‌ها نیز ترویج این فناوری از وظایف اصلی ستاد و کارگروه ترویج آن بوده که عملاً نمود بیرونی نداشته است.

با بررسی راهبردهای فناوری زیستی، بیشترین تعداد کاربرد در بازه زمانی میان‌مدت قرار داشت و در سه حوزه فناوری زیستی مشخص

Archive of SID
www.SID.ir

شد که راهبرد بهره‌برداری به‌ترتیب باید در حوزه‌های زیست‌فناوری- علوم شناختی و زیست‌فناوری- فناوری نانو استفاده شود. به عبارت دیگر در فناوری نانو و علوم شناختی باید از فناوری‌های موجود بهره‌برداری نمود تا بیشترین استفاده از اثرات مثبت این فناوری‌ها و اجتناب از موانع آن صورت پذیرد. همچنین از راهبرد سرمایه‌گذاری باید بیشترین استفاده در حوزه‌های زیستی مشترک با فناوری اطلاعات صورت پذیرد تا کشور در سال‌های آتی از مواهب آن بهره‌مند شود. در حوزه‌های مشترک زیست‌فناوری با فناوری نانو و علوم شناختی نیز بیشترین استفاده از راهبرد فرصت‌طلبی است.

راهبرد چشم‌پوشی به شاخه‌هایی اختصاص می‌یابد که اثرات بالایی نداشته و در عین حال کشور نیز در این زمینه‌ها با موانع بسیاری مواجه است. در این حالت پیشنهاد می‌شود کشور از سرمایه‌گذاری و اختصاص بودجه در این حوزه چشم‌پوشی نماید. در میان‌مدت ۶ مسیر نوآوری زیست‌فناوری و در بلندمدت یک کاربرد بالقوه شامل این راهبرد می‌شوند. مسیرهای نوآوری در میان‌مدت که راهبرد چشم‌پوشی برای آنها پیشنهاد شد، به‌صورت زیر است:

۱- استفاده از حیوانات در حمله به دشمن

۲- تامین امنیت ملی، غذایی، دارویی، بهداشتی و زیست‌محیطی

۳- شبکه‌های خودبازسازی‌کننده و سیستم‌های امنیتی بیومتریک (اثر انگشت، صورت، عنبیه و شناسایی رمزهای ذهنی)

۴- پردازش و ذخیره‌سازی داده‌های تحقیقاتی بیوفناوری از طریق فناوری اطلاعات (IT) برای آنالیز و مدل‌سازی و توسعه چیپ‌های DNA

۵- در مراقبت‌های بهداشتی و مسیریابی بیماری‌ها

۶- آشکارسازهای انعطاف‌پذیر برای اهداف کنترل بدن

مسیرهای نوآوری در بازه بلندمدت که برای آن راهبرد چشم‌پوشی پیشنهاد شد، "کنترل میزان هیجان" بود.

راهبرد سرمایه‌گذاری، مرتبط با مسیرهای نوآوری فناوری‌های زیستی است که موانع زیادی برای کشور داشته، اما از اثرات زیادی نیز برخوردار است. در این حالت، راهبرد کلی، سرمایه‌گذاری در این حوزه است تا از این طریق امکان وقوع پیشرفت‌های آتی را در صورت نیاز حفظ نمایند. در میان‌مدت ۴ مسیر نوآوری فناوری‌های زیستی در حوزه این راهبرد بود که شامل موارد زیر است:

۱- ساخت نانوذرات یا نانوفیبرها به‌منظور جذب، جداسازی و خنثی‌سازی عوامل شیمیایی و بیولوژیک

۲- به‌کارگیری ریزجاندارها به‌عنوان سلاح‌های بیولوژیک

۳- استفاده از حسگر بیومتریک برای آشکارکردن مسایل پزشکی متفاوت اعم از اعتیاد، بارداری، دیابت و غیره

۴- پردازش DNA در بدن برای سیستم‌های ایمنی سنتزی و کنترل سرطان

اهرم‌های اصلی توسعه کشور در زمینه فناوری‌های زیستی مربوط به راهبرد بهره‌برداری تخصیص می‌یابد که اثرات زیادی برای کشور داشته، اما از موانع کمی برخوردار است. در این زمینه کشور باید توان خود را در این شاخه‌ها حفظ نماید تا به اهداف بلندمدت خود دست یابد و حتی‌الامکان در عرصه‌هایی گوی سبقت را از دیگر کشورها برباید. در میان‌مدت ۶ مسیر نوآوری فناوری‌های زیستی شامل این راهبرد به‌صورت زیر قرار گرفت:

۱- استفاده از نانومولسیون‌ها برای جذب و رفع آلودگی‌های شیمیایی، زیستی و هسته‌ای

۲- استفاده از نانوذرات برای انگشت‌نگاری دقیق و با جزئیات در صحنه جرم

۳- استتار زیستی با الهام از موجودات زنده و محیط زیست

۴- افزایش حافظه، مهارت‌های اجرایی و رفع مشکلات و استرس‌های یادگیری و درمان نواقص یادگیری

۵- بهینه‌کردن تصمیم‌گیری در سطوح فرماندهی و مدیریتی و کاهش خطا در ارزیابی

۶- تحول در آموزش و یادگیری و به‌حداکثررساندن توانایی‌های حسی و شناختی دانش‌آموزان

چهارمین راهبرد، راهبرد فرصت‌طلبی برای شرایطی است که اثرات فناوری‌های زیستی کم بوده، اما موانع بر سر راه آنها نیز کم باشد. در این راهبرد بدون نیاز به سرمایه‌گذاری بالا و اختصاص بودجه کلان، پژوهشگران و متخصصان این حوزه‌ها می‌توانند از طریق پیگیری مقالات و اطلاعات علمی و تجاری جهان، خود را با دانش روز دنیا هماهنگ کنند و در صورت مشاهده فرصت مناسب برای کشور در آن حوزه ورود نمایند. در میان‌مدت ۲۲ مسیر نوآوری فناوری‌های زیستی در این راهبرد به‌شرح زیر شناسایی شد:

۱- ساخت سفارشی مواد آلی

۲- فناوری سنتز نانو براساس کلونی‌های موجودات زنده

۳- موجودات زنده بسیار کوچک

۴- ویروس‌های سنتزی برای بهبود کیفیت DNA

۵- تولید گیرنده‌های زیست الکترونیکی و محاسبه‌گرهای زیستی (استفاده از زیست‌مولکول‌ها در تجهیزات الکترونیکی)

۶- طراحی و ساخت نانوحسگرهای عوامل شیمیایی

۷- ساخت کرم‌های محافظ پوستی با خواص محافظتی و خودپاک‌کنندگی

۸- تهیه نانوکپسول در تامین انرژی قابل حمل سرباز با تهیه غذای ماندگار، سالم و پرانرژی

۹- پایش مداوم شرایط فیزیولوژیک بدن و درمان از راه دور با تشخیص آسیب‌های محیطی و جراحت‌ها

۱۰- متراکم‌سازی DNA (کاهش نسخه‌برداری)

۱۱- ارتقای عملکرد و کارآیی رزمی و غیررزمی جدید با دستاورد بقا، افزایش روحیه و مقاومت سربازان

۱۲- کوچک‌سازی و سبک‌سازی تجهیزات و تسلیحات همراه سرباز

۱۳- ارتقای قابلیت سامانه‌های کشف، ردیابی و خنثی‌سازی سلاح‌های میکروبی

۱۴- مراقبت از راه دور و بیوالکترونیک

۱۵- سنسورهای بیولوژیک

۱۶- افزایش سطح هوشیاری سرباز برای بیدارماندن چند روز متوالی بدون تحمل عوارض جانبی زیان‌بار روحی و جسمی

۱۷- تقویت ویژگی‌های شخصیتی و پاسخ‌دهی مناسب به واکنش‌های هیجانی

۱۸- افزایش توان بالقوه بلندمدت در عملیات نظامی و مقابله با کاهش عملکرد و مکانیزم خستگی مغز، محرومیت از خواب و غیره تصحیح مدل‌های خواب و خستگی برای نیروهای نظامی

۱۹- ارتقای مهندسی با الهام از طبیعت و ساختار زیستی موجودات زنده در تولید سامانه‌های جدید سازگار با طبیعت

۲۰- مدیریت داده‌های زیستی با تعیین، تایید و شناسایی هویت افراد برای همه امور

۲۱- استفاده از سلول‌های ساقه مغز برای بازسازی مجدد در مغز بعد از سانحه یا تصادف

۲۲- تغییر محتوا و دوره‌های آموزشی (محتوا و دوره‌های جدید آموزشی با پرداختن به جنبه‌های هوش روان، زندگی ادراکی و روندهای شناختی)

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

بیشترین تعداد کاربرد شامل بازه زمانی میان‌مدت است. راهبرد "بهره‌برداری" به‌ترتیب باید در حوزه‌های زیست‌فناوری- علوم شناختی و زیست‌فناوری- فناوری نانو استفاده شود. همچنین از راهبرد "سرمایه‌گذاری" باید بیشترین استفاده در حوزه‌های زیستی مشترک با فناوری اطلاعات صورت پذیرد تا در سال‌های آتی، ایران از مواهب آن بهره‌مند شود. در حوزه‌های مشترک زیست‌فناوری با فناوری نانو و علوم شناختی نیز بیشترین استفاده از راهبرد "فرصت‌طلبی" است.

تشکر و قدردانی: از مسئولان و کارکنان محترم دانشگاه تهران که در ایجاد شرایط مناسب برای انجام تحقیق سهیم بوده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود. این تحقیق با حمایت پژوهشکده فناوری‌های همگرای دانشگاه تهران انجام شده است. نویسندگان از کلیه مسئولان مربوطه در این پژوهشکده و خبرگانی که در تکمیل پرسش‌نامه و شرکت در مصاحبه‌ها همکاری فرمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

تاییدیه اخلاقی: موردی از سوی نویسندگان ذکر نشده است.

تعارض منافع: هیچ گونه تعارض منافعی وجود نداشته است.

سهم نویسندگان: عباسعلی احمدیان (نویسنده اول)، روش‌شناس/پژوهشگر اصلی/تحلیلگر آماری/نگارنده بحث (۴۰%)؛ سید سپهر قاضی‌نوری (نویسنده دوم)، نگارنده مقدمه/روش‌شناس/پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث (۲۳%)؛ فاطمه ثقفی (نویسنده سوم)، نگارنده مقدمه/روش‌شناس/پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث (۲۳%)؛ سیدسروش قاضی‌نوری (نویسنده چهارم)، روش‌شناس/پژوهشگر کمکی (۹%)؛ مهدی محمدی (نویسنده پنجم)، پژوهشگر کمکی/تحلیلگر آماری (۵%)

منابع مالی: موردی از سوی نویسندگان ذکر نشده است.

منابع

1- Ahmadian AA, Haji Hosseni H, Baradaran MS. Techno-entrepreneurship in biotechnology: Introduction. J Ind Technol Dev. 2013;10(20):5-18. [Persian]
2- Hine D, Griffiths A. The impact of market forces on the sustainability of the biotechnology industry. Int J Entrep Innov Manag. 2004;4(2-3):138-49.
3- Hine D, Kapeleris J. Innovation and entrepreneurship in biotechnology, an international perspective: Concepts, theories and cases. Cheltenham: Edward Elgar Publishing; 2006. pp. 60-82.
4- Oakey RP. Technical entrepreneurship in high technology small firms: some observations on the implications for management. Technovation. 2003;23(8):679-88.
5- Roco MC, Bainbridge WS, editors. Converging technologies for improving human performance: Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science. Dordrecht: Springer; 2003.
6- Miao H, Qin L, Huang L. Status and prospect on converging technology: Technology management perspective. The 19th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. Heidelberg: Springer; 2013. pp. 545-52.
7- Segerstrale U. Wilson and the unification of science. Ann N Y Acad Sci. 2006;1093:46-73.
8- Paya A, Kalantari Nezhad R. Socio cultural impacts of the fourth wave of scientific & technological development. Tehran: National Science Policy Research Center; 2011. [Persian]
9- Cai S., The age of synthesis: From cognitive science to converging technologies and hereafter. Chin Sci Bull. 2011;56(6):465-75.
10- Johnston R, Cagnin C. The influence of future-oriented technology analysis: Addressing the Cassandra challenge. Futures. 2011;43(3):313-6.
11- Scapolo F. New horizons and challenges for future-oriented technology analysis - the 2004 EU-US seminar. Technol Forecast Soc Change. 2005;72(9):1059-63.
12- Schaper-Rinkel P. The role of future-oriented technology analysis in the governance of emerging technologies: The example of nanotechnology. Technol Forecast Soc Change. 2013;80(3):444-52.
13- Robinson DKR, Huang L, Guo Y, Porter AL. Forecasting Innovation Pathways (FIP) for new and emerging science and technologies. Technol Forecast Soc Change. 2013;80(2):267-85.
14- Ghazy Noori S. Tecnology assessment, strategic policy inteligance. Tehran: New Industries Center; 2004. [Persian]
15- Coates JF. Technology assessment as guidance to governmental management of new technologies in developing countries. Technol Forecast Soc Change. 1998;58(1-2):35-46.
16- Koivisto R, Wessberg N, Eerola A, Ahlqvist T, Kivisaari S, Myllyoja J, et al. Integrating future-oriented technology analysis and risk assessment methodologies. Technol Forecast Soc Change. 2009;76(9):1163-76.
17- Roco MC, Bainbridge WS, Tonn B, Whitesides G, editors. Convergence of knowledge, technology and society. Dordrecht: Springer; 2013.
18- Canton J. Designing the future: NBIC technologies and human performance enhancement. Ann N Y Acad Sci. 2004;1013:186-98.
19- Montemagno CD. Integrative technology for the twenty-first century. Ann NY Acad Sci. 2004;1013(1):38-49.
20- Silberglitt R, Anton PS, Howell DR, Wong A, Gassman N, Jackson BA, et al. The global technology revolution 2020, in-depth analyses: Bio/nano/materials/information trends, drivers, barriers, and social implications. Santa Monica: Rand Corporation; 2006.
21- Bond PJ. Vision for converging technologies and future society. Ann N Y Acad Sci. 2004;1013(1):17-24.
22- Gorman ME. Collaborating on convergent technologies: Education and practice. Ann N Y Acad Sci. 2004;1013:25-37.
23- Pichierri F. Signal-transducing proteins for nanoelectronics. Ann N Y Acad Sci. 2006;1093:98-107.
24- Spoherer JC, Engelbart DC. Converging technologies for enhancing human performance: Science and business perspectives. Ann N Y Acad Sci. 2004;1013:50-82.
25- Ghazinoory S, Hajishirzi R. Using actor-network theory to identify the role of IT in cognitive science in Iran. Procedia Soc Behav Sci. 2012;32:153-62.
26- Chen JM, Ho CM. Path to bio-nano-information fusion. Ann N Y Acad Sci. 2006;1093:123-42.
27- National Research Council. Implications of emerging micro and nanotechnology. Washington, DC: The National Academies Press; 2002.
28- Hochella MF Jr.The case for nanogeoscience. Ann N Y Acad Sci. 2006;1093:108-22.
29- Roco MC. Science and technology integration for increased human potential and societal outcomes. Ann N Y Acad Sci. 2004;1013:1-16.
30- Roco MC. Progress in governance of converging

Archive of SID
www.SID.ir

technologies integrated from the nanoscale. Ann N Y Acad Sci. 2006;1093:1-23.
31- Roco MC. The emergence and policy implications of converging new technologies integrated from the nanoscale. J Nanopart Res. 2005;7(2-3):129-43.
32- Roco MC. Possibilities for global governance of converging technologies. J Nanopart Res. 2008;10(1):11-29.

Archive of SID

www.SID.ir