

# فناوری همگرا و ماهیت آن به عنوان مبنای توسعه پایدار در قرن ۲۱

عباس اخوان سپهی

دانشیار گروه میکروبیولوژی، دانشکده علوم زیستی  
دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

## اشاره

در سده بیست‌ویکم، یکی از جدیدترین رویکردهای آموزش علم، به ویژه آموزش زیست‌شناسی، همگرایی است. همگرایی یعنی گردآوری دیدگاه‌ها و رویکردهای موضوع‌های مختلف و متمایز علمی در کنار هم به منظور در انداختن طرح‌هایی ابتکاری برای حل مسائل دشوار جامعه. همگرایی قدرت تفکر را از پارادایم‌های معمول فراتر می‌برد و منجر به دیدگاهی همه‌سونگر به مسائل می‌شود. توان نوآوری و حل مسائل زمانی افزایش می‌یابد که بتوانیم پایه‌های دانش، مجموعه مهارت‌ها و تنوع تجربه‌های افراد مختلف را در محیطی گفت‌وگو محور و مشارکت‌جویانه، همراه با احترام به همه اعضا، گرد آوریم. همگرایی نه تنها علوم زیستی، علوم پزشکی، علوم فیزیکی، علوم محاسباتی و مهندسی را با هم متحد می‌کند، بلکه در رشد اقتصادی، اجتماعی، علوم رفتاری، هنر و علوم انسانی و فراتر از آن‌ها نیز مؤثر است. این مقاله به بررسی گوشه‌ای از این رویکرد برای پیشبرد آموزش زیست‌شناسی می‌پردازد.

## کلیدواژه‌ها

فناوری نانو، زیست‌فناوری، فناوری اطلاعات، علوم شناختی

از واگرایی به همگرایی متقابل و از تجزیه به سنتز. پروژه‌های مختلفی با اهداف مختلف، از جمله با هدف دگرگونی شرایط انسان و محیط اطراف او در حال توسعه است. تغییری بنیادی در ماهیت روابط متقابل بین تحقیقات بنیادی و کاربردی مشاهده می‌شود. پیش از این، تحقیقات کاربردی تقریباً محدود و در سطح دانشگاهی بود (۲)، اما در دهه‌های اولیه قرن بیست‌ویکم، تلاش متمرکز توانست نانو فناوری، فناوری زیستی، فناوری اطلاعات، و فناوری‌های جدید انسانی را براساس علوم شناختی به ارمغان بیاورد که با توجه کافی به مسائل اخلاقی و نیازهای

ما بر اساس درک جامع از ساختار و رفتار مواد در مقیاس نانو تا پیچیده‌ترین سیستمی که تاکنون کشف شده، یعنی مغز انسان، در آستانه رنسانس جدید در علوم و فناوری هستیم. وحدت علم براساس وحدت موجود در طبیعت و بررسی جامع آن به همگرایی فناوری و ساختار اجتماعی کارآمدتر منجر خواهد شد (۱). قرن بیست‌ویکم نوآوری‌های بسیاری را در حوزه‌های مختلف زندگی انسان به ارمغان آورده است. مطالعات در زمینه علوم و فناوری در حال حاضر در مرحله انتقال به مرحله جدیدی است، یعنی

میان‌رشته‌ای و فناوری یکپارچه جدید و همگرایی بالاترین دستاوردهای فناوری و دانش ما در زمینه حیات طبیعی و انسان‌ها اجرا خواهد شد (۷).

## فناوری اطلاعات، از جمله محاسبات

### پیشرفته و ارتباطات

امروزه آشکار است که هیچ‌یک از شاخه‌های صنعتی موجود نمی‌تواند بدون استفاده از فناوری اطلاعات، با موفقیت توسعه یابد، از پزشکی از راه دور، آموزش از راه دور، کنترل عددی ابزار و ماشین‌آلات، تا خلبانان ربات در اتومبیل‌ها، هواپیماها، و کشتی‌ها. بنابراین، فناوری اطلاعات به یک «حلقه» خاص تبدیل شده است که همه علوم و فناوری‌ها را دربرمی‌گیرد (۷). شبکه جهانی فناوری‌های اطلاعات همگرا فرایند دیجیتالی شدن بخش‌های سنتی اقتصاد (صنایع اساسی و تولیدی، آموزش و بهداشت، حمل و نقل و ارتباطات، آموزش و دارو) را توسعه می‌دهد (۸).

### – علوم نانو و فناوری نانو

بعد از فناوری اطلاعات، نانوتکنولوژی پدید آمد. این فناوری، که با کوچک‌تر کردن ذرات ماده نسبت سطح به حجم را افزایش می‌دهد و پدیده‌های کوانتومی را در ساختارهای نانومتری بررسی می‌کند، پدیده‌ای است که در همه رشته‌های علمی کاربرد دارد و از فناوری‌هایی است که به سرعت در حال توسعه است. فناوری نانو ناظر به اصول سنتز مواد از جمله داروها بهبود کیفیت و عملکرد آن‌ها می‌شود (۸ و ۹).

### زیست فناوری و تحقیقات

#### زیست پزشکی، از جمله مهندسی

#### ژنتیک

زیست فناوری را استفاده از اصول علمی و مهندسی برای تولید و فراوری مواد توسط عوامل زیستی یا به عبارت ساده‌تر، به استفاده از موجودات زنده برای تولید محصولات مفید تعریف می‌کنند. به طور کلی، هر گونه کنش هوشمندانه آدمی در آفرینش، بهبود و عرضه فرآورده‌های گوناگون با استفاده از جانداران، به ویژه از طریق دستکاری آن‌ها در سطح مولکولی در حیطه این مهم‌ترین، پاک‌ترین و اقتصادی‌ترین فناوری سده کنونی، یعنی زیست فناوری، قرار می‌گیرد. زیست فناوری از جمله واژه‌های پر سرو صدای سال‌های اخیر است. مهندسی ژنتیک و زیست فناوری مولکولی در عرصه‌های بسیار متنوع

اجتماعی، می‌تواند باعث بهبود فوق‌العاده توانایی‌های انسانی، نتایج اجتماعی و کیفیت زندگی (۱) و به پیشرفت‌های تکاملی و سریع در پزشکی، انرژی، حفظ محیط زیست و سایر فرایندهای توسعه منجر شود که موجب تحریک نوآوری و سرعت تحقیقات و توسعه در بسیاری از افراد می‌شود (۳).

عبارت «فناوری‌های همگرا» به ترکیب چهار بخش اصلی علم و فناوری، یعنی نانوفناوری، زیست فناوری، فناوری اطلاعات و علوم شناختی (NBIC)<sup>۱</sup> اشاره دارد که هر کدام در حال حاضر به سرعت در حال پیشرفت‌اند:

(الف) علوم نانو و فناوری نانو،

(ب) زیست فناوری و تحقیقات زیست پزشکی،

از جمله مهندسی ژنتیک،

(ج) فناوری اطلاعات، از جمله محاسبات پیشرفته

و ارتباطات،

(د) علوم شناختی، از جمله علوم اعصاب شناختی

(۴ و ۱).

تمرکز اصلی دانشمندان تنه‌اروی یکی از این علوم نیست، آن‌ها تغییرات مرتبط با همه این علوم را در فضای اجتماعی و زندگی روزمره، ابزارها و شرایط واقعی و تحولات بالقوه با نگرش ایجاد فرصت‌های جدید به‌عنوان یک اصل ضروری هدف خود قرار داده‌اند (۵).

ابزارهای قدرت همگرایی NBIC به نسل جدیدی از بلوک‌های ساختمانی مانند بیت‌ها، اتم‌ها، سلول‌های عصبی و ژن‌ها متکی هستند. این‌ها ابزارهایی هستند که دانشمندان NBIC برای طراحی محصولات و خدمات به کار می‌گیرند (شکل ۱) (۶).

هدف اصلی همگرایی NBIC ایجاد سیستم‌های فنی دارای شکل انسانی و شبیه به ساختار طبیعی زندگی است. این هدف بر اساس تحقیقات

### مطالعات در

### زمینه علوم و

### فناوری در حال

### حاضر در مرحله

### انتقال به مرحله

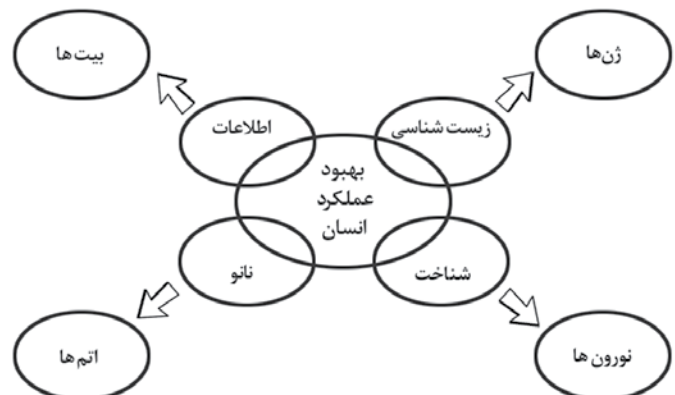
### جدیدی است؛

### یعنی از واگرایی

### به همگرایی

### متقابل و از

### تجزیه به سنتز



شکل ۱. نگرش جدید همگرایی NBIC به علوم، فناوری و افزایش عملکرد انسان

خوشبختانه  
در کشور ما  
نیز پژوهشگاه  
دانش‌های  
بنیادی از  
حدود ۱۰ سال  
پیش به فکر  
تأسیس رشته  
علوم اعصاب  
شناختی افتاده  
و در نهایت  
پژوهشکده  
علوم شناختی را  
راه‌اندازی کرده  
است

شناختی به‌شمار آورد. همچنین بیان این نکته نیز که در منابع گوناگون، از شاخه‌های گوناگونی (از علوم تربیتی تا زیست‌شناسی) به‌عنوان زیرشاخه‌های علوم شناختی یاد می‌شوند. البته، شاید کمی عجیب به نظر برسد که چگونه چندین و چند علم مختلف به یک موضوع می‌پردازند (۱۱). خوشبختانه در کشور ما نیز پژوهشگاه دانش‌های بنیادی از حدود ۱۰ سال پیش به فکر تأسیس رشته علوم اعصاب شناختی افتاده و در نهایت پژوهشکده علوم شناختی را راه‌اندازی کرده است. برنامه‌های تحقیقاتی در این پژوهشکده ابعاد متفاوت و متنوعی از این دانش را مانند علوم اعصاب شناختی، علوم اعصاب محاسباتی، سایکوفیزیک، گفتار و زبان، شبکه‌های عصبی و هوش مصنوعی دربرمی‌گیرد. بسته به اینکه با چه تکنیکی مغز را مطالعه کنند، رشته‌های علمی مختلفی به‌وجود آمده است.

مانند کشاورزی، تغذیه و مواد غذایی، دامپروری، شاخه‌های مختلف علوم پزشکی و صنایع دارویی، صنایع تخمیری، صنایع نظامی، انرژی، محیط زیست و بهداشت آدمی، استفاده‌های بسیار ارزشمندی پیدا کرده است. اینکه زیست‌فناوری جدید برای آدمی راه‌حل‌های بی‌شماری ارائه می‌کند، مطلبی کاملاً درست است. در چنین بستری، موفقیت نهایی در زیست‌فناوری و حصول دستاوردهای بی‌شمار اقتصادی آن، به پیشرفت واقعی مبانی علوم تجربی و رشته‌های علوم پایه بستگی تام دارد. از این رو سرمایه‌گذاری شایسته در علوم مذکور، اساس پیشرفت و توسعه همه علوم و فنون روز، از جمله زیست‌فناوری خواهد بود (۱۰ و ۱۱).

### علوم شناختی، از جمله علوم اعصاب شناختی

علوم شناختی پروژه‌ای در حال پیشرفت است که از دهه ۱۹۵۰ میلادی آغاز شده و در سال

عبارت  
«فناوری‌های  
همگرا» به ترکیب  
چهار بخش اصلی  
علم و فناوری،  
یعنی نانوفناوری،  
زیست‌فناوری،  
فناوری اطلاعات و  
علوم شناختی اشاره  
دارد



### NBIC و چارچوب زمانی ۲۰-۱۰ سال آینده

نانوتکنولوژی، بیوتکنولوژی و فناوری اطلاعات به‌موازات هم و به‌سرعت مسیر را طی کردند، اما تمرکز آن‌ها بر ابعاد انسانی و علوم شناختی نیازمند زمان است و البته بسیار اهمیت دارد؛ به‌عنوان مثال زمانی که علوم شناختی با فناوری اطلاعات همگرا شوند، فناوری جدیدی به‌دست می‌آید که با استفاده از آن می‌توان رفتار یک جامعه انسانی را پیش‌بینی کرد. این ابزار نتیجه همگرایی علوم رفتاری و اجتماعی جامعه است که اطلاعات خود را با کمک ابزارهایی مانند الگوریتم‌های ژنتیکی افراد به دست می‌آورد و با کمک تکنیک‌های جدید پردازش

۱۹۷۳ نام «علوم شناختی» به آن داده شده است. ماهیت علوم شناختی از نوع «علم» است و بنابراین، با روش‌ها و معیارهای علمی مرتبط است (۱۱). علوم شناختی موضوعی میان‌رشته‌ای است و شاخه‌هایی مانند روان‌شناسی، علوم اعصابی، علوم رایانه، انسان‌شناسی، زبان‌شناسی، فلسفه و ... را دربر می‌گیرد. واضح است که این علوم در کنار ذهن به موضوع‌های دیگری نیز می‌پردازند. بنابراین، آن بخش از این علوم که به نوعی به موضوع علوم شناختی می‌پردازد، جزء علوم شناختی محسوب می‌شود. برای نمونه، در مورد علوم رایانه پژوهشگرانی را که در حوزه هوش مصنوعی کار می‌کنند، می‌توان دانشمندان علوم

رایانه‌های آن‌ها را آنالیز می‌کند؛ مثلاً می‌توان رفتار یک گروه تروریستی را قبل از حمله به آن‌ها پیش‌بینی و انگیزه‌های آن‌ها را از اجرای عملیاتشان شناسایی یا حتی واکنش جامعه به حمله احتمالی دشمن را پیش‌بینی کرد (۱۲). با وجود تلاش‌های بسیار در زمینه همگرایی فناوری‌ها، به دلیل گستردگی این علم، به کارگیری کارشناسان برجسته در تمام حوزه‌ها ناممکن است. علاوه بر این، واقعاً در برخی از زمینه‌های کاربردی و کلیدی، کار آغاز نشده و برخی از بخش‌های این فناوری هنوز توجه بسیاری از دانشمندان و مهندسان را به خود جلب نکرده است (۲).

بشر همیشه در تلاش برای کنترل عواقب حاصل از پیشرفت تکنولوژی بوده است و رژیم‌های منع گسترش سلاح‌های هسته‌ای، شیمیایی و باکتریولوژیکی را می‌توان نام برد. بنابراین توسعه فناوری‌های همگرا نیز به‌عنوان ساختار جدیدی از فناوری باید تحت کنترل باشد. همان‌طور که می‌دانیم، اگر از این تحول بزرگ در راه سعادت بشر استفاده نشود، می‌تواند بسیار مخرب باشد. همان‌طور که کشف سلاح اتمی، هیروشیما و ناکازاکی را به خاک و خون کشید، اگر از همگرایی علوم نیز در راه اهداف استکبار استفاده شود می‌تواند بسیار مخرب باشد. بررسی علمی و دقیق پیش‌نیاز عینی برای همگرایی علوم ضروری است و پیشنهاد می‌شود حل بحران‌های زیست‌محیطی قطب شمال، اقیانوس‌ها، بیابان‌زدایی، جنگل‌های گرمسیری و ... به‌عنوان محورهای اصلی همگرایی علوم در نظر گرفته شوند، که البته این اولویت‌گذاری نیز می‌تواند مخالفانی داشته باشد (۷ و ۱).

از طرفی، فناوری همگرا از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی نقش مهمی در پیشرفت جامعه دارد و با سیاست‌گذاری مناسب جهت ادغام و ترکیب بهینه آن‌ها می‌توان رفاه، پیشرفت اقتصادی، نوآوری، ارائه خدمات ارزنده را برای جامعه به ارمغان آورد (۳). همگرایی فناوری‌ها، با به کارگیری نیروهای تولیدی می‌تواند باعث اصلاح روابط اقتصادی در سیستم‌های تولیدی شود که در نتیجه آن پیوندهای جدیدی در ساختارهای تجاری شکل گیرد و با جذب سرمایه‌گذاران، فعالان عرصه فناوری، صاحبان منابع، در نهایت سبب رونق بازار کار و سرمایه شود (۷).

## رویکرد علوم و فناوری‌های نوین در ایران

از زمانی که فناوری همگرا برای اولین بار وارد ادبیات علوم و فناوری شده است، کشورهای آمریکا، ژاپن،

روسیه، چین، برزیل، کره جنوبی همراه اتحادیه اروپا سرمایه‌گذاری در زمینه همگرایی فناوری‌ها را شروع کرده‌اند. البته، میزان تلاش و فعالیت‌های این کشورها یکسان نیست و آمریکا و اتحادیه اروپا در حال حاضر بیش از سایر کشورها در این زمینه سرمایه‌گذاری کرده‌اند و هم‌اکنون در جایگاه بهتری قرار دارند (۱۲). خوشبختانه این فناوری‌ها در تمامی کشورهای دنیا هنوز دوران ابتدایی و اولیه خود را سپری می‌کنند؛ بنابراین، فاصله موجود میان ایران و دیگر کشورهای جهان هنوز کم است و با گرفتن تصمیم‌های درست و به موقع، نه تنها می‌توان فاصله را به صفر رساند؛ بلکه در برخی شاخه‌ها از دیگر کشورها پیشی گرفت (۱۳).

در فصل سوم نقشه جامع علمی کشور نیز علوم و فناوری‌های همگرا جزء اولویت‌های ملی مطرح شده است؛ به طوری که در حوزه فناوری‌های اطلاعات، نانو و زیستی از اولویت اول برخوردارند و در حوزه علوم پایه و کاربردی نیز به علوم شناختی و رفتاری، اولویت اول اختصاص یافته است (۱۴).

از آنجا که حوزه فناوری‌های همگرا که دنیا روی آن تأکید دارد و در متون مرتبط، به‌عنوان موج چهارم توسعه از آن یاد می‌شود و قرار است با ترکیب و همگرا شدن خود به رفاه بشر، حل مسائل اجتماعی و ... منجر شود، ضرورت پرداختن به این مسئله در سطح ملی و بین‌الملل بیش از پیش مشخص شده و کسب شناخت از وضعیت هر کدام از آن حوزه‌ها و در تعامل با هم مهم و ضروری است (۱۴).

در ارزیابی‌های علم‌سنجی، مشارکت در تولید علم و نوآوری، فناوری و سهیم بودن در روند توسعه علم جهانی، مهم‌ترین معیار برای تعیین موقعیت و رتبه علمی کشورهاست. جمهوری اسلامی ایران یکی از پیشگامان این عرصه در خاورمیانه است (۱۱). مقایسه حوزه‌های مشارکت‌کننده در تولید مقالات حوزه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که مطالعات در زمینه فناوری نانو و علوم زیستی از بیشترین تنوع پراکندگی موضوعی و علوم شناختی از کمترین تنوع موضوعی نسبت سایر حوزه‌ها برخوردار هستند (۱۴). با مطالعه علوم میان‌رشته‌ای، علمی که با تلفیق چند علم گوناگون ایجاد می‌شوند، می‌توان زمینه‌های پژوهشی مشترکی تعیین کرد تا متخصصان هر حوزه به‌صورت هدفمند به دیگر حوزه‌ها وارد و از آن‌ها به‌عنوان مبنای کار خود و ادامه فعالیت‌های پیشین خود بهره‌مند شوند. با توجه به مطالعات، زیرحوزه‌های «شیمی زیستی، ژنتیک و

## ابزارهای قدرت

### همگرایی به

### نسل جدیدی

### از بلوک‌های

### ساختاری مانند

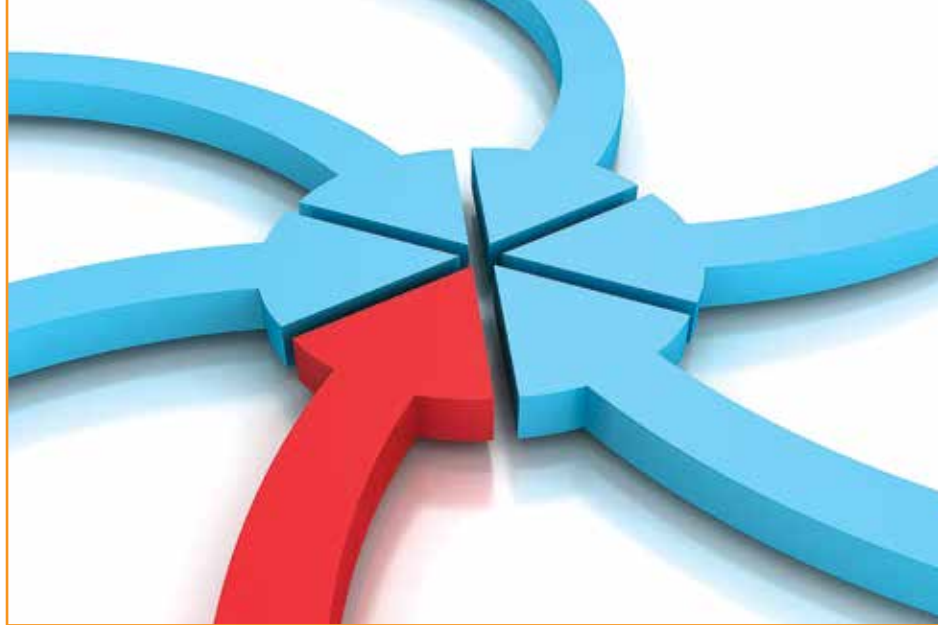
### بیت‌ها، اتم‌ها،

### سلول‌های عصبی

### و ژن‌ها متکی

### هستند





از آنجا که این فناوری‌ها در همه کشورها در مراحل اولیه خود هستند، باید به زودی تصمیم به حضور در این زمینه گرفت، زیرا این فناوری‌ها و کاربرد آن‌ها در جامعه یک ضرورت است. از این رو، تصمیم صحیح نه تنها می‌تواند شکاف بین ما و کشورهای پیشرفته را کاهش دهد، بلکه ممکن است باعث پیشرفت ما در برخی شاخه‌های مختلف این فناوری نیز شود. اجرای این برنامه مبتنی بر بررسی‌های دقیق علمی و کارشناسانه در مراکز تخصصی علمی و پژوهشی و مشارکت کلیه محققان و دانشمندان کشور است.

زیست‌شناسی مولکولی»، «پزشکی»، «علوم رایانه»، «مهندسی» و «سم‌شناسی و داروشناسی» از جمله حوزه‌هایی هستند که دانشمندان و پژوهشگران حوزه‌های نانو، علوم زیستی، فناوری اطلاعات و علوم شناختی می‌توانند بر اساس آن با هم همکاری داشته باشند و به صورت پروژه‌های مشترک به چاپ و انتشار مقاله بپردازند. «شیمی» و «علم مواد» نیز از دیگر زیرحوزه‌هایی هستند که برای اجرای پژوهش‌های میان‌رشته‌ای به متخصصان رشته‌های «نانو و علوم زیستی» پیشنهاد می‌شود (۱۴).

در بعضی از شاخه‌های این فناوری امکانات مناسبی وجود دارد، البته برخی از آن‌ها نیز باید ارتقا یابند و در بعضی از زمینه‌ها نیز به امکانات و تجهیزات جدید نیاز است. از نظر نیروی انسانی، ظرفیت خوبی در کشور وجود دارد. البته در کنار این نقاط قوت، به‌طور کلی فناوری‌های نوین در ایران، از ضعف در راهبردهای مشخص در زمینه این فناوری‌ها در کشور، عدم توجه کافی به پرورش و ساماندهی نیروی انسانی متخصص در برخی از شاخه‌های این فناوری، ضعف در برقراری ارتباط مناسب بین سازمان‌ها و مراکز تحقیقاتی و عدم ارتباط مناسب میان صنعت و دانشگاه، وجود تحریم همه‌جانبه از سوی کشورهای پیشرفته و محدودیت‌های حاصل از آن‌ها رنج می‌برد (۱۳).

### نتیجه‌گیری

حضور انکارناپذیر فناوری‌های مدرن و تأثیر آن‌ها بر زندگی، ضرورت بحث در مورد ماهیت، منطق و آینده فناوری را یادآوری می‌کند. بسیاری از محققان و کارشناسان معتقدند که نوآوری یکی از پایه‌های اصلی توسعه و قدرت کشورها و همچنین عاملی برای رقابت کشورهای مدرن است. رونق اقتصادی و اجتماعی جوامع تحت تأثیر قابلیت‌های نوآورانه است. فناوری NBIC ترکیبی از نوآوری‌ها و استراتژی‌ها برای بهبود کارایی انسان است. همان‌طور که گفته شد،

## فناوری اطلاعات به یک «حلقه» خاص تبدیل شده است که همه علوم و فناوری‌ها را دربرمی‌گیرد

## خوشبختانه این فناوری‌ها در تمامی کشورهای دنیا هنوز دوران ابتدایی و اولیه خود را سپری می‌کنند؛ بنابراین، فاصله موجود میان ایران و دیگر کشورهای جهان هنوز کم است

### پی‌نوشت‌ها

1. NBIC=Nano-IT-Cognitire Technology

### منابع

1. Gnatik E. Problems of Predicting the Effects of NBIC Technological Expansion, *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 2019; 329:248-251.
2. Roco MC. In NBICs (nano-bio-info-cogno-socio) convergence to improve human performance: Fundamentally New Manufacturing Processes and Products, 2003; 314-316.
3. Nabipour I, Assadi M. "Converging technologies: shaping the future of medicine". *ISMJ*, 2015; 17 (6): 1045-1067.
4. Zhironkin SA, Kolotov KA, Genin AE, Agafonov FV, and Kovalevsky SA. NBIC-Convergence of Machinery and Basic Technologies as the Ecological Factor of Well-being. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2017; 1-9.
5. Ivashkina OI, Roshchina MA. Towards Solving the Mysteries of Brain. *V Mire Nauki*, 2015; 05/06: 42.
6. Canton J. "NBIC Convergent Technologies and the Innovation Economy: Challenges and Opportunities for the 21ST Century" in *managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations, Converging technologies in society*. published by Springer. 2006; 23-45.
7. Sergey Zhironkin, Demchenko S, Kayachev G, Taran E, and Zhironkina O. Convergent and Nature-Like Technologies as the Basis for Sustainable Development in the 21st Century. *E3S Web of Conferences* 105, 03008. 2019; 1-6.
8. Kovalchuk M. "Convergence of Sciences and Technologies—Breakthrough to the Future". *ISSN 1995\_0780, Nanotechnologies in Russia*. 2011; 6 (1-2): 1-16.
9. Ruffato G, Romanato F. *Int. J. Comp. Math. El*, 2013; 32(6): 1779-1792
10. Soler A, *Bioiberica*, 2016; 24: 1-3.
11. Thagard P. *Mind: Introduction to Cognitive Science*, Cambridge, MA: The MIT Press, 2nd, 2005.

۱۲. مقدمه‌ای بر فناوری‌های همگرا (NBIC): تاریخچه و کاربرد آن. مرکز راهبردی فناوری همگرا، معاونت علمی فناوری ریاست جمهوری، ۱۳۹۴. ص ۶.
۱۳. حکیم آ و علایی ح. «بررسی کاربردها و تحلیل فرصت‌ها و تهدیدات فناوری‌های همگرا (NBIC) در حوزه دفاعی کشور». *مجله سیاست دفاعی*، ۱۳۹۱. ۲۱(۸۲)، ۶۱-۱۱۰.
۱۴. آزادی احمدآبادی ق و جمالی مهمونی ح ر. «تنوع و پراکندگی موضوعی تولیدات علمی ایران در حوزه فناوری‌های همگرا». *پژوهش‌نامه علمی سنجی*، ۱۳۹۶. ۳(۶)، ۳-۲۱.